EVALUACIÓN PROPIEDADES MECÁNICAS: RESINA UV FRENTE A ABS Y PET-G EN PROTOTIPO DE CARCASA DE UNA MÁQUINA DE TATUAR

JHONATTAN RICARDO DUQUE GUTIERREZ
YILMER ARLEY BECERRA RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
TECNOLOGÍA EN MECÁNICA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C.
2025

EVALUACIÓN PROPIEDADES MECÁNICAS: RESINA UV FRENTE A ABS Y PET-G EN PROTOTIPO DE CARCASA DE UNA MÁQUINA DE TATUAR

JHONATTAN RICARDO DUQUE GUTIERREZ
YILMER ARLEY BECERRA RODRIGUEZ

monografía para optar por el título de Tecnólogo en Mecánica industrial

Tutor: Ing. Alexander Alvarado Moreno

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLOGICA
TECNOLOGÍA EN MECÁNICA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C.
2025

CONTENIDO

0. INTRODUCCIÓN 6
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 7
2. OBJETIVOS 8
2.1. OBJETIVO GENERAL 8
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 8
3. JUSTIFICACIÓN 9
4. ANTECEDENTES 10
4.1. ESTADO DEL ARTE 10
4.1.1. Caracterización de las propiedades mecánicas del copolímero PET-G mediante impresión fdm 3d 10
4.1.2. Resistencia al impacto a la tracción de materiales compuestos plástico-madera . 11
4.1.3. IMPRESIÓN 3D: PRUEBAS DE RESISTENCIA DE MATERIALES DE ACUERDO A NORMA ASTM D638-10 12
4.1.4. Manual de aplicación para el correcto uso de metodologías de selección de materiales dentro del proceso de diseño mecánico. 13
4.1.5. Prueba de impacto: ensayo charpy 14
4.1.6. Preparación y caracterización de materiales compuestos degradables 14
4.1.7. Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. 15
4.1.8. Revisión: materiales poliméricos biodegradables y su aplicación en diferentes sectores industriales 15
4.1.9. Caracterización de materiales compuestos con matriz polimérica reforzada con fibras naturales 15
4.1.10. Caracterización de mezclas de materiales poliméricos naturales para encapsulación, mediante secado por aspersión 16
4.2. MARCO TEÓRICO 16
4.2.1. PET G 16
4.2.2. ABS 17
4.2.3. RESINA UV 17
4.2.4. ENSAYO DE CAÍDA LIBRE 18
4.2.5. ENSAYO DE TRACCIÓN 20

4.2.6. ENSAYO DE COMPRESIÓN 24
4.2.7. ENSAYO DE FATIGA 26
5. METODOLOGÍA..... 29
5.1. FASE 1: IMPRESIÓN 3D DEL PROTOTIPO DE CARCASA EN CADA UNO DE LOS MATERIALES 29
5.2. FASE 2: PRUEBAS MECÁNICAS BAJO ENSAYOS DESTRUCTIVOS CONTROLADOS..... 34
5.2.1. Características Universal de ensayos para plásticos WDW-10..... 34
5.3. FASE 3: BASE DE DATOS DE RESULTADOS DE ENSAYOS..... 42
5.4. FASE 4: ANÁLISIS Y CONCLUSIONES..... 42
5.5. FASE 5: RESULTADO FINAL. 42
5.6. FASE 6: FABRICACIÓN DEL CUERPO DE LA MÁQUINA DE TATUAR..... 43
6. DESARROLLO 44
6.1. DISEÑO DE CARCASA PARA CADA UNO DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS..... 44
6.2. IMPRESIÓN 3D DEL PROTOTIPO DE CARCASA EN CADA UNO DE LOS MATERIALES..... 46
6.3. PRUEBAS MECÁNICAS BAJO ENSAYOS DESTRUCTIVOS CONTROLADOS 50
6.4. BASE DE DATOS DE RESULTADOS DE ENSAYOS MECÁNICOS 53
6.5. REALIZACIÓN DE GRÁFICAS EN FUNCIÓN DE LA BASE DE DATOS OBTENIDOS POR LOS ENSAYOS MECÁNICOS 53
6.5.1. Gráficas de ensayo de compresión: 53
6.5.2. Ensayo de caída libre..... 58
7. DESVIACIONES..... 62
7.1. 1ª SOLUCIÓN: 62
7.2. 2ª SOLUCIÓN..... 65
7.2.1. Gráficas de ensayo de tensión. 68
7.3. ARGUMENTACIÓN 73
8. RESULTADOS..... 74
8.1. MATRIZ DE RESULTADOS..... 74
9. CONCLUSIONES 77
10. RECOMENDACIONES..... 79
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 81

RESUMEN DEL PROYECTO

Actualmente las máquinas de tatuar se fabrican utilizando impresión 3D con resina UV. Sin embargo, se ha identificado la necesidad de mejorar la resistencia del producto para garantizar mayor durabilidad y calidad. Este estudio tiene como objetivo evaluar la viabilidad de otros procesos de fabricación y materiales que optimicen la fabricación, teniendo en cuenta factores económicos que generen calidad y competitividad en el mercado

Lo que se busca para darle solución a este problema es hacer un estudio de comparación de propiedades, en donde se utilizará impresión 3D con ABS y PET-G; buscando el material con mejores propiedades mecánicas, para generar un producto más resistente y competitivo en el mercado.

Al finalizar el estudio, se espera seleccionar el material más adecuado que permita producir máquinas de tatuar con mayor resistencia y durabilidad, optimizando costos y garantizando la calidad del producto.

0. INTRODUCCIÓN

El diseño y la creación de diversos productos siempre se ha entablado en su relación de costos de materia prima y producto final a entregar. Estos planteamientos llevan a evaluar las diferentes opciones de materiales que se encuentran en el mercado y, con esto, tener una amplia variedad en lo que se necesita para dar una buena apropiación del diseño y la fabricación del producto.

En este documento se evidencia la búsqueda en encontrar una buena decisión en cuanto a la elección de un buen material para el producto final, realizando pruebas y ensayos de algunos materiales que en costo y disponibilidad son accesibles, se realiza una evaluación más exhaustiva de cuál de estos se podría elegir. Mediante análisis de base de datos y de resultados se planea dar una solución de cuál material es el idóneo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, las máquinas de tatuar fabricadas mediante impresión 3D utilizando resina UV presentan limitaciones en cuanto a su resistencia y durabilidad. Aunque este material permite la personalización y producción rápida de las máquinas, su desempeño bajo condiciones de uso intensivo no cumple con los estándares de calidad deseados, lo que compromete su vida útil y la satisfacción del usuario final.

Este problema se manifiesta en fisuras o deformaciones del material tras períodos prolongados de uso, especialmente en entornos donde la precisión y fiabilidad son cruciales. La falta de resistencia también reduce la confianza de los tatuadores en la maquinaria, lo que afecta la reputación del producto y limita su competitividad en el mercado.

Figura 1. Diseño de cuerpo de máquinas de tatuar.

Fuente: Elaboración propia.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Validar el comportamiento de un prototipo de la carcasa de la máquina de tatuar con ensayos mecánicos, fabricados con resina UV, ABS y PET-G

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer y fabricar las muestras del prototipo de la carcasa, en cada uno de los materiales estipulados (resina UV, ABS y PET-G)
- Definir y evaluar los prototipos mediante ensayos mecánicos y pruebas funcionales, en cada uno de los materiales.
- Analizar los resultados arrojados en las pruebas de ensayos mecánicos y pruebas funcionales aplicados a cada uno de los modelos.
- Definir el material final con el cual se va a fabricar la carcasa del cuerpo de la máquina de tatuar.

3. JUSTIFICACIÓN

La elección de los materiales desempeña un papel clave a la hora de determinar el rendimiento, la durabilidad y la eficacia de los productos. En la cuestión del diseño básico de un producto, la elección del material con el que se va a construir un prototipo se tiende a tener en cuenta el factor económico y se pasa por alto algunos detalles como la mantenibilidad, durabilidad y resistencia de éste.

La buena selección de material para fabricar un producto puede facilitar la salida en el mercado y diferenciar características entre productos similares. En el diseño de una máquina de tatuar, un proveedor de una microempresa decidió mandar a fabricar el cuerpo de estás en un material polimérico, pero, ya construida totalmente la máquina evidenció que ésta no era lo suficientemente resistente en cuanto a caídas de una altura considerable, el cual no se daba buena garantía de que éstas resistieran un golpe accidental, lo cual no da bastante seguridad, y no tiene un buen atractivo comercial si de resistencia se trata.

Por lo tanto, se requiere solucionar este problema haciendo un estudio de factibilidad, en donde, la principal necesidad es escoger un material que tenga mejores propiedades mecánicas, ya que, con esto se aumentará la resistencia del cuerpo de la máquina, esto a su vez, incrementará la durabilidad y mantenibilidad de la misma haciéndolo un producto más atractivo en el mercado

4. ANTECEDENTES

4.1. ESTADO DEL ARTE

En este apartado se encontrará diferente información reflejada en proyectos de grados presentados en diferentes universidades, el cual sirve de guía para realizar este proyecto, toda la información que a continuación se refleja es producto de una búsqueda en diferentes bases de datos, como lo son repositorios institucionales, revistas nacionales e internacionales, artículos e información de la web.

4.1.1. Caracterización de las propiedades mecánicas del copolímero PET-G mediante impresión fdm 3d

(Yeison Quevedo y Camilo Dueñas, 2021). Prontos a obtener su título de ingeniero mecánico, realizaron este proyecto el cual se centró en la evaluación de las propiedades mecánicas del copolímero PETG utilizando la impresión 3D FDM. Se implementó un diseño experimental fraccionado para explorar la combinación de diversos factores, como el espesor de capa, la orientación de malla, la densidad de relleno, la posición en la mesa de impresión y la velocidad de impresión.

Se fabricaron 72 probetas de PETG transparente, siguiendo las normas ASTM D638 y ASTM D695, para realizar ensayos de tensión y compresión. Se aplicaron análisis de varianza (ANOVA) y regresión lineal para interpretar los datos de resistencia de tracción y módulo de elasticidad, permitiendo establecer modelos predictivos.

4.1.2. Resistencia al impacto a la tracción de materiales compuestos plástico-madera

M. E. Solís y J. H. Lisperguer, (2005). Este estudio fue desarrollado en el centro de alta tecnología de la madera de la universidad Bio-Bio, en Concepción-Chile.

En resumen, en este artículo se realiza una incorporación de dos especies de harina de madera en la matriz polimérica, en porcentajes de 10% y 20%, en un material compuesto de plástico-madera, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, en donde a éste se le realizan dos ensayos, los cuales son método de impacto Izod y ensayo de tracción. Bajo las normas ASTM D256-93a y la norma ASTM D638-00, se fabricaron las probetas en una inyectora de tornillo simple.

Este artículo evidencia una práctica con ensayos destructivos en la que puede orientar la norma que los rigen, dando una guía para este proyecto, en como sintetizar resultados obtenidos y definir datos.

4.1.3. IMPRESIÓN 3D: PRUEBAS DE RESISTENCIA DE MATERIALES DE ACUERDO A NORMA ASTM D638-10

Muñoz, Hernández, Roshardt, Vega, y Christop, (2015). Este proyecto fue realizado en el país de Costa Rica, en el instituto de Ciencias, Tecnología e Innovación.

El principal objetivo expresado en este documento es realizar una comparación entre dos materiales, aplicándoles un ensayo destructivo de tracción, con base a la norma ASTM D638-10, en donde se especifican las medidas de las probetas y como se generará este ensayo de tracción en el laboratorio de materiales.

Para esto se toman seis probetas, 3 son de material PLA, el cual se diseñó con filamento fundido de manera, longitudinal, transversal y diagonal. Al igual que las otras tres probetas también se diseñó con filamentos fundidos de la misma manera que la anterior, pero, en un material compuesto de resina y material sintéticos.

Al final de esto, se realizan las comparativas teniendo en cuenta los resultados en el laboratorio, en donde sus autores discuten los datos arrojados y sacan sus propias conclusiones.

Este archivo sirve como una guía en la cual, este proyecto se va a orientar en cuanto a la caracterización y evaluación de los materiales con respecto al ensayo destructivo, teniendo en cuenta estos datos, se podrán dar conclusiones claras, con resultados asertivos.

4.1.4. Manual de aplicación para el correcto uso de metodologías de selección de materiales dentro del proceso de diseño mecánico.

Jessica Valbuena, (2018). La intención de este proyecto era diseñar y desarrollar un material de apoyo en pro de la selección de materiales dentro del proceso de Diseño mecánico, teniendo en cuenta, las problemáticas que en su momento se presentaban para tener en cuenta la selección de éste, en variables como las propiedades físicas, mecánicas, costo de inversión, entre otras.

A partir de esto, el proyecto se desarrolla mediante una metodología de recopilación de información referente a la selección de materiales determinando aspectos generales y específicos. Para esto utilizan diez ejemplos de necesidad de materiales, y sus restricciones para tener en cuenta el material adecuado a elegir. En el cual utilizan dos métodos de selección respecto a textos académicos, que son mediante la metodología tradicional y un método gráfico.

Dentro de esto la autora concluye que afianzando conceptos relacionados en el tema de selección de materiales se puede generar un aprovechamiento de dicha información, no obstante, también refiero que textos académicos para la selección de materiales tradicional es limitados en cuanto a la obtención de estos textos para la aplicación de procesos de diseño, y por método grafico también se han creado textos dirigidos, pero se torna dificultad en adquirirlos.

4.1.5. Prueba de impacto: ensayo charpy

Y. Ortega, (2006). En este ensayo se representa un trabajo publicado por la revista mexicana de física, para éste se realiza una descripción de cómo funciona el ensayo de impacto por medio del péndulo Charpy, el cual sirve para determinar la capacidad de absorción de energía para un material, ya sea polímero o metálico, en la descripción de este, explican metodología de ensayo, identificación de resultados y diferentes fórmulas, las cuales son utilizadas para determinar daos y resultados de la prueba.

4.1.6. Preparación y caracterización de materiales compuestos degradables

Rodríguez-Félix, D. E., et al. (2015). Este artículo analiza películas de polietileno mezcladas con poliácido láctico (PLA), utilizando compatibilizantes para mejorar la estabilidad térmica y degradabilidad. Se emplean técnicas como TGA, DSC y SEM.

4.1.7. Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca.

Meneses, J., Corrales, C. M., & Valencia, M. (2007). Se sintetiza un polímero biodegradable usando almidón de yuca, evaluando propiedades físicas, mecánicas y de biodegradabilidad. Se aplicó la metodología Taguchi para optimizar formulaciones.

4.1.8. Revisión: materiales poliméricos biodegradables y su aplicación en diferentes sectores industriales

Posada, J. C., & Montes-Flórez, E. (2021). Revisión bibliográfica sobre biopolímeros y su caracterización, con énfasis en PLA, fibras naturales y economía circular. Se analizan aplicaciones en sectores como construcción, automotriz y alimentario.

4.1.9. Caracterización de materiales compuestos con matriz polimérica reforzada con fibras naturales

Juárez-Hernández, A., et al. (2024). Se evalúan propiedades mecánicas y térmicas de compuestos poliméricos reforzados con fibras vegetales. Se aplican ensayos de tracción, impacto y análisis térmico.

4.1.10. Caracterización de mezclas de materiales poliméricos naturales para encapsulación, mediante secado por aspersión

Caballero Pérez, (2023). Este artículo presenta la caracterización fisicoquímica de mezclas de polímeros naturales (almidón de yuca, harina de avena y alginato de sodio) utilizadas como materiales encapsulantes en procesos de secado por aspersión. Se evaluaron propiedades como viscosidad, temperatura de gelatinización, pH y contenido de humedad, con el objetivo de optimizar las condiciones de encapsulación de cultivos probióticos. Los resultados permitieron establecer concentraciones y temperaturas adecuadas para cada componente, garantizando la estabilidad del proceso y la funcionalidad del material encapsulante.

4.2. MARCO TEÓRICO

4.2.1. PET G

El PET G (Polietileno Tereftalato de Glicol) es un copolímero del PET (Polietileno Tereftalato) que se ha modificado añadiendo glicol durante el proceso de polimerización. Este material es conocido por su versatilidad, resistencia y claridad, lo que lo hace ideal para aplicaciones en la impresión 3D, envases de alimentos y dispositivos médicos. El PETG tiene

una excelente resistencia al impacto y es reciclable, lo que lo convierte en una opción más respetuosa con el medio ambiente (Material Properties, 2024).

