



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN.**

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ANÁLISIS DE MATERIALES UTILIZADOS EN IMPRESIÓN
3D. CASO DE ESTUDIO FABLAB UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE CUENCA.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA INDUSTRIAL**

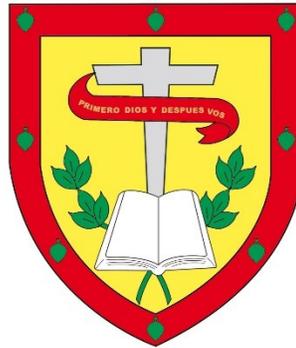
AUTOR: JOSELINE LISSETH ASTUDILLO TORAL

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS GÁRATE AGUIRRE. MBA/MIE.

CUENCA - ECUADOR

2021

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ANÁLISIS DE MATERIALES UTILIZADOS EN IMPRESIÓN 3D. CASO
DE ESTUDIO FABLAB UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA INDUSTRIAL.**

AUTOR: JOSELINE LISSETH ASTUDILLO TORAL.

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS GÁRATE AGUIRRE. MBA/MIE.

CUENCA - ECUADOR

2021

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Joseline Lisseth Astudillo Toral portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0150392967**.
Declaro ser el autor de la obra: **“Análisis de materiales utilizados en la impresión 3D. Caso de estudio FabLab Universidad Católica de Cuenca”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 14 de octubre de 2021

F: 

Joseline Lisseth Astudillo Toral

0150392967

www.ucacue.edu.ec

CERTIFICACIÓN

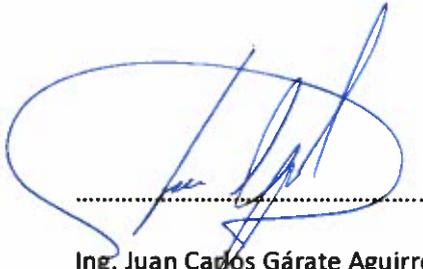
En mi calidad de Tutor del presente trabajo de investigación:

CERTIFICO:

Que el informe de investigación denominado **"ANÁLISIS DE MATERIALES UTILIZADOS EN IMPRESIÓN 3D. CASO DE ESTUDIO FABLAB UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA"**, presentado por la estudiante JOSELINE LISSETH ASTUDILLO TORAL, estudiante del Décimo Ciclo de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica de Cuenca, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinador designado.

Cuenca, 14 de octubre de 2021.

EL TUTOR



Ing. Juan Carlos Gárate Aguirre. MBA/MIE

C.C.: 0102628880

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi madre Viviana Toral quien ha sido la persona más importante y constante para culminar este anhelo profesional, me ha formado con valores y dedicación; a mis amigas que han sido un apoyo fundamental, a mi sobrino José Alfredo que es una motivación e impulso en mi vida, a la universidad que me abrió sus puertas y me acogió para lograr mi meta profesional, a los docentes quienes me han formado a lo largo de la vida estudiantil.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial a mi director de tesis Ing. Juan Carlos Gárate quien ha sido un pilar fundamental para que este trabajo culmine con éxito, al Ing. Rolando Andrade y la Diseñadora Cristina Jaramillo, quienes han aportado sus conocimientos y me han brindado un apoyo incondicional; a los ingenieros, Marcos González, Atanasio Jara y Diego Heras, quienes fueron una guía importante a lo largo de este camino.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con el propósito de analizar los materiales que se manejan en Fab Lab de la Universidad Católica de Cuenca, para las impresiones en 3D en el laboratorio, de manera que se logren conseguir resultados que aporten al desarrollo de nuevos proyectos dentro de esta área. Para ello, se diseñaron e imprimieron probetas en seis materiales y cuatro tamaños. Con estos elementos se realizaron diversas pruebas experimentales cuyos resultados fueron analizados con el uso de herramientas estadísticas y software adecuado para el efecto. Estos análisis facilitarán y permitirán el uso apropiado de cada tipo de material; impresoras 3D adecuadas para dichos materiales. Con este análisis se ha conseguido obtener el conocimiento adecuado respecto de las características más importantes utilizados para imprimir en 3D en las impresoras que posee Fab Lab de la UCACUE tales como: resistencia, temperatura de fusión, flexión, temperatura de impresión, grosor de capa, velocidad de impresión, grados del extrusor, número de boquilla y tiempos de impresión, de manera que dicha información optimice los procesos de impresión en 3D, reduciendo la prueba error y los reprocesamientos, así mismo se espera que esta investigación sea una base sustentable para el laboratorio ayudando a mejorar sus estándares de calidad y solucione problemas.