4.2.2. ABS

El ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) es un polímero termoplástico ampliamente utilizado en diversas industrias debido a su combinación única de propiedades mecánicas y térmicas. Está compuesto por tres monómeros: acrilonitrilo, que proporciona rigidez y resistencia química; butadieno, que aporta tenacidad y resistencia al impacto; y estireno, que mejora la estabilidad mecánica y la facilidad de procesamiento. El ABS es conocido por su durabilidad, resistencia al impacto y capacidad de ser moldeado fácilmente, lo que lo hace ideal para la fabricación de piezas automotrices, juguetes, electrodomésticos y componentes de impresión 3D (Smith, 2023).

4.2.3. RESINA UV

La resina UV es un polímero termoplástico que se cura rápidamente cuando se expone a la luz ultravioleta (UV), lo que activa los foto-iniciadores presentes en la resina. Este proceso de curado rápido y eficiente se utiliza ampliamente en la impresión 3D, especialmente en las tecnologías de estereolitografía (SLA) y fotopolimerización (DLP). La resina UV es conocida por su alta precisión, durabilidad y capacidad para producir modelos detallados con acabados suaves (Polymer Process, s.f.).

4.2.4. ENSAYO DE CAÍDA LIBRE

Es una prueba utilizada para evaluar la resistencia y durabilidad de carcasas plásticas y otros materiales de embalaje. Esta prueba simula las condiciones de impacto que el embalaje puede experimentar durante el transporte y la manipulación. La muestra se coloca en una máquina de ensayo de caída libre, se eleva a una altura específica y se deja caer sobre una superficie dura para medir la energía del impacto y evaluar los efectos en la muestra, como roturas y deformaciones. Este ensayo es crucial para garantizar que las carcasas plásticas puedan proteger su contenido de manera efectiva durante el transporte y la manipulación.

4.2.4.1. Fundamento de la Prueba

Un peso de masa conocida se deja caer desde una altura determinada sobre una probeta o componente. La energía del impacto se transfiere al material. Se evalúa el tipo de daño (fractura, deformación, ausencia de daño) y, en algunos casos, la energía crítica necesaria para causar cierto tipo de falla.

4.2.4.2. Parámetros Clave y Ecuaciones

Energía de Impacto Potencial (Ep): La energía que el impacto tiene justo antes de golpear la probeta.

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (1)$$

Donde:

m: Masa del impactor (kg).

g: Aceleración de la gravedad (9.81m/s2).

h: Altura de caída (m).

4.2.4.3. Velocidad de Impacto (v): La velocidad del impactor en el momento del contacto.

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (2)$$

El resultado principal es la capacidad del material para resistir una energía de impacto dada sin fallar de una manera específica (ej. sin fractura, solo deformación). Se pueden realizar ensayos de "pasa/falla" o determinar la energía de impacto crítica variando la altura o la masa.

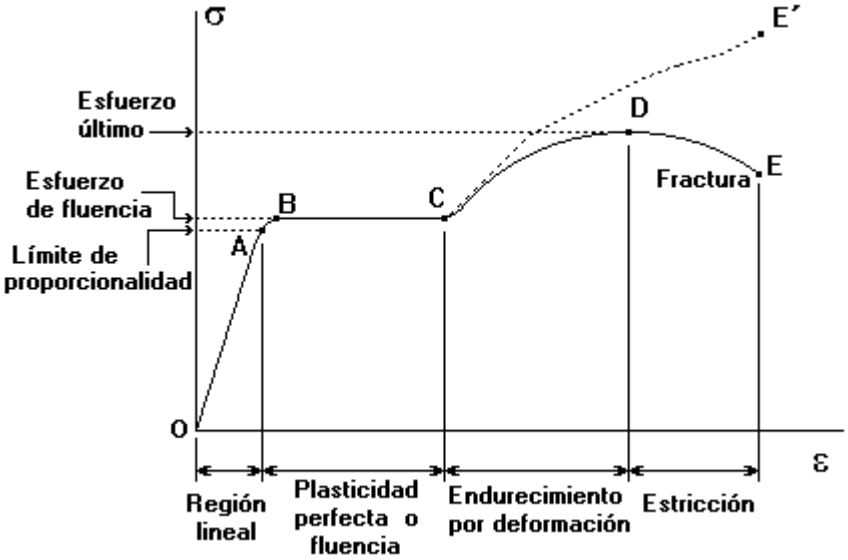
4.2.4.4. Aplicaciones

Comúnmente usado en la industria del embalaje (evaluar la resistencia de paquetes a caídas), componentes automotrices (tableros, parachoques), equipos electrónicos (carcasas de

teléfonos, laptops), cascos de seguridad y polímeros para aplicaciones de protección. (Askeland, D. R., & Wright, W. J. 2016).

4.2.5. ENSAYO DE TRACCIÓN

Figura 2. Gráfica esfuerzo-deformacion.



Fuente: ASTM

El ensayo de tracción mide la resistencia de un material a ser estirado hasta el punto de ruptura. Es fundamental para determinar la fuerza máxima que un material puede soportar antes de romperse

4.2.5.1. Fundamento de la prueba

Una probeta estandarizada del material se somete a una fuerza axial de tracción que aumenta gradualmente hasta que se fractura. Se mide continuamente la fuerza aplicada y la deformación resultante (elongación).

4.2.5.2. Propiedades Clave y Ecuaciones

Los datos del ensayo se representan en una curva esfuerzo-deformación nominal, de donde se derivan las siguientes propiedades:

Esfuerzo (σ): La fuerza aplicada por unidad de área de la sección transversal original de la probeta.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (3)$$

Donde:

F: Fuerza aplicada (N).

A0: Área de la sección transversal original (m2).

Deformación (ϵ): El cambio en la longitud por unidad de longitud original.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (4)$$

Donde:

- ΔL: Cambio en la longitud (m).

- L0: Longitud original de la galga (m).

Módulo de Young (E) o Módulo de Elasticidad: La medida de la rigidez de un material en la región elástica (lineal) de la curva esfuerzo-deformación.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (5)$$

Límite Elástico (σy): El esfuerzo en el punto donde el material comienza a deformarse plásticamente (permanentemente).

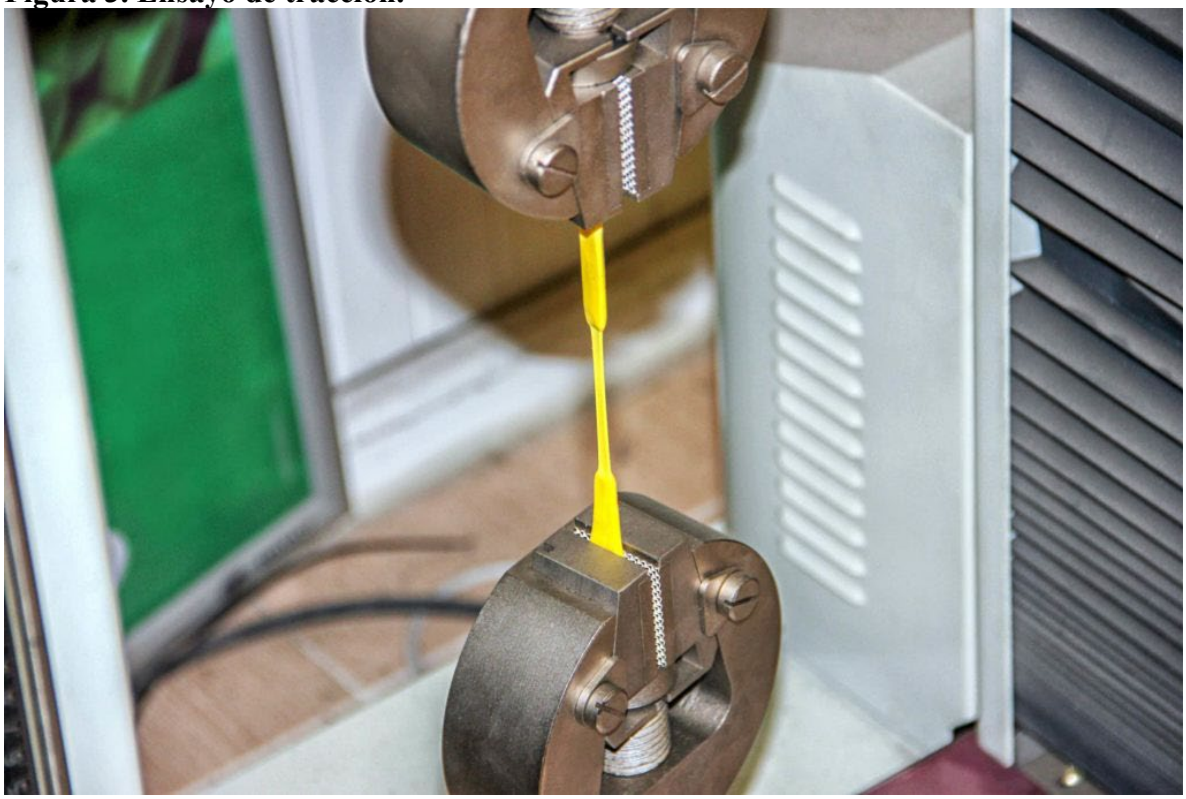
Límite de Rotura: El esfuerzo máximo que el material puede soportar antes de fracturarse. Alargamiento a la Rotura (EL): La deformación porcentual del material en el momento de la fractura, que indica su ductilidad.

$$EL = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\backslash\% \quad (6)$$

4.2.5.3. Aplicaciones

Fundamental para la selección de materiales en estructuras, componentes mecánicos, cables, tejidos y cualquier aplicación donde la resistencia al estiramiento sea crucial. (Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. 2020)

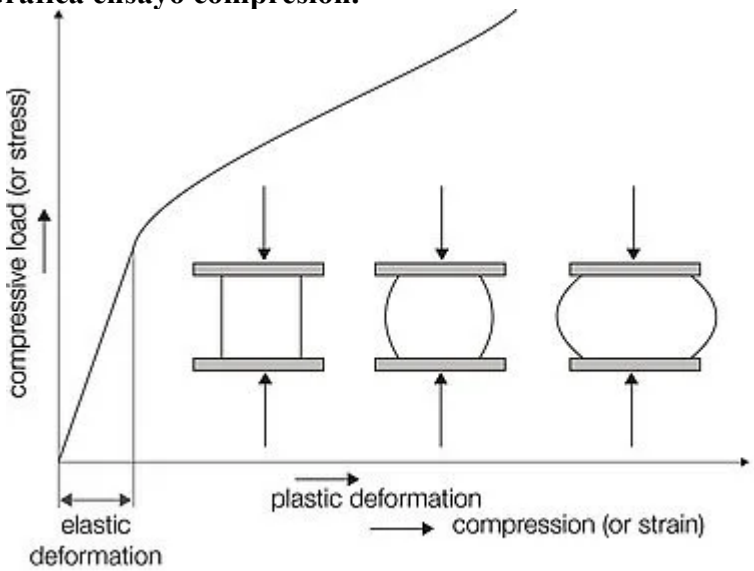
Figura 3. Ensayo de tracción.



Fuente: Zuick Roell.

4.2.6. ENSAYO DE COMPRESIÓN

Figura 4. Gráfica ensayo compresion.



Fuente: Zuick Roell.

El ensayo de compresión evalúa la capacidad de un material para soportar cargas que lo comprimen. Es útil para determinar la resistencia y la deformación bajo compresión.

4.2.6.1. Fundamento de la prueba

Una probeta del material (comúnmente cilíndrica o cúbica) se coloca entre dos placas planas que ejercen una fuerza de compresión gradual hasta que la probeta se deforma significativamente o fractura. Se registran la fuerza y la reducción de altura.

Propiedades Clave y Ecuaciones

Similar al ensayo de tracción, se genera una curva esfuerzo-deformación, aunque las convenciones de signo pueden variar (negativas para compresión).

Esfuerzo de Compresión (σc): Fuerza de compresión por unidad de área.

$$\sigma_c = \frac{F}{A_0} \quad (7)$$

Donde:

F: Fuerza de compresión aplicada (N).

A0: Área de la sección transversal original (m2).

Deformación de Compresión (ϵc): Cambio en la longitud por unidad de longitud original en dirección de la carga.

$$\epsilon_c = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (8)$$

Donde:

ΔL: Cambio en la longitud (acortamiento).

L0: Longitud original.

Límite Elástico a Compresión: Esfuerzo donde el material comienza a ceder permanentemente bajo compresión.

Resistencia a la Compresión: El esfuerzo máximo que el material puede soportar antes de fracturarse o alcanzar una deformación límite predefinida. Para materiales frágiles, es el esfuerzo de fractura. Para materiales dúctiles, puede ser un esfuerzo de fluencia o un esfuerzo a una deformación específica (e.g., 2% de deformación).

4.2.6.2. Aplicaciones

Esencial para el diseño de estructuras de hormigón, columnas, cimentaciones, materiales cerámicos, espumas, polímeros que actúan como amortiguadores y cualquier elemento que deba soportar cargas de aplastamiento. (Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. 2020)

4.2.7. ENSAYO DE FATIGA

El ensayo de fatiga evalúa la resistencia de un material a cargas cíclicas repetitivas. Es esencial para determinar la durabilidad a largo plazo de los plásticos.

4.2.7.1. Fundamento de la Prueba

Una probeta se somete a ciclos repetitivos de carga y descarga (tensión, compresión, flexión o torsión), generalmente a una frecuencia constante y con una magnitud de esfuerzo constante. El ensayo continúa hasta que la probeta se fractura o alcanza un número predeterminado de ciclos.

4.2.7.2. Propiedades Clave y Representación (Curvas S-N)

Los resultados se grafican en una curva S-N (Esfuerzo vs. Número de Ciclos):

S (Esfuerzo): La magnitud del esfuerzo aplicado en cada ciclo (generalmente el esfuerzo alterno o el rango de esfuerzo).

N (Número de Ciclos): El número de ciclos que el material soporta hasta la fractura a un esfuerzo dado.

Límite de Fatiga (o Resistencia a la Fatiga): Para algunos materiales (especialmente aceros), existe un nivel de esfuerzo por debajo del cual el material puede soportar un número infinito de ciclos sin fallar. Este es el límite de fatiga. Para otros materiales (como aleaciones de aluminio y la mayoría de los polímeros), no existe un límite de fatiga claro, y la falla por fatiga ocurrirá eventualmente si se aplica suficiente número de ciclos. En estos casos, se especifica la resistencia a la fatiga a un número de ciclos muy alto (ej. 107 o 108 ciclos).

4.2.7.3. Parámetros de la Carga Cíclica

La carga cíclica se define por parámetros como:

Esfuerzo Máximo (σmax) y Mínimo (σmin)

Esfuerzo Medio (σm): $\sigma_m = \frac{\sigma_{max}+\sigma_{min}}{2}$

Esfuerzo Alterno (σa): $\sigma_a = \frac{\sigma_{max}-\sigma_{min}}{2}$

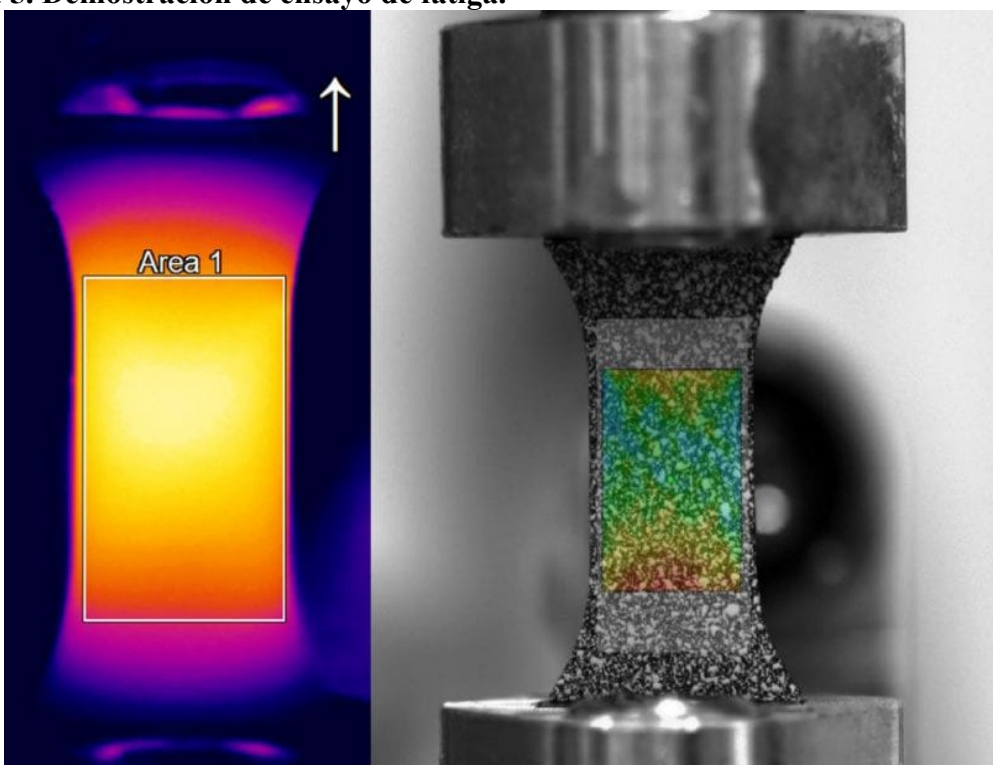
Rango de Esfuerzo (Δσ): $\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$

Relación de Esfuerzos (R): $R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$

4.2.7.4. Aplicaciones

Crítico para el diseño de componentes en aeronaves (alas, fuselajes), automoción (ejes, bielas), turbinas, implantes médicos, puentes y cualquier estructura o máquina sometida a cargas repetitivas o vibraciones durante su vida útil. Permite predecir la vida útil de un componente. (Barsom, J. M., & Rolfe, S. T. 1999)

Figura 5. Demostración de ensayo de fatiga.