Palabras clave: impresión 3D, tecnología 3D, fabricación digital, materiales de impresión

ABSTRACT

This research work was conducted to analyze the materials that are handled in the Fab Lab of the Catholic University of Cuenca, for 3D printing in the laboratory, to achieve results that contribute to the development of new projects in this area. To this end, test pieces were designed and printed in six different materials and four sizes. With these elements, several experimental tests were performed, whose results were analyzed using statistical tools and appropriate software. These analyses will facilitate and allow the appropriate use of each type of material; 3D printers suitable for these materials. With this analysis it has been possible to obtain adequate knowledge regarding the most important characteristics used for 3D printing in the printers owned by Fab Lab of UCACUE, such as resistance, melting temperature, bending, printing temperature, layer thickness, printing speed, extruder degrees, nozzle number, and printing times, so that this information optimizes the 3D printing processes, reducing the error test and reprocessing, it is also expected that this research will be a sustainable basis for the laboratory helping to improve their quality standards and solve problems.

Keywords: 3D printing, 3D technology, digital fabrication, printing material

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad.....	I
CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I.....	14
PROBLEMÁTICA.....	14
1.1 Tema:.....	14
1.2 Línea de Investigación	14
1.3 Planteamiento del problema.....	14
1.4 Delimitación del problema.....	15
1.5 Definición de la zona de estudio	16
1.5.1 Ubicación	16
1.5.2 Descripción del área del proyecto	16
1.5.3 Delimitación Espacial	16
1.5 OBJETIVOS	17
1.5.1 Objetivo General:	17
1.5.2 Objetivos específicos:	17
1.6 JUSTIFICACIÓN	17
CAPÍTULO II	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1 FabLabs	19
2.1.1 Historia de los Fab Labs.....	19
2.1.2 ¿Qué son los Fab Lab?	20
2.1.3 ¿Para qué sirven?.....	21
2.2 Impresión en 3D.....	22
2.2.1 Historia.....	22
2.2.2 Tipos de impresoras 3D.....	23
<i>Tipos de impresoras</i>	<i>24</i>
Tabla 2	25

<i>Impresoras destacadas</i>	25
2.3 Impresoras que dispone el FabLab	26
2.3.1 Flash Forge.....	26
2.3.2 FormLabs Form 2.....	28
2.3.3 Raise 3D Pro2 Plus.....	29
2.4 Materiales para impresión 3D.	30
Tabla 3	31
<i>Materiales para impresión 3D</i>	31
CAPÍTULO III	35
METODOLOGÍA	35
3.1 Enfoque de la investigación	35
3.2 Tipo de investigación	35
3.3 Tipo de diseño	36
3.4 Población y muestra	38
3.5 Método de recolección de información	38
3.6 Análisis y presentación de información recolectada	39
CAPÍTULO IV	40
PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	40
4.1 Descripción del proceso	40
4.2 Selección de software.....	57
4.3 Selección de impresora.....	57
4.3.1 Flash forge.....	58
4.3.2 Raise 3D pro2 plus	58
4.3.3 Form2	58
4.4 Tipo de material empleado.....	59
4.4.1 TPU (Poliuretano termoplástico)	59
4.4.2 PLA (Ácido poliláctico).....	60
4.4.3 ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno)	61
4.4.4 FC (Fibra de carbono)	62
4.4.5 RESINAS	62
4.5 Parámetros de impresión	63
4.6 Pruebas de compresión y flexión	65
4.6.1 Pruebas de compresión.....	65
4.6.2 Pruebas de flexión	66

4.6.3 prensas utilizadas para las pruebas.....	66
CAPÍTULO V	68
RESULTADOS OBTENIDOS	68
5.1 Procedimiento	68
Tabla 6 <i>Prueba de Shapiro Wilk para las tres probetas y el tipo de material empleado según presencia de cavidad y tamaño del objeto.</i>	69
5.2 Resultados	71
5.2.1 Probetas llenas de 5cm	71
Tabla 7	71
<i>Datos descriptivos y prueba ANOVA para comparar los seis materiales en impresiones de 5cm llenas.</i>	71
5.2.2 Probetas llenas de 12cm	73
Tabla 8	73
<i>Datos descriptivos y prueba ANOVA para comparar los seis materiales en impresiones de 12 cm llenas.</i>	73
5.2.3 Probetas llenas de 20 cm	75
Tabla 9 <i>Datos descriptivos y prueba ANOVA para comparar los tres materiales en impresiones de 20 cm llenas.</i>	76
5.2.4 Probetas vacías de 5cm	77
Tabla 10	77
<i>Datos descriptivos y prueba ANOVA para comparar los seis materiales en impresiones de 5 cm vacías.</i>	77
5.2.5 Probetas vacías de 12cm	79
Tabla 11 <i>Datos descriptivos y prueba ANOVA para comparar los seis materiales en impresiones de 12 cm con cavidad.</i>	79
5.2.6 Probetas vacías de 20 cm	80
Tabla 12 <i>Datos descriptivos y prueba ANOVA para comparar los seis materiales en impresiones de 20 cm con cavidad.</i>	81
5.2.7 Planchas.....	82
Tabla 13	83
<i>Datos descriptivos y prueba ANOVA para comparar los tres materiales en impresiones de planchas de 20cm x 8 cm y 2cm de espesor.</i>	83
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	88
BIBLIOGRAFÍA:	91
ANEXOS.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica.....	16
Figura 2: Impresora Flash Forge.....	27
Figura 3: Impresora Form2	28
Figura 4: Impresora Raise 3D Pro2 Plus.....	29
Figura 5: Diseño de probetas llenas y vacías de 5 cm	41
Figura 6: Diseño de probetas llenas y vacías de 12 cm	41
Figura 7: Diseño de probetas llenas y vacías de 20 cm	42
Figura 8: Diseño de probetas planchas	42
Figura 9: CIITT de Ricaurte	44
Figura 10: TPU	59
Figura 11: PLA	60
Figura 12: ABS	61
Figura 13: FC (Fibra de carbono)	62
Figura 14: Resinas.....	63
Figura 15: Mallado cuadricular.....	65
Figura 16: Versa Loader	66
Figura 17: Prensa de compresión de hormigón.....	67
Figura 18: Diagrama de dispersión 5 cm llenas.....	72
Figura 19: Diagrama de dispersión 12 cm llenas.....	75
Figura 20: Diagrama de dispersión 20 cm llenas.....	76
Figura 21: Diagrama de dispersión 5 cm vacías	78
Figura 22: Diagrama de dispersión 12 cm vacías	80
Figura 23: Diagramas de dispersión 20 cm vacías.....	82
Figura 24: Diagrama de dispersión planchas	83

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el desarrollo de la tecnología está presente en cada situación. Desde hace algunos años se han logrado crear dispositivos que han permitido la fabricación de objetos que parecían imposibles. Actualmente, la innovación y desarrollo de nuevas tecnologías han contribuido a mejorar los procesos de fabricación digital con el propósito de satisfacer necesidades y problemas encontrados por el ser humano. A partir de ello han surgido diferentes mejoras y cambios con la finalidad de que las personas puedan ser quienes solucionen problemas arraigados en la industria mundial, de la mano de la tecnología.

Una visión ambiciosa es la que se propone en este proyecto de titulación denominado Análisis de los materiales utilizados en la impresión 3D. Caso de estudio FabLab de la Universidad Católica de Cuenca el cual plantea analizar los materiales que este laboratorio utiliza para la impresión 3D, además determinar las características como temperaturas en las cuales son fundidos, tiempos de impresión, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y parámetros que permitan modelar e imprimir en estos materiales de manera que dicha información facilite los procesos de impresión reduciendo la prueba error y los reprocesamientos

El trabajo está conformado por cinco capítulos, en el Capítulo I, Problemática, se define el tema de investigación, se delimita el problema, se declaran los objetivos del estudio y finalmente se justifica el tema desde varias perspectivas. Seguidamente, en el capítulo II se desarrolla el Marco teórico, ahí se enfatiza sobre la historia y evolución de los FabLab y la impresión en 3D. Así mismo, se detalla los diferentes tipos de impresoras y los diversos materiales que existen para ser utilizados en estos procesos.

En el Capítulo III, Metodología, se explica a profundidad cada una de las técnicas y métodos de investigación de la información necesaria para este trabajo. Al ser una investigación cuantitativa, se analizan las características y funciones de los materiales existentes en el FabLab de la UCACUE que se utilizan actualmente en los procesos de impresión 3D.