Fuente: ASTM

5. METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto de dividió en fases, desde lo cual, se buscó alcanzar los objetivos propuestos trazados desde el comienzo. De tal manera, con cada uno de estas fases se permitió dar una metodología organizada.

5.1. FASE 1: IMPRESIÓN 3D DEL PROTOTIPO DE CARCASA EN CADA UNO DE LOS MATERIALES

Se tuvo en cuenta el diseño del prototipo de la carcasa del cuerpo de la máquina de tatuar, se imprimieron en método de manufactura aditiva, 12 modelos, de cada material, para un total de 36 de estos, para cada uno de los ensayos.

También se evaluaron las propiedades comerciales de cada uno de estos materiales, donde, fue uno de los ítems a tener en cuenta al momento de tomar una decisión, ya que, con ventajas y desventajas de adquisición y demás, se dio un valor agregado a cada material. En las siguientes tablas se organizó esta información para tener más claridad.

Tabla 1: descripción comercial del material Resina UV

Aspecto Comercial	Ventajas (+)	Desventajas (-)
Curado	(+) Curado Ultra Rápido: Permite finalizar proyectos en segundos o minutos bajo luz UV/LED UV, acelerando la producción y reduciendo tiempos de espera.	(-) Dependencia de la Luz UV: Requiere una lámpara UV/LED UV para su curado, lo que representa una inversión inicial. Los moldes o soportes deben ser transparentes para permitir el paso de la luz.

Continua en siguiente página.

Tabla 1. (Continuación)

Composición y Mezcla	(+) Monocomponente: Lista para usar directamente del envase, sin necesidad de mezclas precisas de dos componentes. Esto simplifica el proceso, reduce errores y minimiza el desperdicio de material.	(-) Menor Versatilidad en Volumen: No es ideal para vaciados o piezas de gran volumen/espesor. Requiere la aplicación en capas finas (generalmente hasta 3-5 mm por capa) para un curado completo y uniforme.
Acabado y Estética	(+) Transparencia Cristalina y Acabado Brillante: Ofrece un acabado muy claro y pulcro que realza los detalles. Es ideal para joyería, bisutería y encapsulados decorativos. Bajo amarillamiento en muchas formulaciones.	(-) Posible Contracción: Algunas formulaciones pueden presentar un índice de contracción más alto durante el curado en comparación con las resinas epoxi, lo que puede afectar la precisión en piezas más grandes.
Facilidad de Uso	(+) Alta Facilidad de Uso: Su naturaleza monocomponente y rápido curado la hacen muy accesible para principiantes y usuarios de todos los niveles. La consistencia tipo gel facilita la aplicación precisa.	(-) Costo por Volumen Más Elevado: Generalmente, es más costosa por mililitro que las resinas epoxi de dos componentes, especialmente en presentaciones pequeñas, limitando su atractivo para proyectos a gran escala.
Versatilidad de Aplicación	(+) Gran Versatilidad para Aplicaciones Específicas: Ideal para capas delgadas, encapsulados pequeños, recubrimientos protectores, detalles finos, nail art, y efectos 3D. Se puede colorear con pigmentos UV.	
Resistencia y Durabilidad	(+) Buena Dureza y Durabilidad: Una vez curada, ofrece una buena resistencia mecánica y mantiene su forma, adecuada para piezas que soportan manejo o desgaste.	(-) Posible Sensibilidad a la Humedad/Rayos UV: Aunque las resinas mejoran, algunas pueden ser más sensibles a la humedad o al amarillamiento por exposición prolongada a la luz solar que las epoxi en ciertas condiciones extremas.
Olor	(+) Bajo Olor (en muchas formulaciones): Numerosas resinas UV modernas están formuladas para tener un olor mínimo durante el curado, lo que mejora la comodidad y seguridad en el espacio de trabajo.	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Descripción comercial del material ABS

Aspecto Comercial	Ventajas (+)	Desventajas (-)
Resistencia Mecánica	(+) Alta Resistencia al Impacto: Excelente tenacidad, lo que lo hace muy resistente a golpes y caídas, ideal para piezas que sufren estrés mecánico.	(-) Susceptible a la Deformación por Calor (Warping): Durante la impresión 3D, tiende a contraerse al enfriarse, lo que puede causar deformaciones o "warping" si no se controla bien la temperatura.
Dureza y Rigidez	(+) Buena Dureza y Rigidez: Ofrece una superficie robusta y piezas estructuralmente sólidas, adecuadas para aplicaciones funcionales y componentes duraderos.	(-) Menor Resistencia a la Fatiga que Otros Polímeros: Aunque resistente al impacto, su resistencia a ciclos repetitivos de carga (fatiga) puede ser menor comparada con otros polímeros de ingeniería.
Resistencia Química	(+) Buena Resistencia Química: Resiste bien a muchos productos químicos, ácidos diluidos y álcalis, lo que amplía sus aplicaciones en entornos industriales o de laboratorio.	(-) Soluble en Solventes Fuertes: Es soluble en acetona, lo que puede ser una ventaja para el post-procesado (alisado), pero una desventaja si la pieza estará expuesta a este tipo de solventes.
Acabado y Post-Procesado	(+) Fácil de Post-Procesar: Se puede lijar, pintar, pegar y, crucialmente, alisar con vapor de acetona para obtener acabados muy lisos y brillantes. Esto mejora la estética y las propiedades de superficie.	(-) Emisión de Olores y Vapores: Durante el procesamiento (especialmente en impresión 3D por FDM), puede liberar un olor fuerte y vapores que requieren buena ventilación.
Resistencia a la Temperatura	(+) Mayor Resistencia a la Temperatura que el PLA: Soporta temperaturas más altas antes de deformarse, lo que lo hace apto para piezas que estarán en ambientes cálidos (por ejemplo, piezas automotrices, componentes electrónicos).	(-) Requiere Cama Caliente para Impresión 3D: Para mitigar el warping, casi siempre es indispensable una cama de impresión caliente y, preferiblemente, una impresora cerrada. Esto aumenta la complejidad y el costo inicial.
Disponibilidad y Costo	(+) Amplia Disponibilidad y Costo Razonable: Es uno de los termoplásticos más producidos y comercializados a nivel mundial, lo que garantiza fácil acceso y un precio competitivo.	

Continua en siguiente página.

Tabla 2. (continuación)

Versatilidad de Aplicación	(+) Muy Versátil: Utilizado en una vasta gama de productos, desde juguetes (LEGO), carcasas electrónicas, piezas de automoción, tuberías, hasta prototipos y piezas funcionales en impresión 3D.	
Apariencia	(+) Superficie Lisa y Brillante: Permite obtener piezas con un acabado superficial atractivo sin necesidad de pulido.	(-) Degradación UV: Puede degradarse y volverse quebradizo con la exposición prolongada a la luz ultravioleta (sol), por lo que no es ideal para aplicaciones exteriores sin protección UV.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Descripción comercial del material PET-G

Aspecto Comercial	Ventajas (+)	Desventajas (-)
Facilidad de Impresión 3D	(+) Menor Warping y Mejor Adhesión de Capa: A diferencia del ABS, el PET-G presenta mucha menos tendencia al "warping" (deformación por enfriamiento) y tiene una excelente adhesión entre capas, lo que facilita la impresión de piezas grandes y complejas.	(-) Propenso al "Stringing" o "Oozing": Tiende a producir hilos finos (stringing) o goteos de material (oozing) durante la impresión 3D si los ajustes de retracción y temperatura no son óptimos, lo que requiere más post-procesado.
Resistencia Mecánica	(+) Buena Tenacidad y Resistencia al Impacto: Es un material robusto, menos quebradizo que el PLA y con una buena resistencia a los golpes, lo que lo hace adecuado para piezas funcionales y de uso frecuente.	(-) Menos Rígido que el PLA y el ABS: Aunque es tenaz, es menos rígido que el PLA o el ABS, lo que puede ser una desventaja en aplicaciones que requieren una alta rigidez estructural sin flexión.

Continua en siguiente página.

Tabla 3. (continuación)

Transparencia y Acabado	(+) Traslúcido/Transparente: Puede imprimirse para obtener piezas translúcidas o casi transparentes, lo cual es útil para aplicaciones estéticas o donde se necesita visibilidad del interior. Ofrece un acabado brillante.	(-) Más Propenso a Rayarse: La superficie del PET-G puede ser más susceptible a rayarse en comparación con otros plásticos más duros como el ABS o el policarbonato.
Resistencia Química	(+) Buena Resistencia Química: Resiste bien a una variedad de productos químicos, ácidos y bases, así como al agua, lo que lo hace adecuado para contenedores o piezas expuestas a estos elementos.	
Resistencia a la Temperatura	(+) Mayor Resistencia a la Temperatura que el PLA: Soporta temperaturas de servicio más altas que el PLA (aprox. 80-90°C), lo que amplía sus aplicaciones a entornos ligeramente más cálidos.	
Inodoro (en Impresión 3D)	(+) Generalmente Inodoro: Durante la impresión 3D, el PET-G emite muy poco o ningún olor, lo que lo hace más agradable para trabajar en espacios interiores sin ventilación excesiva.	
Adhesión a la Cama	(+) Muy Buena Adhesión a la Cama: Se adhiere bien a una variedad de superficies de cama caliente (vidrio, PEI, cinta Kapton), lo que ayuda a prevenir fallos en la primera capa.	(-) Puede Adherirse Demasiado a la Cama: En algunas superficies, la adhesión puede ser excesiva, dificultando la remoción de la pieza una vez impresa y pudiendo dañar la superficie de la cama.
Higroscópico	(+) Mejor Resistencia a la Humedad que Algunos Otros: Aunque absorbe humedad, es menos propenso a problemas severos por la humedad ambiental durante el almacenamiento en comparación con, por ejemplo, el Nylon.	(-) Higroscópico: Absorbe humedad del aire, lo que puede afectar la calidad de la impresión (burbujas, extrusión irregular) si no se almacena adecuadamente en un ambiente seco antes de usar.

Tabla 3. (Continuación)

Aprobación para Contacto con Alimentos	(+) Algunas Formulaciones son Aptas para Alimentos: Ciertas variantes de PET-G están aprobadas por la FDA para el contacto con alimentos, lo que lo hace una opción segura para utensilios o envases alimentarios.	
Disponibilidad y Costo	(+) Amplia Disponibilidad y Costo Razonable: Se ha vuelto muy común y está ampliamente disponible en el mercado, con un precio competitivo entre los filamentos para impresión 3D.	

Fuente: elaboración propia.

5.2. FASE 2: PRUEBAS MECÁNICAS BAJO ENSAYOS DESTRUCTIVOS CONTROLADOS

Para esta fase se realizaron los ensayos de las propiedades mecánicas y pruebas de funcionalidad de cada uno de los prototipos.

Haciendo uso del laboratorio diseño y desarrollo tecnológico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Facultad Tecnológica, se realizaron los dos ensayos principales, los cuales fueron de tracción y compresión, para esto se utilizó la máquina Universal de ensayos para plásticos WDW-10, ubicada en este laboratorio.

5.2.1. Características Universal de ensayos para plásticos WDW-10

5.2.1.1. Capacidad de carga:

Tiene una capacidad nominal de carga de 10 kN (equivalente a 1 tonelada), lo que la hace ideal para materiales relativamente ligeros como plásticos.

5.2.1.2. Sistema de medición:

Incorpora celdas de carga de alta precisión para medir fuerzas con una exactitud del orden del ±1% o mejor.

Desplazamiento controlado por un codificador digital, que garantiza lecturas precisas del alargamiento del material.

5.2.1.3.Control:

Controlado por un software de interfaz amigable que permite configurar, ejecutar, y registrar resultados de ensayos.

Soporta modos de carga constante, velocidad de deformación constante y otras opciones de ensayo dependiendo del estándar requerido.

5.2.1.4.Estructura:

Cuenta con un marco rígido y compacto que garantiza estabilidad durante los ensayos.

Diseñada para minimizar el ruido y las vibraciones, lo que asegura resultados consistentes.

5.2.1.5.Accesorios intercambiables:

Mordazas y dispositivos de sujeción específicos para ensayos de tracción, compresión, o flexión en diferentes materiales.

Extensómetros opcionales para medir alargamiento con mayor precisión.

5.2.1.6.Velocidad de ensayo:

Ofrece una amplia gama de velocidades de carga y desplazamiento, ajustables según las especificaciones del material y los estándares aplicados.

5.2.1.7.Compatibilidad:

Compatible con estándares internacionales como ISO, ASTM, JIS, etc.

5.2.1.8.Aplicaciones Principales

Ensayos de tracción: Determina la resistencia máxima a la tracción, el alargamiento y el módulo de elasticidad de plásticos.

Ensayos de compresión: Evaluación de materiales que experimentan cargas de compresión, como plásticos rígidos.

Ensayos de flexión: Útil para medir propiedades de flexión en plásticos y otros materiales compuestos.

Ensayos personalizados: Permite configurar procedimientos específicos dependiendo del tipo de material y las necesidades de investigación o calidad.

Figura 6. Máquina Universal de ensayos para plásticos WDW-10

Fuente: tomado de Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (s.f.). Recursos académicos disponibles

Figura 7. Ficha técnica de la Maquina Universal de ensayos para plásticos WDW-10

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS	Código: GDTH-PG-003-027	SIGUD
	Macro proceso: Gestión de Recursos	Versión: 01	
	Proceso: Gestión y Desarrollo del Talento Humano	Fecha de aprobación: 10/08/2022	

Dependencia	Laboratorios y Talleres de Mecánica		
Laboratorio	Plásticos		
Ubicación	Bloque 4 Primer piso		
Nombre del equipo:	Universal de Ensayos para Plásticos WDW-10		
Tipo de equipo	Robusto		
Modelo	WDW-10		
Número de serie	021360		
Código de inventario	2024085026		
Página web	https://m.testingequipmentie.com/	**Email fabricante**	sales@testingequipmentie.com
Año de fabricación	2023	**Fecha de adquisición**	02/09/2024
Dimensiones	1750x790x520 mm	**Espacio de instalación**	2350x830x730 mm
Ultimo mantenimiento	11/12/2024	**Peso**	300 kg
Potencia Eléctrica	0.4 kW	**Voltaje**	110 V
Número de fases	1	**Amperaje**	3.6 A
Frecuencia	50-60 Hz	**Protección Eléctrica**	Fusibles
Sistema de lubricación	Manual	**Tipo de lubricante**	Grasa de litio y aceite
Sistema de refrigeración	N/A	**Tipo de refrigerante**	No hay información
Descripción General			

Fuente: tomado de Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (s.f.). Recursos académicos disponibles.

Así mismo, se realizó una descripción de cada material que se utilizó para realizar la evaluación y comparación de cada uno de ellos. Todo esto se organizó en las siguientes tablas.

Tabla 4. descripción del material Resina UV.