En el Capítulo IV, Pruebas experimentales, se realiza pruebas de compresión y flexión en los seis materiales PLA, ABS, TPU, FC, RESINA ESTÁNDAR y RESINA BIOCOMPATIBLE, con la finalidad de conocer las características y funciones principales de los materiales que tiene FAB LAB para la impresión 3D. Dichas pruebas se desarrollaron desde el 25 de noviembre de 2020 hasta el 15 de junio de 2021, en los laboratorios de esta institución.

Para finalizar, en el Capítulo V, se analizan los resultados obtenidos en las pruebas de campo los cuales se presentan mediante tablas estadísticas.

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA

1.1 Tema:

“ANÁLISIS DE MATERIALES UTILIZADOS EN IMPRESIÓN 3D. CASO DE ESTUDIO FABLAB UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA”.

1.2 Línea de Investigación

De acuerdo a los lineamientos de la institución de educación superior (Universidad Católica de Cuenca, 2020) establece que, el trabajo de investigación de materiales utilizados en la impresión 3D corresponde

- Energía eléctrica y tecnologías de la información para la innovación y el desarrollo sostenible.
- Pertenece a la sub línea de Modelado, Automatización y Control.

1.3 Planteamiento del problema

La fabricación digital o impresión 3D es el conjunto de ideas y mecanismos que hacen posible la fabricación de diferentes diseños a través de sus dispositivos, software y materiales. En el laboratorio FabLab perteneciente a la Universidad Católica de Cuenca no se ha realizado un estudio y análisis de los materiales aptos para la impresión 3D, tales como: PLA, TPU, ABS, FC, RESINA ESTÁNDAR Y BIOCOPATIBLE. Por esta razón surge la necesidad de investigar a profundidad estos materiales, con la finalidad de establecer parámetros como: su resistencia, temperatura de extrusión, temperatura de la cama, tiempo de impresión, de acuerdo al tipo de material que el usuario requiera para obtener los resultados deseados.

Se tiene en cuenta que este análisis será una base muy importante para descartar las pruebas error que se realizan para obtener los resultados óptimos, pues en la actualidad no se cuenta con una guía en la cual se detalle los tipos de materiales, su variabilidad y diferentes características que son de suma importancia al momento de realizar la impresión y su utilización.

Para (Bordignon, Iglesias, & Hahn, 2018) no existen un solo material para la impresión 3D, así como tampoco un solo tipo de impresora, esto depende mucho del tipo de impresión, temperaturas, acabados, solidificación, etc.

Es por esto que es muy importante contar con una presentación detallada de cada uno de los materiales que existen para ser utilizados en los procesos de impresión 3D que se realizan en el FAB LAB de la UCACUE, ya que, para cada impresora, así como para cada técnica de impresión debe utilizarse un tipo de material específico.

En base a lo manifestado anteriormente, se plantea la siguiente hipótesis en este trabajo de investigación:

De los materiales para impresión en 3D que utiliza el FabLab, cual muestra mayor resistencia a la compresión, y, cual se muestra más flexible al momento de ser sometidos a pruebas rigurosas en el laboratorio de suelos de la Universidad Católica de Cuenca.

1.4 Delimitación del problema

Este trabajo de titulación tuvo lugar en el laboratorio Fab Lab perteneciente a la Universidad Católica de Cuenca, la cual inició con la recopilación de información documentada en archivos, libros y artículos académicos que poseen información relevante acerca de la historia de los Fab Labs y en el caso puntual del FabLab de la UCACUE, su implementación en el campus de ingenierías. Posteriormente se da a conocer las tecnologías existentes en impresoras 3D y los materiales más utilizados, todo ello en base a la información encontrada en la etapa de la investigación documental.

El estudio tiene como objetivo principal analizar los materiales que utiliza el laboratorio tales como; PLA (Acido poliláctico), ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno), TPU (Poliuretano termoplástico), Resina estándar (vidriosa), Resina biocompatible (medica), FC (Fibra de carbono), con estos se realizan las impresiones que después serán sometidos a pruebas de compresión y flexión reflejando resultados.