Característica	Descripción de Ingeniería
Clase de Polímero	Termoestable líquida. Polimeriza mediante una reacción de reticulación iniciada por energía UV, formando una red polimérica tridimensional rígida. Una vez curada, su estructura es permanente y no puede ser refundida ni reformada.
Composición Química	Compuesta típicamente por oligómeros (ej. uretano acrilatos, epoxi acrilatos) que definen las propiedades finales, monómeros reactivos (diluyentes) que ajustan la viscosidad y la velocidad de curado, y fotoiniciadores que absorben la luz UV para iniciar la polimerización por radicales libres o catiónica. Pueden incluir aditivos como pigmentos o estabilizadores.
Mecanismo de Procesamiento	Polimerización por Radiación UV: El fotoiniciador absorbe fotones UV, generando radicales libres o especies catiónicas que inician la formación de enlaces cruzados entre los oligómeros y monómeros. El proceso es extremadamente rápido y controlable con la intensidad y el espectro de la luz UV.
Propiedades Mecánicas Típicas (Cura)	- Resistencia a la Tracción: Variada, desde 20 MPa hasta más de 70 MPa, dependiendo de la formulación.- Módulo de Young: Desde ~1 GPa (para resinas flexibles) hasta 3 GPa o más (para resinas rígidas).- Dureza: Alta, medida en Shore D (ej. 70-90 Shore D para resinas estándar).- Fragilidad: Las formulaciones rígidas tienden a ser frágiles, mientras que las tenaces son menos quebradizas.- Contracción de Polimerización: Ocurre durante el curado, típicamente del 2% al 7%, lo que puede generar tensiones internas o deformaciones.
Propiedades Térmicas Clave	- Temperatura de Transición Vítrea (Tg): Depende fuertemente de la formulación y el grado de curado, oscilando entre 40°C y 180°C. Una Tg más alta indica mayor resistencia al calor.- Estabilidad Térmica: Generalmente buena hasta su temperatura de degradación, pero no son aptas para altas temperaturas de servicio continuas.
Propiedades Ópticas y Superficiales	- Transparencia: Excelente, alta claridad óptica y acabado brillante en la mayoría de las formulaciones.- Índice de Refracción: Comúnmente entre 1.45 y 1.55.- Resistencia a la Abrasión: Puede ser moderada o alta, dependiendo de la dureza superficial.
Aplicaciones de Ingeniería	- Prototipado Rápido y Fabricación Aditiva (SLA/DLP): Para piezas de alta precisión y detalle con acabados superficiales lisos.- Recubrimientos Protectores: En electrónica (conformal coatings), automoción y óptica.- Adhesivos y Selladores: De curado rápido para ensamblajes precisos.- Micro fabricación: En dispositivos microfluídicos y biomédicos.- Aplicaciones Odontológicas: Resinas dentales de curado UV.
Limitaciones de Ingeniería	- Espesor de Curado: La profundidad de penetración de la luz UV limita el espesor de las capas o piezas.- Fragilidad (en algunas formulaciones): Puede ser un factor en aplicaciones de alto impacto.- Contracción: Debe gestionarse en diseños de alta precisión.- Dependencia de la Fuente UV: Requiere equipos específicos y el espectro de la luz debe coincidir con el foto iniciador.- Costo: Generalmente mayor que los termoplásticos en grandes volúmenes.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Descripción del material ABS

Característica	Descripción de Ingeniería
Clase de Polímero	Termoplástico amorfo. Es un polímero de injerto (graft copolymer) o mezcla de polímeros que combina las propiedades de sus tres monómeros constituyentes para formar un material con un equilibrio único de propiedades mecánicas.
Composición Química	Es un copolímero de injerto o una mezcla de Acrilonitrilo y Estireno (copolímero SAN) con partículas de caucho de Polibutadieno dispersas. El estireno aporta rigidez y procesabilidad, el acrilonitrilo resistencia química y térmica, y el butadieno imparte tenacidad y resistencia al impacto.
Mecanismo de Procesamiento	Moldeo por Fusión: Se procesa a través de la fusión y conformación en caliente. Los métodos comunes incluyen moldeo por inyección (para alta producción de piezas complejas), extrusión (para láminas, tuberías, filamentos) y termoformado. En impresión 3D (FDM/FFF), se funde y extruye capa por capa.
Propiedades Mecánicas Típicas	- Resistencia al Impacto: Excepcional tenacidad y resistencia a la rotura por impacto, incluso a bajas temperaturas.- Resistencia a la Tracción: Típicamente entre 35-55 MPa.- Módulo de Young: Rango de 1.5-2.5 GPa, proporcionando buena rigidez.- Dureza: Buena dureza superficial.- Resistencia a la Fatiga: Moderada.
Propiedades Térmicas Clave	- Temperatura de Transición Vítrea (Tg): Aproximadamente 105°C.- Temperatura de Deflexión por Calor (HDT): Entre 85°C y 105°C (dependiendo de la carga), lo que permite su uso en aplicaciones de temperatura moderadamente elevadas.- Contracción por Moldeo/Impresión: Alta contracción (0.4-0.7%) durante el enfriamiento, lo que puede causar "warping" en piezas grandes o delgadas.
Propiedades Químicas y Superficiales	- Resistencia Química: Buena resistencia a ácidos diluidos, álcalis y sales. Baja absorción de agua.- Solubilidad: Soluble en acetona, ésteres, cetonas y clorocarbonos.- Acabado Superficial: Puede lograrse un acabado superficial liso y brillante. Fácilmente metalizable y pintable.
Aplicaciones de Ingeniería	- Componentes Automotrices: Paneles de instrumentos, carcasas, cubiertas.- Electrónica: Carcasas de dispositivos, teclados, componentes de impresoras.- Bienes de Consumo: Juguetes (LEGO), artículos deportivos, carcasas de electrodomésticos.- Tuberías y Conexiones: En aplicaciones no presurizadas.- Prototipado y Piezas Funcionales: En manufactura aditiva que requieren durabilidad y resistencia.
Limitaciones de Ingeniería	- Sensibilidad al Warping: La alta contracción térmica requiere control estricto de la temperatura (cama caliente, cámara cerrada) durante el procesamiento.- Resistencia a la Radiación UV: Mala resistencia a la luz ultravioleta (solar), lo que provoca amarillamiento y degradación de propiedades si no se estabiliza.- Inflamabilidad: Es un material inflamable, aunque se pueden agregar retardantes de llama.- Emisión de Estireno: Puede liberar monómero de estireno durante el procesamiento, requiriendo ventilación.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Descripción del material PET-G

Característica	Descripción de Ingeniería
Clase de Polímero	Termoplástico amorfo (o de baja cristalinidad). Es una variante del PET que, debido a la incorporación de glicol, evita la cristalización durante el procesamiento, lo que le confiere mayor claridad óptica y facilidad de termoformado, a diferencia del PET no modificado.
Composición Química	Un copolímero de tereftalato de etileno modificado con una porción de glicol (ciclohexano dimetanol o etilenglicol adicional) que interrumpe la cadena molecular del PET, previniendo su cristalización y mejorando su tenacidad y procesabilidad.
Mecanismo de Procesamiento	Se procesa por moldeo por extrusión (láminas, filamentos), moldeo por inyección y soplado (para envases). Es muy popular en la impresión 3D por FDM/FFF debido a su equilibrio de propiedades y facilidad de uso.
Propiedades Mecánicas Típicas	- Excelente Tenacidad: Muy buena resistencia al impacto y a la rotura, superior al PLA y comparable al ABS.- Flexibilidad: Mayor flexibilidad que el PLA y el ABS, lo que le permite doblarse antes de romperse.- Resistencia a la Tracción: Generalmente entre 40-50 MPa.- Módulo de Young: Rango de 1.8-2.2 GPa, indicando buena rigidez pero permitiendo cierta flexión.- Resistencia al Desgarro: Buena.
Propiedades Térmicas Clave	- Temperatura de Transición Vítrea (Tg): Aproximadamente 80-88°C.- Temperatura de Deflexión por Calor (HDT): Alrededor de 70°C a 80°C, lo que permite su uso en aplicaciones donde el PLA podría deformarse.- Baja Contracción por Moldeo/Impresión: Contracción muy baja (0.2-0.4%), lo que minimiza el "warping" en piezas grandes.
Propiedades Químicas y Superficiales	- Buena Resistencia Química: Resistente a ácidos diluidos, álcalis, aceites y grasas.- Transparencia/Traslucidez: Alta claridad óptica, permitiendo la fabricación de piezas transparentes o translúcidas.- Acabado Brillante: Las piezas suelen tener una superficie brillante.- Resistencia al Rayado: Moderada, puede ser menos resistente a la abrasión superficial que el ABS.
Aplicaciones de Ingeniería	- Envases de Alimentos y Bebidas: Por su claridad, tenacidad y, en ciertas formulaciones, aprobación FDA.- Componentes de Maquinaria: Piezas que requieren resistencia al impacto y cierta flexibilidad.- Protecciones y Carcasas: Para dispositivos electrónicos o herramientas.- Prototipos Funcionales: En ingeniería y diseño de productos que necesitan durabilidad y estabilidad dimensional.- Dispositivos Médicos: Componentes transparentes o de un solo uso.
Limitaciones de Ingeniería	- Higroscópico: Absorbe humedad del ambiente, lo que requiere secado previo del material (filamento) para evitar problemas de extrusión (burbujas, extrusión irregular) durante el procesamiento.- "Stringing" y "Oozing": Tendencia a formar hilos y goteos durante la impresión 3D si los parámetros no están optimizados (especialmente la retracción).- Adhesión Excesiva a la Cama: Puede adherirse demasiado fuerte a ciertas superficies de impresión, dificultando la remoción de la pieza.- Viscosidad de Fusión: Tiende a ser más pegajoso cuando está fundido que el PLA o el ABS.

Fuente: elaboración propia.

5.3. FASE 3: BASE DE DATOS DE RESULTADOS DE ENSAYOS.

Para esta fase se crearon bases de datos, donde se almacenaron los resultados arrojados en cada uno de los ensayos aplicados a los modelos de cada material, de manera organizada, permitió sintetizar, comparar y analizar cada uno de estos datos.

A su vez, permitió la creación de las gráficas esfuerzo-deformación, con ello, de manera más detallada permite sacar una conclusión.

5.4. FASE 4: ANÁLISIS Y CONCLUSIONES.

Se tuvo en cuenta la fase anterior, se procedió con el análisis de datos de cada ensayo realizado, lo cual permitió sacar conclusiones claras de la información arrojada, con esto ya se pudo tomar una decisión acertada y certera para definir el material con el cual se mejora la resistencia del cuerpo de la carcasa de la máquina de tatuar.

5.5. FASE 5: RESULTADO FINAL.

Con todas las anteriores fases completadas, se tomó la decisión de cual material es el mejor entre los analizados para fabricar el cuerpo de la carcasa de la máquina de tatuar.

5.6. FASE 6: FABRICACIÓN DEL CUERPO DE LA MÁQUINA DE TATUAR

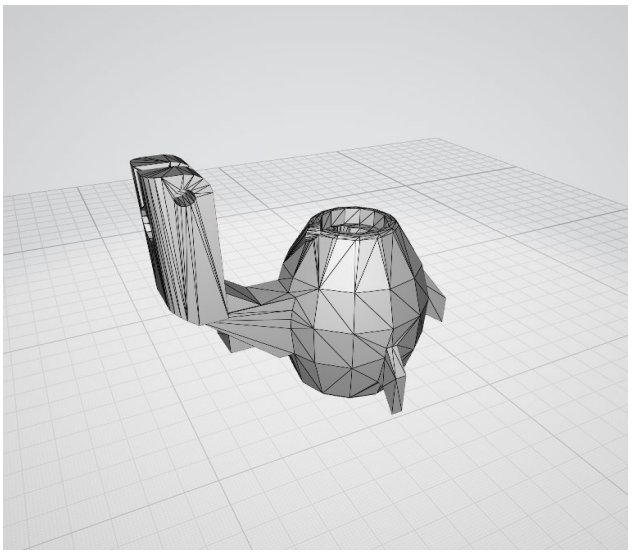
Completadas todas las fases anteriores, se dio la seguridad de fabricar la máquina en el material más adecuado, según la evaluación de cada uno de los materiales ensayados.

6. DESARROLLO

6.1. DISEÑO DE CARCASA PARA CADA UNO DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS

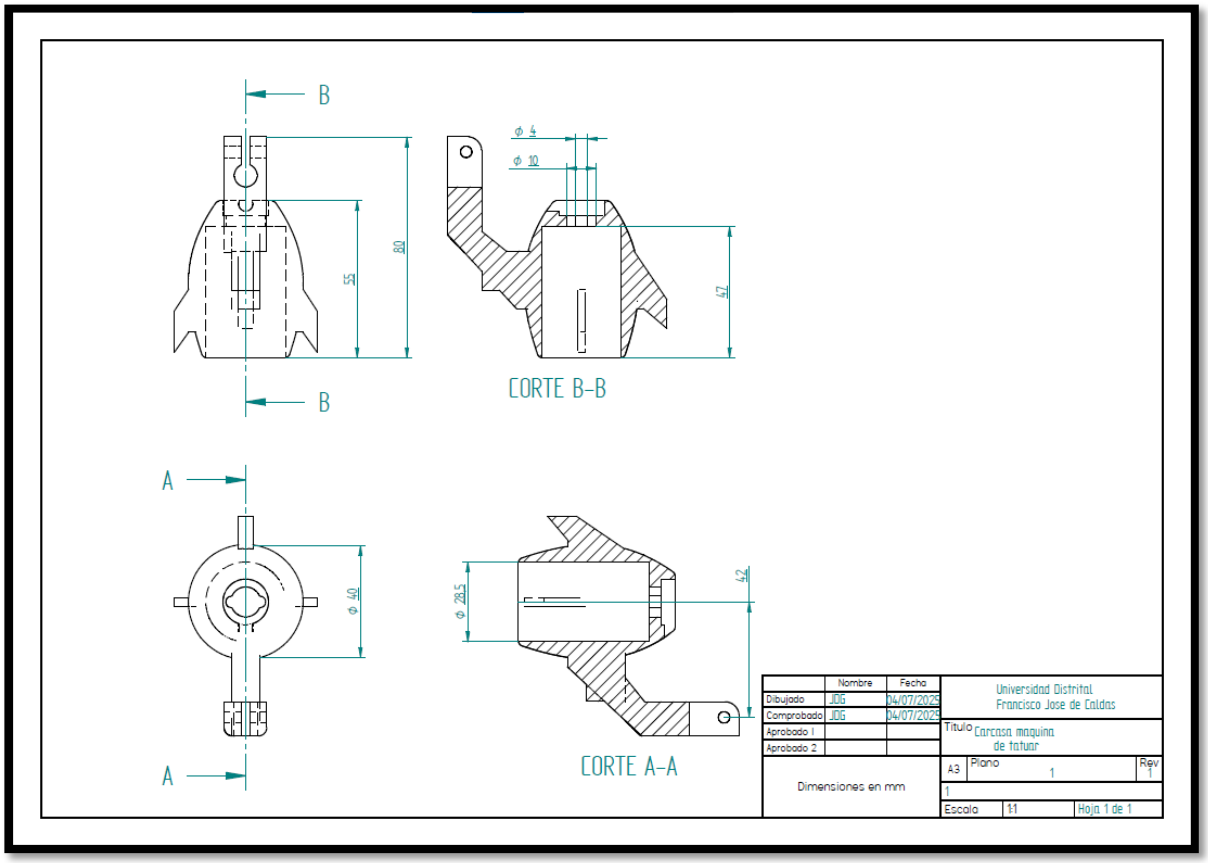
Para esta fase se utilizó el diseño geométrico de la carcasa de la máquina de tatuar, el cual fue realizado en el software SOLID EDGE, en el cual se establecieron las dimensiones para las cuales pudieran ser fabricadas en cada uno de los materiales poliméricos, los cuales eran ABS, PET G Y Resina UV.

Figura 8. Boceto de carcasa.



Fuente: elaboración propia

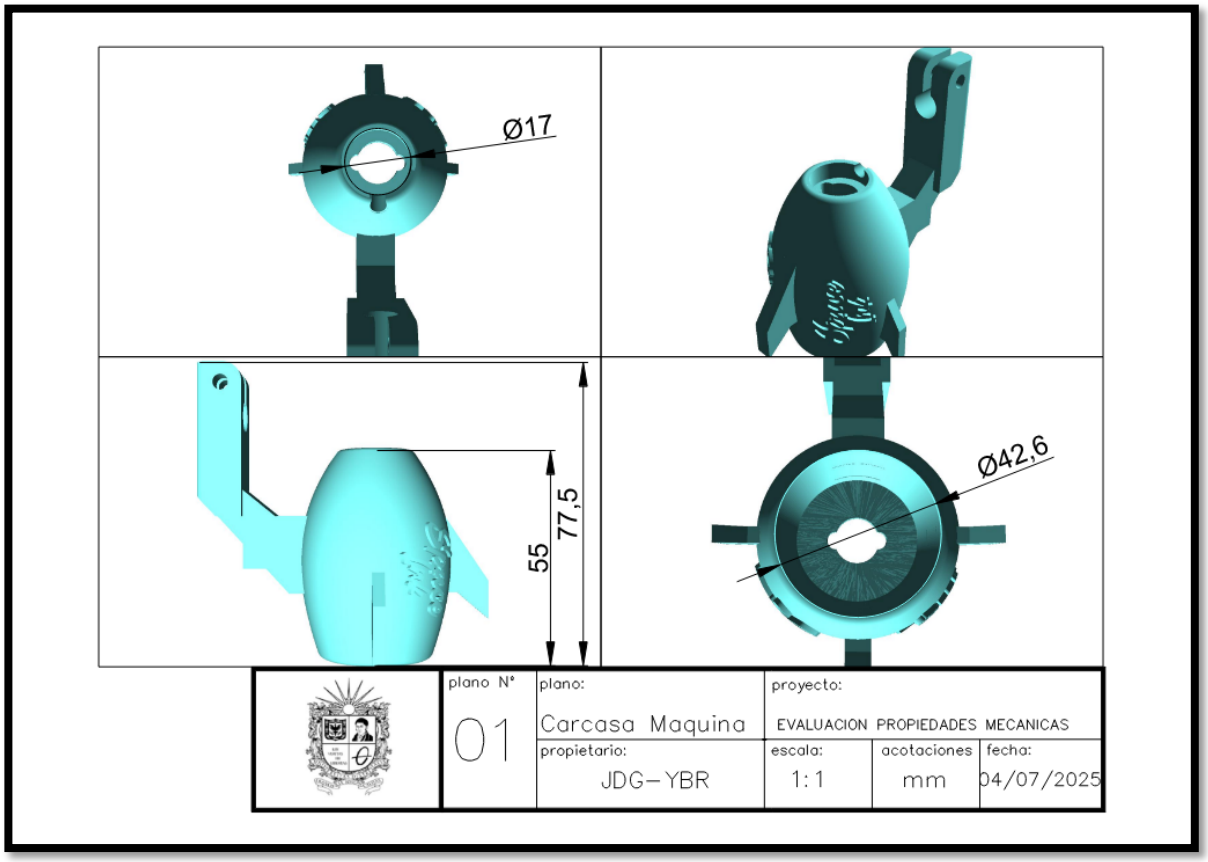
Figura 9. Plano de carcasa de máquina de tatuar.



Fuente: elaboración propia.

(Todas las unidades en milimetros).

Figura 10. Render de la carcasa de la máquina de tatuar.



Fuente: elaboración propia.

6.2. IMPRESIÓN 3D DEL PROTOTIPO DE CARCASA EN CADA UNO DE LOS MATERIALES

Se realizaron cotizaciones en varios lugares de impresión 3D, para tener mayor certeza y opciones de precios. En diferentes sitios solo se realizaba impresiones en filamento, por lo tanto, tres de la empresas dedicadas a este negocio, aseguraban solo dos materiales, los cuales eran ABS Y PET G, para el material de RESINA UV, se hicieron cotizaciones aparte en dos lugares.

(El modelo de la carcasa de la máquina se envió en formato .STL, a cada una de las empresas, y a partir de esto se recibieron los diferentes precios).

A continuación, se presentan tres tablas de cada una de la empresas dedicadas a la impresión 3D en materiales de PET-G y ABS.

Tabla 7. Cotización SERINSY

SERINSY			
	CALIDAD 0.1	CALIDAD 0.2	CALIDAD 0.3
ABS	$ 60,000.00	$ 29,000.00	$ 21,000.00
PET-G	$ 65,000.00	$ 32,000.00	$ 23,000.00

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Cotización THIRTY 3D

THIRTY 3D			
	CALIDAD 0.1	CALIDAD 0.2	CALIDAD 0.3
ABS	N/A	$ 12,000.00	N/A
PET-G	N/A	$ 14,000.00	N/A

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Cotización ZULUPRINTS

ZULUPRINTS			
	CALIDAD 0.1	CALIDAD 0.2	CALIDAD 0.3
ABS	N/A	$ 14,000.00	N/A
PET-G	N/A	$ 13,000.00	N/A

Fuente: elaboración propia.

En la siguientes tablas se presentan la cotización en dos lugares para la impresión en RESINA UV.

Tabla 10. Cotización IMPRESIONES JUAN DIEGO

IMPRESIONES JUAN DIEGO			
	CALIDAD 01	CALIDAD 0.2	CALIDAD 0.3
RESINA UV	$ 25,000.00	$ 14,000.00	$ 10,000.00

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. Cotización 3D CENTER

3D CENTER			
	CALIDAD 01	CALIDAD 0.2	CALIDAD 0.3
RESINA UV	$ 28,000.00	$ 16,000.00	$ 14,000.00

Fuente: elaboración propia.

Contando con el diseño de la carcasa de la máquina de tatuar en archivo CAD, se procedió a imprimir las probetas en cada uno de los materiales anteriormente mencionados, en los cuales por cada uno de estos, se imprimieron 9 modelos, para un total así de 27 probetas en calidad 0.2 con una densidad de relleno del 30%, y con esto realizar los ensayos mecánicos de tensión, compresión y por último caída libre

Figura 11. Carcasa Impresa en Resina UV.

Fuente: elaboración propia

6.3. PRUEBAS MECÁNICAS BAJO ENSAYOS DESTRUCTIVOS CONTROLADOS

Con los dos anteriores pasos realizados y teniendo las probetas, se efectuaron los ensayos mecánicos a cada uno de las probetas impresas, en donde se lograron hacer cada uno de los ensayos por medio del laboratorio dispuesto por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. En los cuales se presentaron algunas contingencias en la prueba del ensayo de tracción, el cual es más detallado en el apartado de desviaciones, donde, se explicará más al punto el problema, en cuanto, a los demás ensayos mecánicos, no se presentó ningún problema. La velocidad con la cual se realizaron estos ensayos fue de 5 mm/min.

Figura 12. Inicio de Ensayo de compresión

Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Fin de ensayo de compresión.

Fuente: Elaboración propia.

6.4. BASE DE DATOS DE RESULTADOS DE ENSAYOS MECÁNICOS

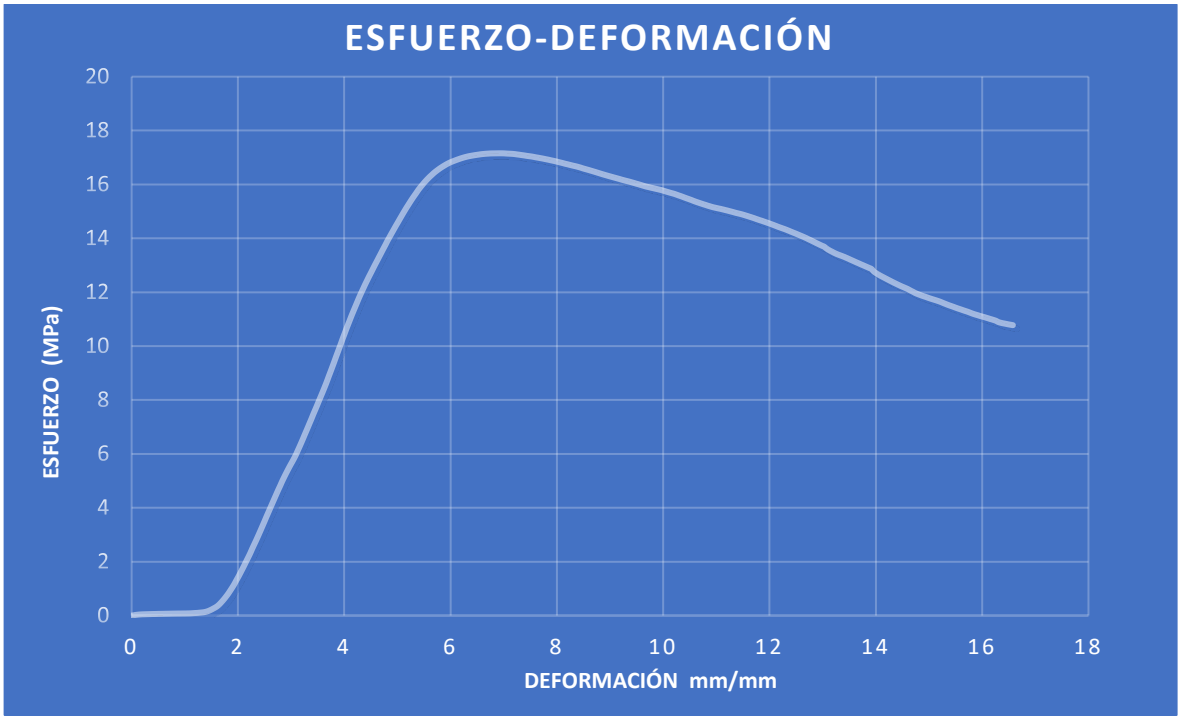
A partir de los resultados obtenidos por los ensayos mecánicos, se obtuvieron los datos de estos, en los cuales, bajo el ensayo de tracción y compresión, se ordenaron en un archivo, utilizando MICROSOFT EXCEL, se obtuvieron gráficas, las cuales sirvieron para analizar mejor estos resultados. Esta base de datos permitió sintetizar y analizar mejor los datos arrojados por la máquina de ensayos y con esto llegar a tomar mejores conclusiones.

6.5. REALIZACIÓN DE GRÁFICAS EN FUNCIÓN DE LA BASE DE DATOS OBTENIDOS POR LOS ENSAYOS MECÁNICOS

A continuación, se presentan la gráficas esfuerzo-deformación, que se obtuvieron a partir del base de datos creada:

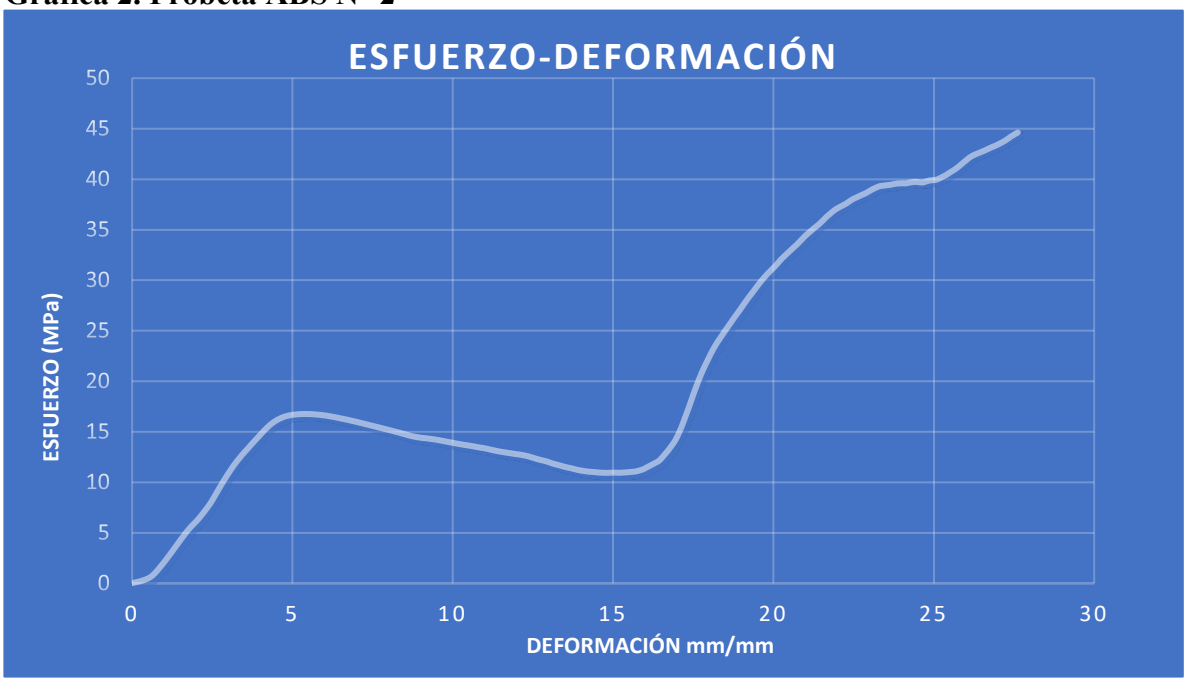
6.5.1. Gráficas de ensayo de compresión:

Grafica 1. Probeta ABS N° 1



Fuente: Elaboración propia.

Grafica 2. Probeta ABS N° 2

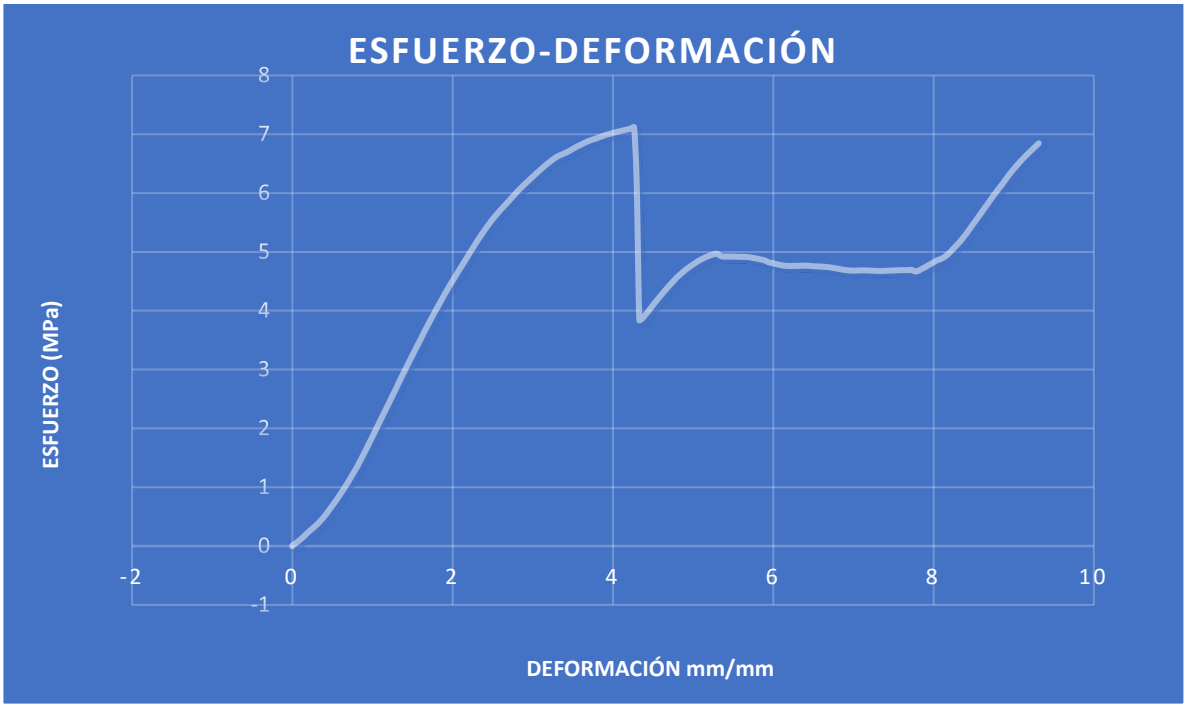


Fuente: Elaboración propia.