Para finalizar lo que se busca es generar resultados que ayuden y aporten a FabLab al momento de decidir que material será el óptimo para cada tipo de trabajo, los parámetros necesarios, la calibración de las maquinas; es decir que sirvan como guía y los técnicos estén en la capacidad de encaminar a sus clientes al momento de elegir un tipo material, conociendo su resistencia y flexión, durabilidad, acabados, temperaturas, etc.

1.5 Definición de la zona de estudio

1.5.1 Ubicación

El trabajo de investigación se realizó en el laboratorio Fab Lab el mismo que se encuentra ubicado en la Av. Américas, campus ingeniería.

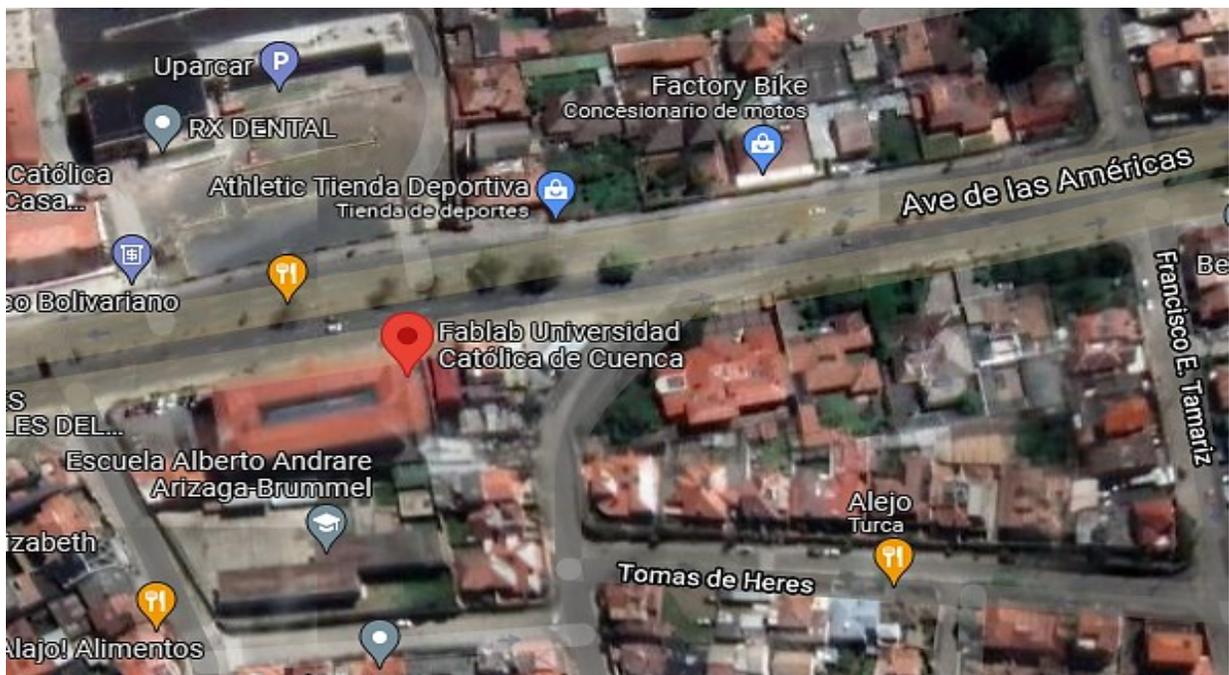
1.5.2 Descripción del área del proyecto

El trabajo de investigación está encaminado en el área de manufactura, modelado y prototipado, específicamente en el ámbito de la impresión digital.

1.5.3 Delimitación Espacial

A continuación, se puede observar su ubicación exacta en el mapa geográfico de Google Maps.

Figura 1: *Ubicación geográfica*



Nota: ubicación del Fab Lab de la Universidad Católica de Cuenca Adaptado de *Google Maps*. 2020.

<https://cutt.ly/qhn2tLD>

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General:

Analizar los materiales utilizados en impresión 3D. Caso de estudio Fab Lab Universidad Católica de Cuenca.

1.5.2 Objetivos específicos:

- Determinar las características de los materiales utilizados en la impresión 3D de FabLab de la Universidad Católica de Cuenca.
- Realizar pruebas en los materiales existentes para impresión 3D en Fablab de la Universidad Católica de Cuenca y presentar los resultados obtenidos.
- Identificar y estandarizar los parámetros necesarios para modelar e imprimir en los materiales investigados acorde a las impresoras 3D que dispone Fab Lab de la Universidad Católica de Cuenca.