Grafica 3. Probeta PET-G N° 1

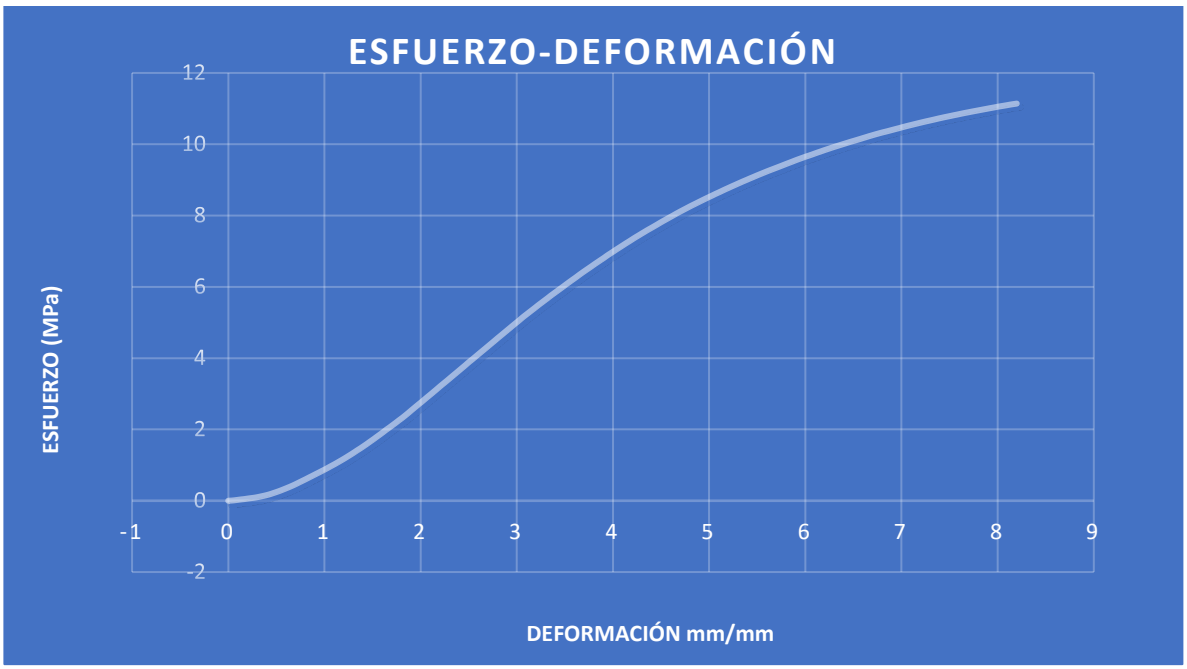
Fuente: Elaboración propia.

Grafica 4. Probeta PET-G N° 2.



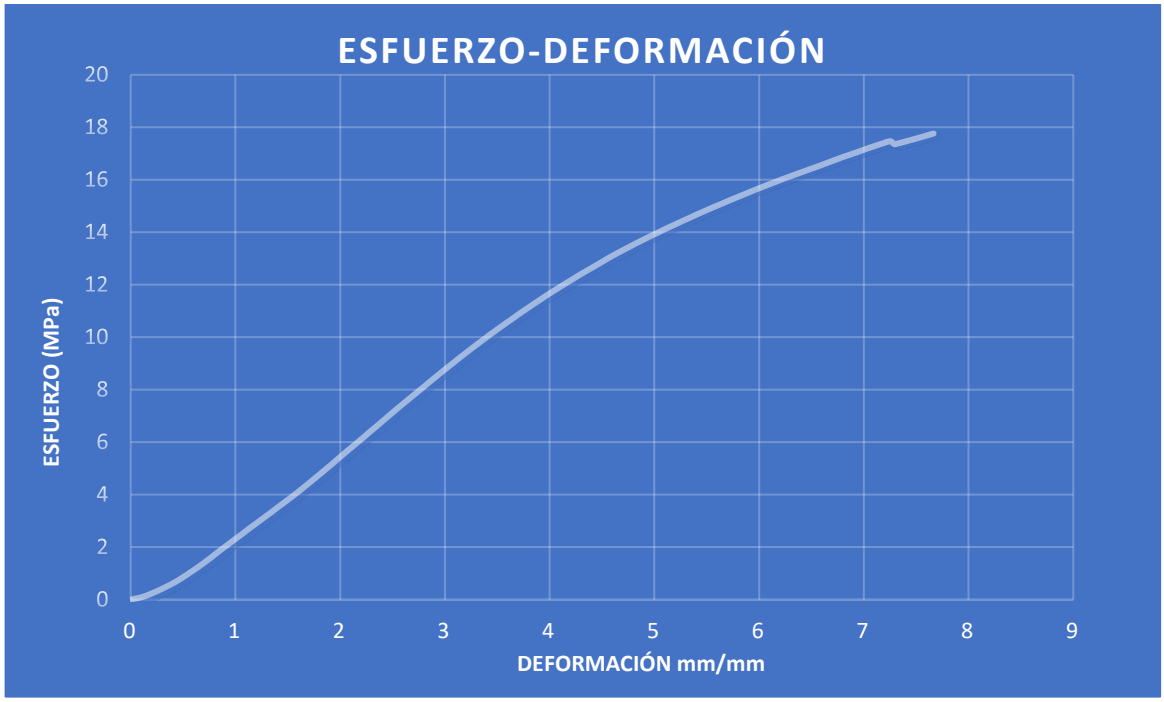
Fuente: Elaboración propia.

Grafica 5. Probeta PET-G N° 3.



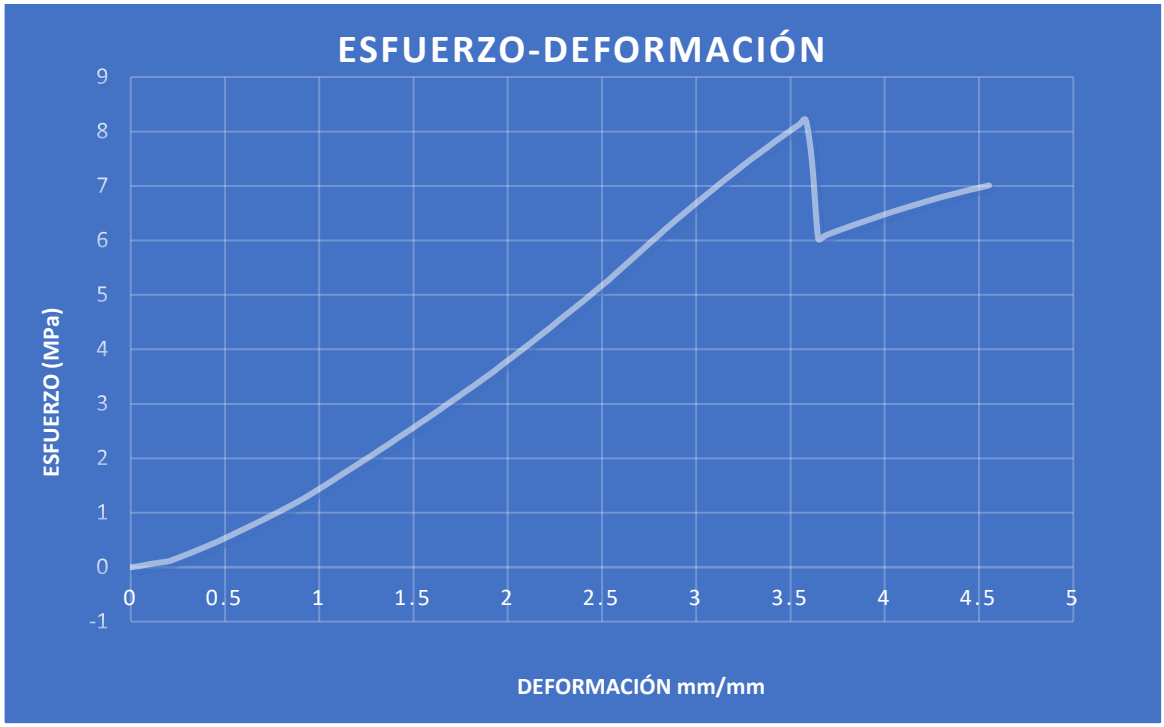
Fuente: Elaboración propia.

Grafica 6. Probeta Resina UV N° 1.



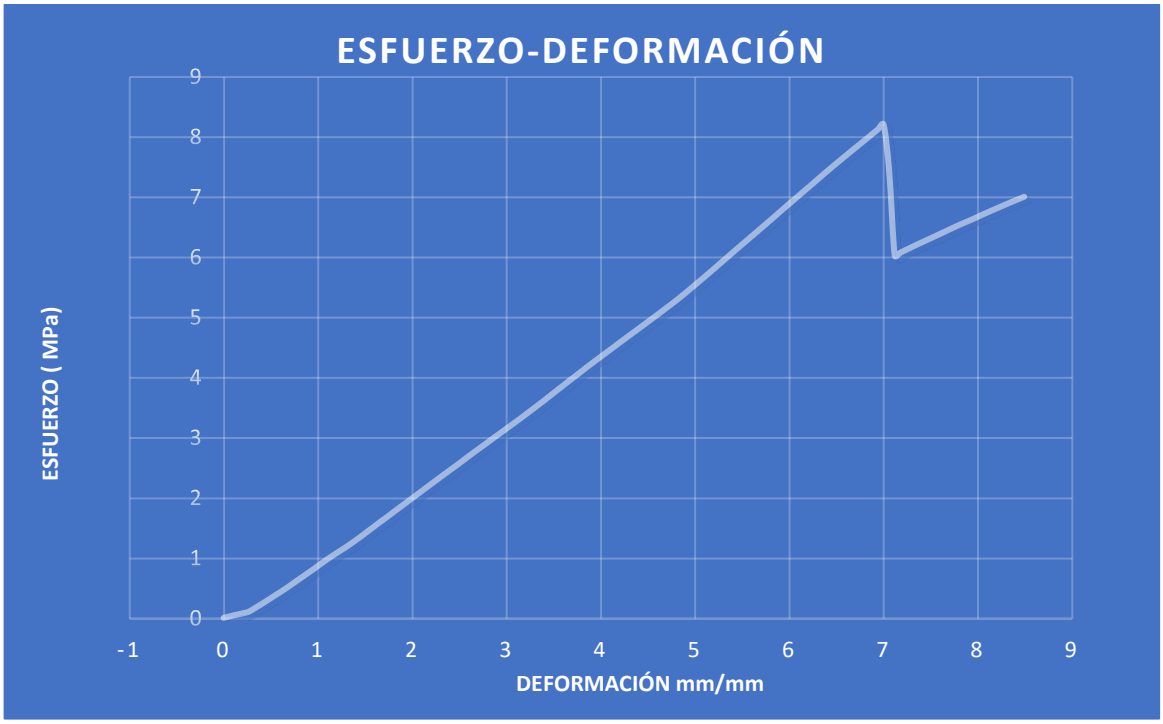
Fuente: elaboración propia.

Grafica 7. Probeta Resina UV N° 2.



Fuente: Elaboración propia.

Grafica 8. Probeta Resina UV N° 3.



Fuente: Elaboración propia.

6.5.2. Ensayo de caída libre

Para este ensayo se realizó una práctica netamente experimental, comparando las resistencias de las carcasas en cada uno de los materiales, los cuales fueron Resina UV, ABS Y PET G.

Se llevó a cabo dejando caer cada una de estas a una altura de 1m, que normalmente es desde donde se va a usar la máquina, y con ellos comprobar cuál de estas resiste más o sufre menos el daño a la caída, lo cual era un determinante para cumplir el objetivo principal.

Para este ensayo se utilizaron una carcasa de cada material en la cual se lanzaron en caída libre, sin imprimirle ninguna fuerza de lanzamiento desde arriba, a lo cual estas, cayeron por

solo acción de gravedad, lo mismo que se presentaría en un caso natural, de funcionamiento de cada una de estas.

Figura 14. Altura de ensayo de caída libre.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Inicio de caída libre de la carcasa.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Fin de caída libre de la carcasa.

Fuente: Elaboración propia.

7. DESVIACIONES

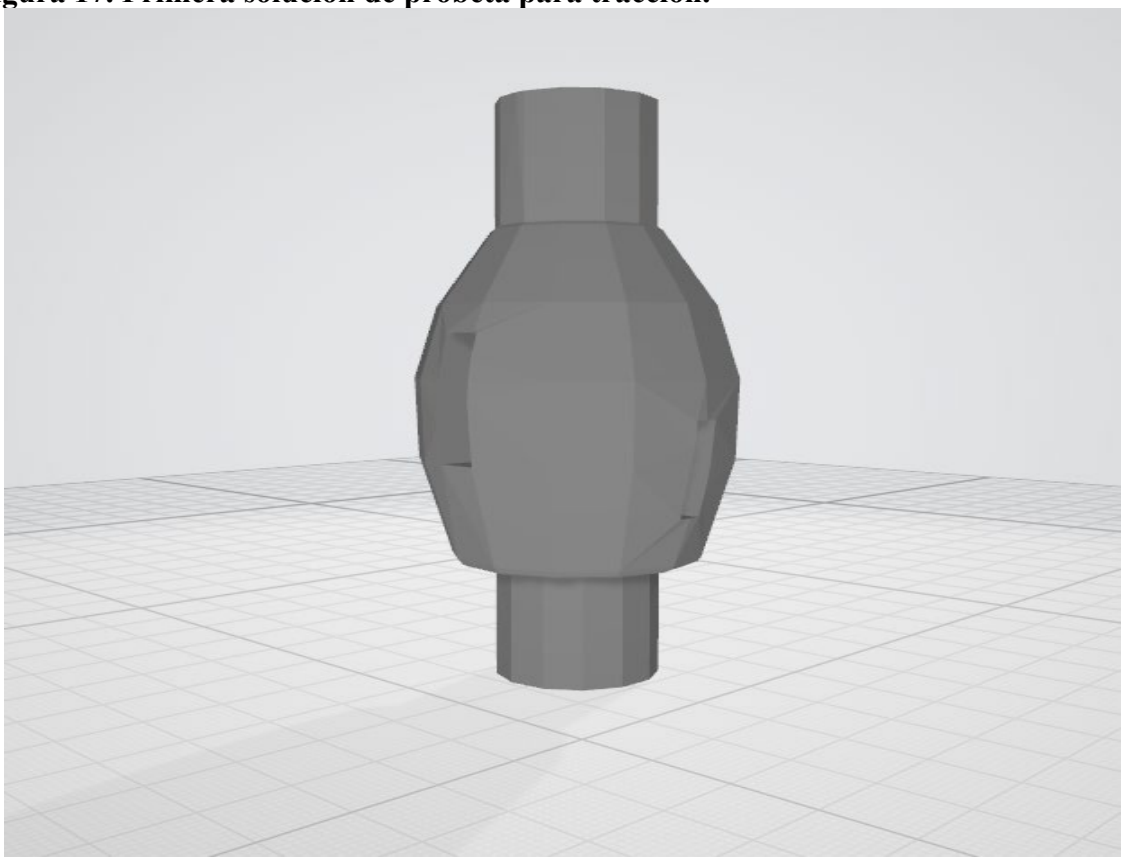
En este apartado del documento se encuentran algunos de los factores que no sucedieron como se tenían previstos desde el principio, ya que, el ensayo de tracción no fue posible realizarse con la carcasa original de la máquina de tatuar, ya que, por su forma, no era viable que las mordazas de la máquina universal de Ensayos mecánicos sujetara la carcasa.

Para esto, se tomaron distintas maneras de solucionarlo y con ello poder generar el ensayo como se estableció al principio. Las cuales se describen a continuación:

7.1. 1ª SOLUCIÓN:

Se rediseñó desde el CAD la carcasa de la máquina, para que en cada uno de sus extremos tuviese un soporte de donde la mordaza pudiera sujetarla, y con ello lograr la prueba de tensión.

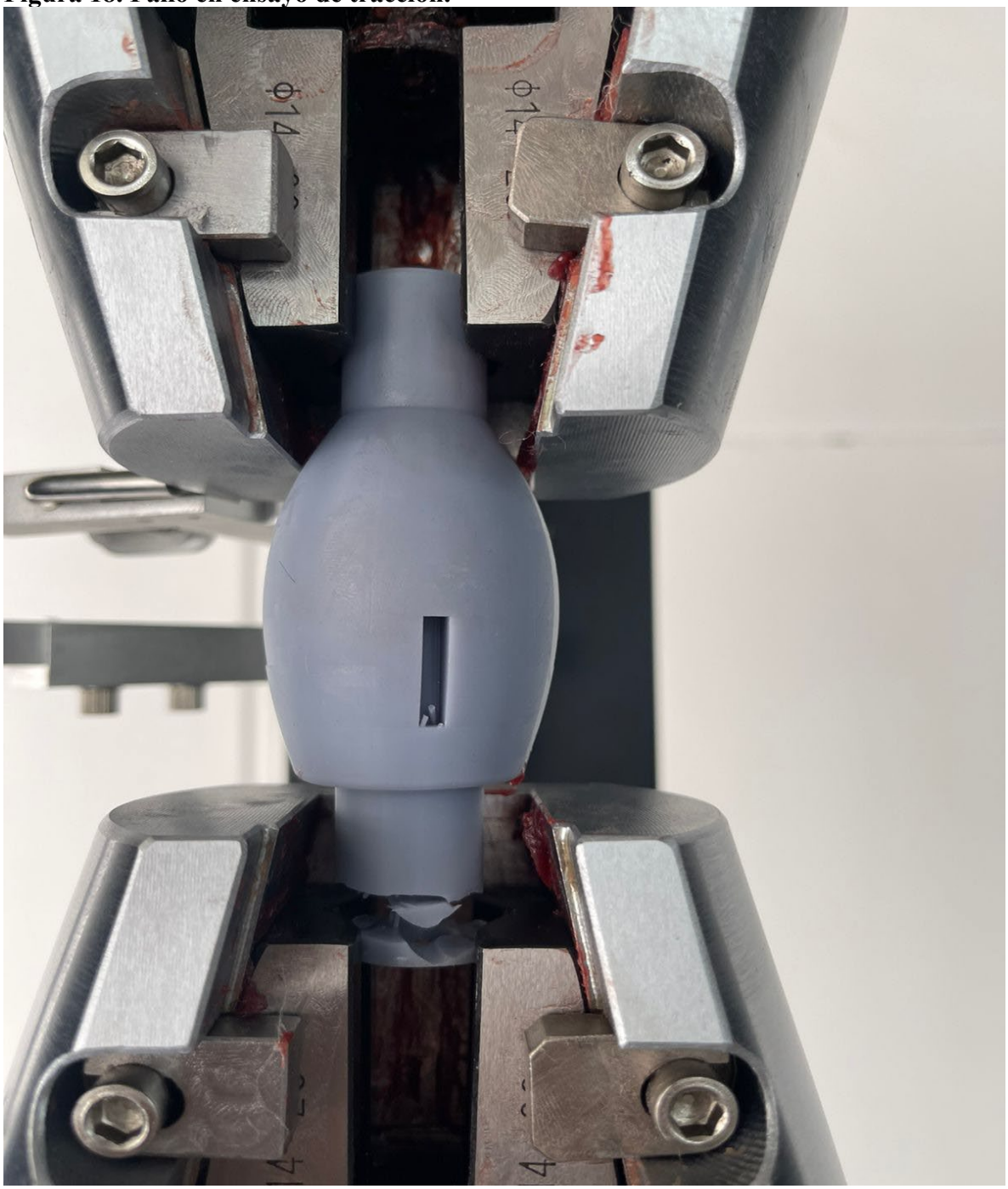
Figura 17. Primera solución de probeta para tracción.



Fuente: Elaboración propia.

Con esto se logró solucionar el problema de sujeción de la máquina de ensayos, pero, se generó otro problema, el cual, es que, al realizarse el ensayo, ésta resbalaba dentro de las mordazas de la máquina, así que se dio a sujetarla un poco más fuerte, pero la prueba no se pudo realizar, ya que esta forma, fallaba en el lugar que no se esperaba, y por esta razón, no arrojaba datos, ni nada que se pudiera analizar dentro de la evaluación.

Figura 18. Fallo en ensayo de tracción.

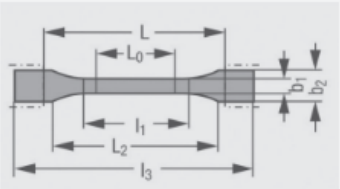


Fuente: Elaboración propia.

7.2. 2ª SOLUCIÓN

Ya que, la anterior solución estaba descartada, se decidió realizar las pruebas de ensayo de tracción en donde, las probetas se realizaron bajo la norma ASTM D638, de esta forma se diseñaron, y así mismo se imprimieron en los tres materiales correspondientes (Resina UV, PET-G, ABS), con ellos se lograron obtener datos relevantes en donde se pudiera definir y tomar una decisión a base de información real.

Figura 19. Tipo de probeta estandarizada para tracción



L_0 Longitud de medición
L Longitud de sujeción
l_1 Longitud de la parte estrecha paralela/Diámetro interior
l_2 Distancia entre secciones anchas, paralelas
l_3 Longitud total/ diámetro exterior
b_2 Ancho de probeta en área de los extremos
b_1 Ancho de probeta en área de longitud de medición
h Espesor de probeta

Fuente: ZwickRoell.

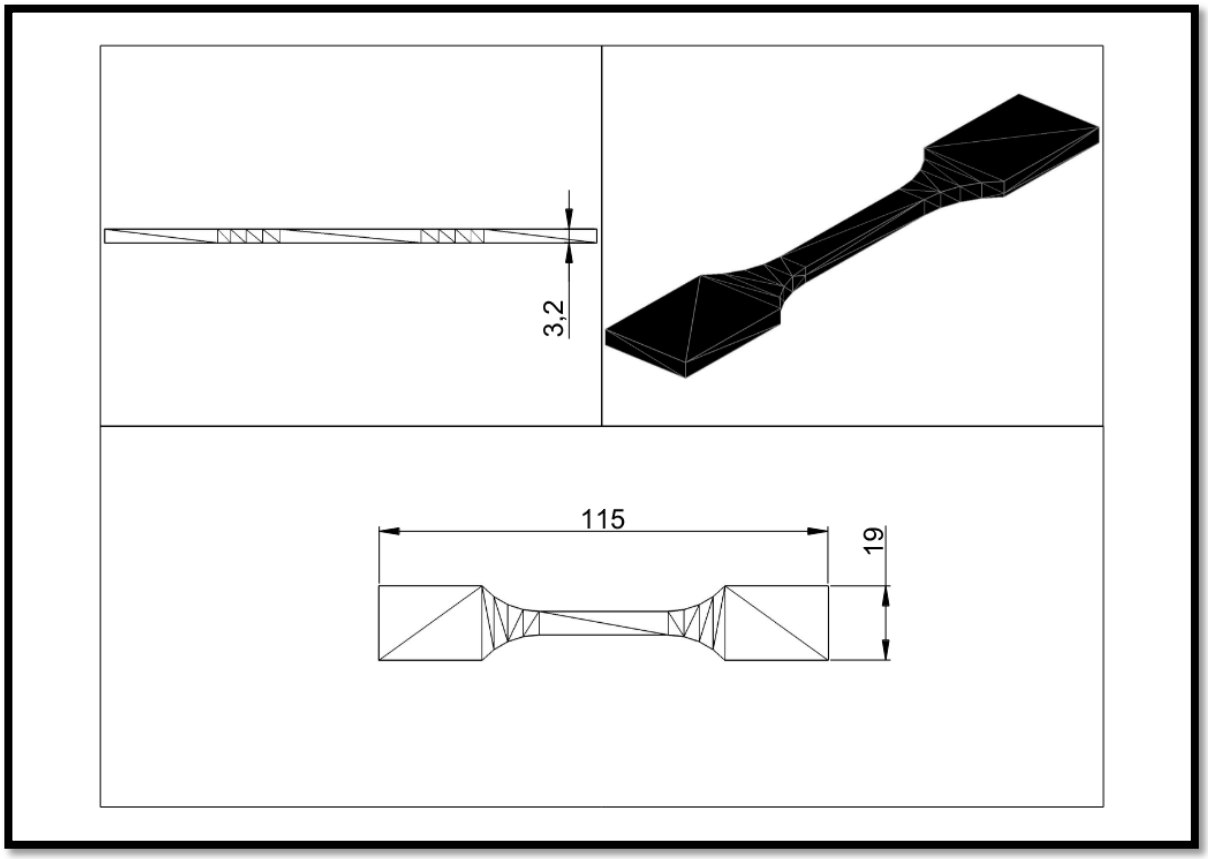
Figura 20. Dimensiones de probeta estandarizada para tracción

ASTM D638 Dimensiones y tipos de probetas

Norma	Tipo de probeta	Observación:	l_3 mm	l_1 mm	b_2 mm	b_1 mm	h mm	L_0 mm	L mm
ASTM D638	Tipo IV	para comparaciones de plásticos rígidos y blandos	>115	33±0.5	19+6,4	6±0.05	3.2±0.4	25±0.13	65±5

Fuente: ZwickRoell.

Figura 21. Dimensiones en CAD de probeta estandarizada para tracción.



Fuente: elaboración propia.

(Todas las unidades en milimetros).

Figura 22. Ensayo de tracción

Fuente: Elaboración propia.

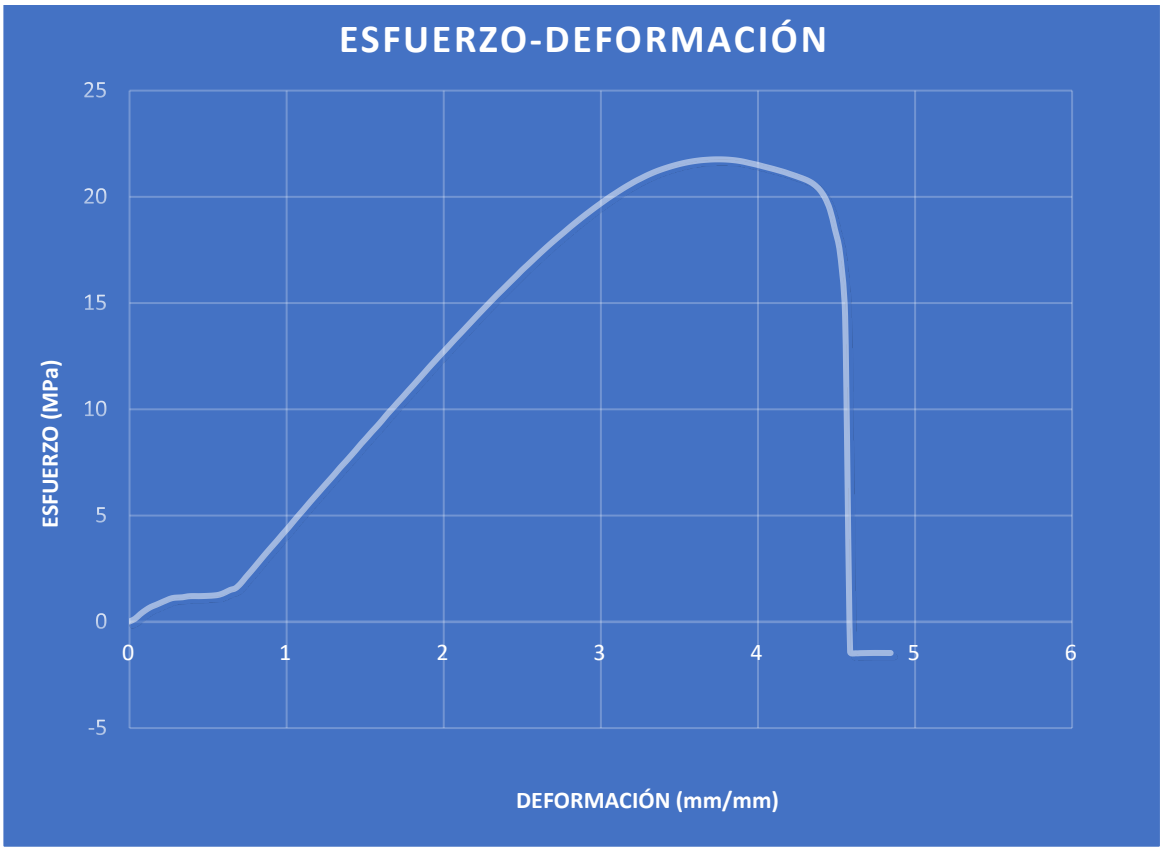
Figura 23. Probetas Estandarizadas después de ensayo.

Fuente: Elaboración propia.

7.2.1. Gráficas de ensayo de tensión.

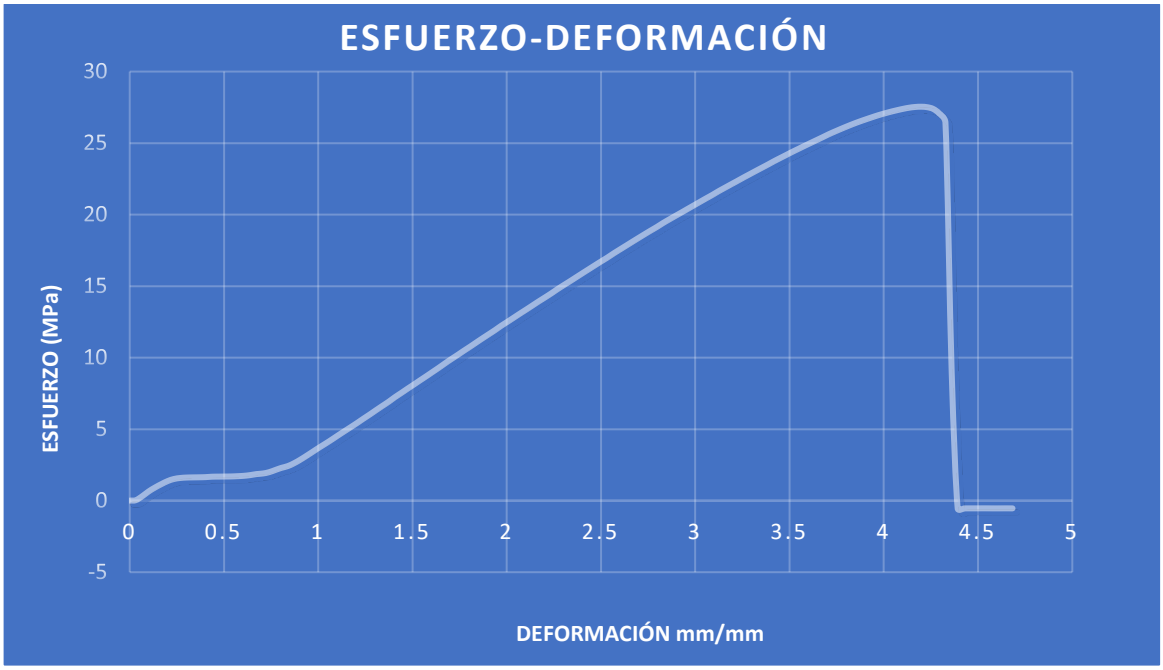
Logrando realizar los ensayos de tensión con una velocidad 5 mm/min, en cada una de las probetas impresas, se obtuvieron datos los cuales, en una base de datos se obtuvieron las siguientes graficas:

Gráfica 9. Probeta ABS N° 1.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 10. Probeta ABS N° 2.

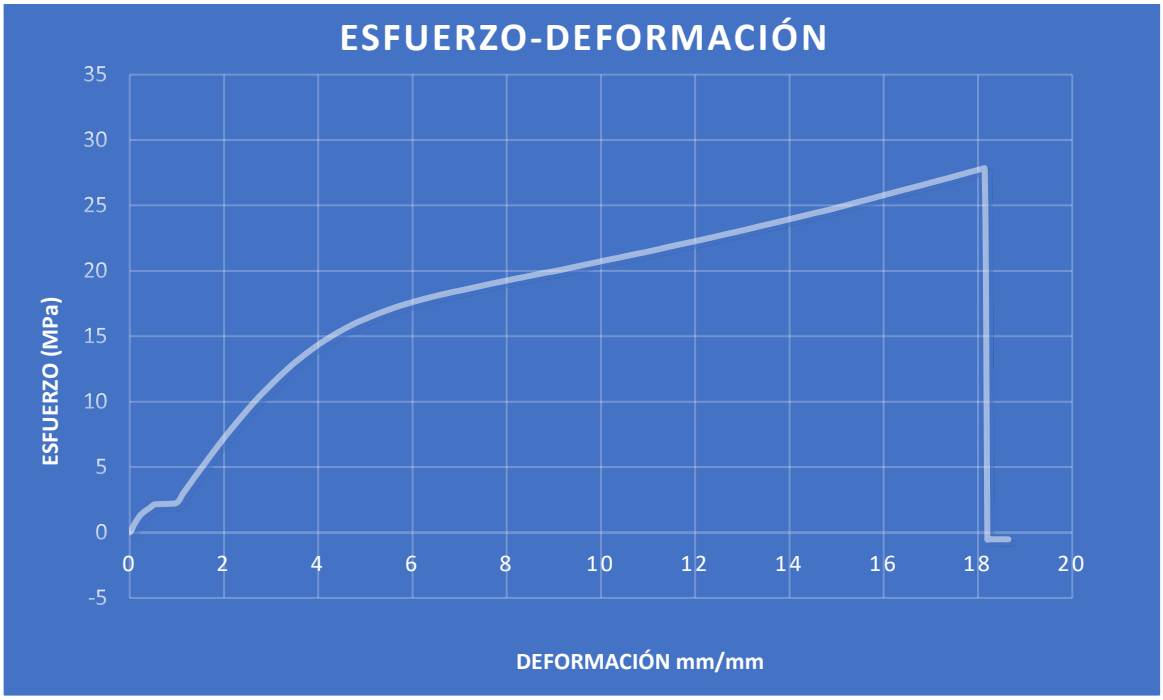


Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 11. Probeta Resina UV N° 1.