1.6 JUSTIFICACIÓN

El mundo actual se encuentra en la urgencia de mejorar y desarrollar su tecnología por el simple hecho de que cada día surge una nueva necesidad en la sociedad, la era tecnológica avanza a la par del crecimiento poblacional y sus múltiples necesidades. El hombre es quien trabaja y busca las soluciones ante miles de problemas y el desarrollo tecnológico brinda las posibles soluciones ante los problemas de la humanidad.

La impresión 3D es una tecnología que funciona por medio de un extrusor el cual va empujando el material a un inyector que es el encargado de imprimirlo mediante capas, esta impresión tiene sentido de dos direcciones cartesianas como es X y Y, así también existe la base o más conocida como cama de la impresión la cual es la encargada de dar el volumen del prototipo diseñado por un ordenador o programa. (Macas & Pilco, 2016)

Existe una amplia gama de materiales que pueden utilizarse en la impresión 3D, estos pueden variar según sus características: calidad, precio, conductividad y dimensiones. Cabe recalcar la importancia de trabajar con los materiales adecuados para conseguir los mejores resultados. Para

ello es necesario conocer a profundidad sus características, usos y aplicaciones dentro estos procesos.

En el FAB LAB de la Universidad Católica de Cuenca, se dispone de seis principales materiales destinados a la impresión digital. Sin embargo, se carece de un estudio y análisis completo de los mismos. Con esta investigación se busca determinar las características de los materiales utilizados en la impresión 3D, también realizar pruebas de flexión y compresión en los materiales mencionados anteriormente con el fin de conocer la resistencia de cada uno de ellos ante situaciones de carga, estandarizar e identificar los parámetros necesarios tanto para modelar e imprimir de acuerdo a las impresoras que posee el FabLab, así mismo este trabajo queda como un manual que los técnicos podrán utilizar para guiar a los usuarios del laboratorio y evitar desperdicios de material, pérdidas de tiempo y errores.

Para la ejecución se cuenta a cabalidad con los recursos tecnológicos, y económicos, los cuales son financiados por la investigadora y el laboratorio, el estudio de investigación se realiza en las instalaciones del laboratorio, además, se obtuvo documentos que aportaron como una información secundaria para la investigación con la metodología aplicada en el estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 FabLabs

2.1.1 Historia de los Fab Labs

A raíz de la aparición de la industria y las diferentes máquinas y herramientas que se han utilizado a lo largo de los años, la era tecnológica ha tomado fuerza. La fabricación digital toma relevancia en el mundo actual y surgen varios beneficios y problemáticas a su alrededor. Para comenzar, es importante definir la fabricación digital, (Covadonga, 2017) en su artículo lo define como un recurso tecnológico el cual facilita los procesos de fabricación, obteniendo así un manejo más sofisticado y de punta, sin necesidad del recurso humano ya que la maquinaria es la encargada de realizar este trabajo.

Una de las grandes ventajas de estos nuevos procesos de fabricación digital es la reducción de los costos de producción y el tiempo empleado en los mismos. Por tal razón, se convierte en una gran alternativa para muchas empresas e instituciones académicas alrededor del mundo. A nivel de Latinoamérica la fabricación digital toma auge en varias universidades fortaleciendo proyectos correspondientes a diferentes áreas.

A partir del siglo XXI las generaciones estudiantiles empezaron a realizar diferentes investigaciones y proyectos con la finalidad de recolectar información y generar mayores iniciativas sobre esta era tecnológica, fomentando así sistemas que ayuden a solucionar problemas complejos.

Es así que surge la necesidad de crear espacios específicamente destinados a la fabricación digital. En busca de la innovación tecnológica se implantan en la sociedad los Laboratorios de fabricación digital para que los medios de producción puedan ser accesibles en costo y facilidad de ejecución, a cualquier persona motivada en mentalizar una determinada idea y materializarla en un producto. (Morales Martínez, 2018, pág. 1).

Los FabLab lo que proponen y su idea principal es el que las personas sean los encargados de realizar sus propios proyectos, con la finalidad de que se compartan las habilidades entre todos, también se expone el hecho de investigar la brecha entre la tecnología y el ser humano.