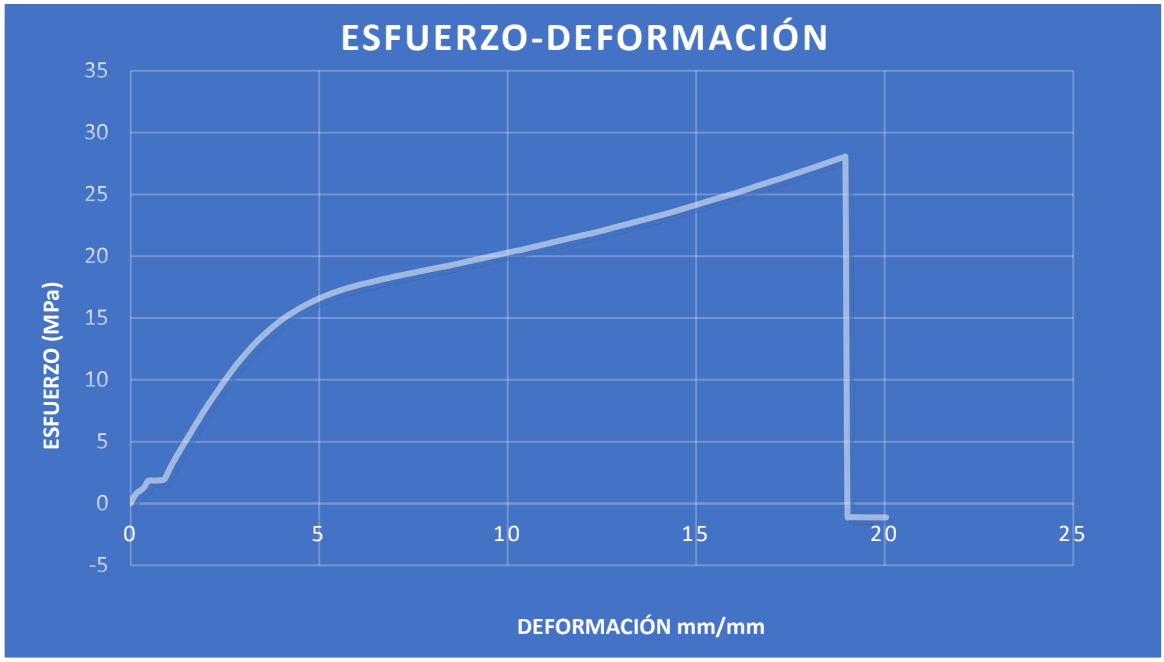
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfica 12. Probeta Resina UV N° 2.



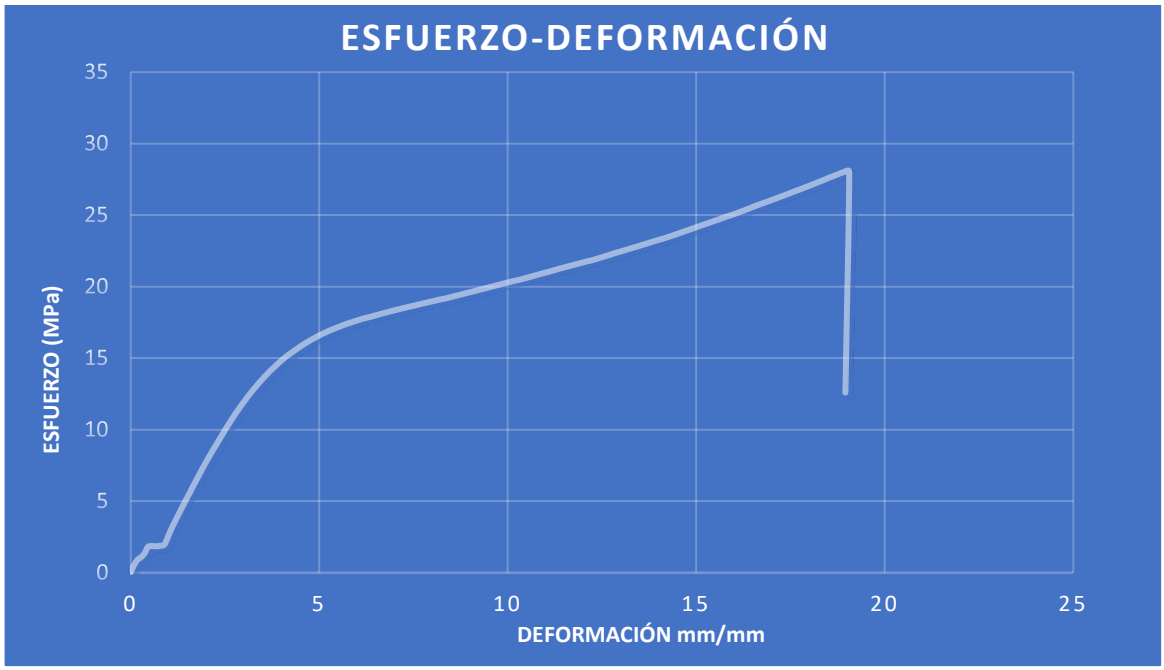
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 13. Probeta PET-G N° 1.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 14. Probeta PET-G N° 2.



Fuente: Elaboración propia.

7.3. ARGUMENTACIÓN

A pesar de que, se les dio una solución a las probetas para realizar el ensayo de tracción, aunque esta carcasa no va a estar expuesto a tensión en ningún momento, la razón por la cual se hizo, es para definir en este punto, que material tenía mejor resistencia y tomarlo como un criterio a evaluar.

8. RESULTADOS

8.1. MATRIZ DE RESULTADOS

Para analizar la información recopilada se empleó una matriz que, mediante rangos y tres colores distintivos, facilitó una interpretación más clara de los datos presentados en las gráficas.

Con esta matriz de datos se logró concluir y resolver uno de los objetivos clave del proyecto: "Analizar los valores obtenidos en las pruebas de ensayos mecánicos y funcionales aplicados a cada uno de los modelos." Habiendo alcanzado este hito, se pudo proceder a la resolución de los demás objetivos.

En la siguiente tabla, se manejó una escala de colores para ayudar a sintetizar un poco mejor los resultados. Fueron tres colores los que se utilizaron: verde, amarillo y naranja, en los cuales se especificó la resistencia en intervalos en unidades de esfuerzo (Mpa). Con esto, se relacionó el material que más esfuerzo soportó de una manera más visual y validando la información que se obtuvo de las gráficas.

Verde: esfuerzo entre 26 Mpa y 35Mpa (resistencia alta).

Amarillo: esfuerzo entre 16 Mpa y 25Mpa (resistencia media).

Naranja: esfuerzo entre 0 Mpa y 15Mpa (resistencia baja).

Tabla 12. Matriz de resultados en ensayos de tracción y compresión.

OBJETIVO	MATERIAL DE LA CARCASA	TIPO DE ENSAYO MECANICO	RESULTADOS
Analizar los resultados arrojados en las pruebas de ensayos mecánicos y pruebas funcionales aplicados a cada uno de los modelos.	Resina UV	TRACCIÓN	
		COMPRESIÓN	
	ABS	TRACCIÓN	
		COMPRESIÓN	
	PET-G	TRACCIÓN	
		COMPRESIÓN	
(26 MPa - 35 MPa)	(16 MPa - 25 MPa)	(0 MPa - 15 MPa)	
RESITENCIA ALTA	RESISTENCIA MEDIA	RESISTENCIA BAJA	

Fuente: Elaboración propia.

Realizada la tabla de resultados, arrojo como mejor elección de material, al de Resina UV, en cuanto, a los ensayos mecánicos de tracción y compresión.

Para definir el ensayo de caída libre, se realizó algo mucho más experimental, en lo cual el resultado se definió a partir de los daños presentados en cada una de las carcasas evaluadas.

Tabla 13. Matriz de resultados en ensayo experimental de caída libre.

MATERIAL DE LA CARCASA	TIPO DE ENSAYO MECANICO	RESULTADOS
Resina UV	CAIDA LIBRE	
ABS	CAIDA LIBRE	
PET-G	CAIDA LIBRE	
DAÑO GRAVE	DAÑO MEDIO	DAÑO LEVE

Fuente: Elaboración propia.

En la elección de qué material en la carcasas se vio menos afectado a la caída, si bien la carcasa en los materiales ABS y PET-G tuvieron un buen desempeño en cuanto al criterio de daño, se eligió la carcasa en RESINA UV, ya que esta fue la que menos daño presentó en comparación con los anteriormente mencionados.

9. CONCLUSIONES

- La evaluación experimental confirmó que la resina UV es el material más adecuado para la carcasa de la máquina de tatuar, cumpliendo con uno de los objetivos específicos del proyecto.

- El hecho de que el mejor material haya sido la resina UV, el mismo con el que se diseñó principalmente la carcasa, sugiere que la selección inicial se basó en fundamentos correctos de resistencia y adecuación.

- La resistencia superior de la resina UV elimina la necesidad de rediseños y nuevas impresiones, lo que se traduce en ahorro de tiempo y recursos.

- Más allá de sus propiedades técnicas, la resina UV también presenta ventajas económicas y de facilidad de fabricación en el mercado de impresión 3D, consolidándola como la opción preferente.
- La dependencia de servicios de impresión 3D de terceros introduce una falta de control sobre factores críticos como la temperatura, velocidad, modo de impresión y la calidad de la máquina de impresión, lo que puede afectar la consistencia y las propiedades finales de las piezas.

- Los factores externos no controlados durante la impresión 3D tuvieron una influencia directa en la evaluación de los tres materiales, lo que resalta la importancia de un entorno de fabricación controlado para obtener resultados precisos y reproducibles.

- A pesar de un diseño y planificación rigurosos, la experiencia demostró que siempre pueden surgir imprevistos en la fase de fabricación (como la desviación en el ensayo de tracción), lo que puede alterar el resultado esperado del proyecto.

- Las conclusiones resaltan que la selección de un material no solo debe basarse en sus propiedades intrínsecas, sino también en las condiciones del proceso de fabricación disponible (propio o de terceros) y su impacto en la calidad final.

10. RECOMENDACIONES

- La experiencia en la evaluación de materiales y el uso de la impresión 3D en este proyecto resalta dos áreas cruciales para futuros trabajos. En primer lugar, la manufactura aditiva presenta una variabilidad inherente en el proceso que impacta directamente las propiedades mecánicas de los componentes. Factores como la temperatura y velocidad de impresión, el porcentaje de relleno y la calidad del equipo son difíciles de controlar externamente, causando inconsistencias notables incluso entre piezas del mismo material. Por ello, se recomienda implementar un diseño experimental robusto con un mayor número de muestras y análisis estadísticos rigurosos para cuantificar esta variabilidad. Además, es fundamental explorar tratamientos de post-procesamiento (curado, recocido) que puedan homogeneizar las propiedades, y establecer protocolos de documentación exhaustivos sobre todos los parámetros de impresión y condiciones ambientales, lo que es vital para la trazabilidad y la replicabilidad de los resultados.

- En segundo lugar, el mercado de impresión 3D en ciudades como Bogotá D.C., si bien es vibrante, muestra una marcada disparidad en precios y calidad de filamentos, especialmente para materiales como ABS y PET-G. Para asegurar la mejor relación costo-beneficio en la obtención de prototipos, es crucial realizar una investigación de mercado exhaustiva, solicitando cotizaciones de al menos cinco proveedores para

comparar precios, calidades de materiales y experiencias previas. Es vital priorizar la calidad sobre el precio mínimo, ya que una inversión inicial ligeramente mayor en un proveedor confiable puede prevenir problemas costosos y retrasos. Finalmente, se aconseja solicitar muestras de trabajos previos y referencias para evaluar la reputación y la capacidad de respuesta del proveedor, y establecer criterios de calidad claros desde el inicio, compartiéndolos con los potenciales fabricantes para asegurar el cumplimiento de las expectativas.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Quevedo, Y. Bonilla, C. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL COPOLÍMERO PETG MEDIANTE IMPRESIÓN FDM 3D. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Borrás, V. Fenollar, O. Montañez, N. CARACTERIZACION DE MATERIALES POLIMERICOS. Universitat Politécnica de Valencia.

Ortega, Y. 2006. Prueba de Impacto: ensayo Charpy. Revista mexicana de física. E52. 51-57.

Muñoz, R. Hernández, A. roshardt, F. Vega, J. Christop R. IMPRESION 3D: PRUEBAS DE RESISTENCIA DE MATERIALES DE ACUERDO A NORMA ASTM D638-10. Instituto de Ciencias, Tecnología e Innovación.

Solís, M. Lispergher, J. Resistencia al Impacto y a la Tracción de Materiales Compuestos Plástico-Madera. Información Tecnológica. Vol. 16. 21-25.

Polymer Process. (s.f.). ABS Polymer: A Detailed Understanding of Its Characteristics and Applications. Polymer Process.

Polymer Process. (s.f.). *Resina UV: Características y Aplicaciones*. Polymer Process.

Material Properties. (2024). Polyethylene Terephthalate G (PETG): Formula, Properties & Application. Material Properties.

Safe Load Testing Technologies. (s.f.). *Entendiendo las máquinas de ensayo de caída*. Safe Load Testing Technologies.

ISO. (2022). ISO 527-1: Plásticos - Determinación de propiedades mecánicas - Parte 1: Principios generales. ISO.

ASTM International. (2023). ASTM D695: Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. ASTM International.

ISO. (2022). ISO 179-1: Plásticos - Determinación de propiedades de impacto - Parte 1: Ensayo Charpy. ISO.

ASTM International. (2023). ASTM D671: Standard Test Method for Tension-Tension Fatigue of Plastics. ASTM International.

Askeland, D. R., & Wright, W. J. (2016). *The science and engineering of materials* (7th ed.). Cengage Learning.

Barsom, J. M., & Rolfe, S. T. (1999). *Fracture and fatigue control in structures: Applications of fracture mechanics* (3rd ed.). ASTM International.

Suresh, S. (1998). *Fatigue of materials* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Dieter, G. E., & Schmidt, L. C. (2017). *Mechanical metallurgy* (SI metric ed.). McGraw-Hill Education.

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). John Wiley & Sons.

Caballero Pérez, L. A., Hernández Monzón, A., Tejedor Arias, R., & Montes Montes, E. J. (2023). CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS DE MATERIALES POLIMÉRICOS NATURALES PARA ENCAPSULACIÓN, MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)*, 1(41), 1–11.

Posada, J. C., & Montes-Florez, E. (2022). BIODEGRADABLE POLYMERIC MATERIALS AND THEIR APPLICATION IN DIFFERENT INDUSTRIAL SECTORS. *Informador Técnico*, 86(1), 94–110.

Juárez-Hernández, A., Martínez-Cruz, M., Trejo-Martínez, C., & López-González, J. (2024). CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS CON MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON FIBRAS NATURALES. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 25(2).

Posada, J. C., & Montes-Florez, E. (2021). REVISIÓN: MATERIALES POLIMÉRICOS BIODEGRADABLES Y SU APLICACIÓN EN DIFERENTES SECTORES INDUSTRIALES. *Informador Técnico*, 86(1), 94–110.

Meneses, J., Corrales, C. M., & Valencia, M. (2007). SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN DE YUCA. *Revista EIA*, (8), 57–67.

Rodríguez-Félix, D. E., Quiroz-Castillo, J. M., Del Castillo-Castro, T., Castillo-Ortega, M. M., Ramírez-Rodríguez, L. P., García-Bedoya, D., & Mendívil-Reynoso, T. (2015). PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DEGRADABLES. *Superficies y Vacío*, 28(1).