En el año 2003 el CBA, estableció en el South End Technology Center de Boston, con financiamiento del NSF el primer FabLab externo con la finalidad de capacitar personas excluidas de la revolución tecnológica y en alto riesgo de desempleo o de abandono escolar. (Morales Martínez, 2018, pág. 8)

A partir de ello, estos proyectos se esparcen a otros países como Ghana, Costa Rica, Noruega, India, entre otros. Cabe mencionar que en cada destino el objetivo del FabLab adopta características propias adecuadas a las necesidades existente en dicho territorio, con el objetivo de brindar soluciones a las problemáticas de cada región.

El fenómeno de los Fab Labs, avanza a gran escala gracias a sus importantes aportes a la ciencia y tecnología mundial, es por esto que llega al Ecuador, conservando el propósito de facilitar espacios y medios tecnológicos a los individuos que pretendan crear productos en base a estos nuevos procesos digitalizados. De esta manera se contribuye al entorno social en diferentes ámbitos que así lo requieran.

En Ecuador nace la necesidad desde años atrás en focalizar las ideas de establecer algunos centros de fabricación digital siendo estos Bacteria Lab, FabLab ZOI de IMPAQTO, AsiriLab ESPOL, FabLab Yachay, laboratorio de la UPS, Fablab de la UCACUE, entre otros.

Los Fab Labs no trabajan de manera individual, detrás de todos estos se encuentran grupos de personas que, gracias a la experiencia y capacidad de desarrollo, trabajan arduamente para que la tecnología avance y se pueda solucionar problemas encontrados en el día a día. También se conoce como una red mundial que está conformada por 13000 laboratorios de inteligencia y capacidad, siendo un impulso grande para la invención técnica y digital. (Szilárd, Ignacio, & Aitor, 2018)

2.1.2 ¿Qué son los Fab Lab?

Los laboratorios de fabricación, modelación y diseño son espacios abiertos a la sociedad que brindan la posibilidad de convertir las ideas en realidad, con su tecnología busca alcanzar y llegar a soluciones futuras con problemas actuales. Estos laboratorios han traspasado fronteras con el único fin de llegar a cada rincón del mundo mostrando su trabajo y brindando soluciones.

Es por esto que los FabLabs han demostrado que su interés es el desarrollo tecnológico, la innovación y la practica funcional ante la revolución que cada día es más grande, además establece tres puntos muy importantes para la instalación de los mismos como tener expertos quienes guíen a los usuarios de este espacio al desarrollo de sus habilidades, la sociedad y los futuros profesionales quienes serán los próximos en revolucionar la tecnología. Estos laboratorios están abiertos a todo público ya que sus demostraciones y diseños son conocidos por toda la sociedad, así incentivan a las personas a demostrar sus conocimientos y poder plasmar proyectos que aporten al entorno.

Morales (2018) explica que el laboratorio de Fabricación Digital, es un espacio implementado con tecnología y metodologías que ayudan que los medios de producción puedan ser accesibles en costo y facilidad de ejecución, a cualquier persona motivada en realizar una determinada idea y materializarla en un producto. (Morales Martínez, 2018, pág. 1)

Por otra parte, García y Lena (2019) en su artículo académico, manifiestan la siguiente conceptualización acerca de los FabLabs:

“Estos centros ayudan al desarrollo de la capacidad de los usuarios, ya que facilitan el convertirse en creadores de inventos necesarios para el uso diario, esto ha sido un total éxito” (García Ruíz & Lena Acebo, 2019, pág. 373).

2.1.3 ¿Para qué sirven?

Los Fab Labs sirven para interactuar y compartir ideas entre varias personas que lo utilicen, este espacio está equipado y destinado a lo que es open source (recursos disponibles para todos). Su objetivo es promover la generación de ideas creativas, que con la ayuda de software y maquinaria de fabricación digital ayuden a la solución de problemas y satisfacer necesidades de las personas. (FAB LAB CUENCA, 2020)

También estos laboratorios tienen como uno de sus principios fundamentales de que el usuario sea capaz de hacer por el mismo su trabajo, por lo que se promueve el empoderamiento de los mismos en el uso de software y maquinaria de diseño y fabricación digital.

2.2 Impresión en 3D

2.2.1 Historia

La impresión 3D nace a raíz de las necesidades de la sociedad, el ser humano está en la capacidad de resolver y solventar los inconvenientes y problemas que se encuentren a lo largo de la vida, sin embargo, necesita la ayuda de la tecnología o diferentes mecanismos. Con los cambios que está atravesando el mundo se puede decir que la fabricación digital es uno de los principales pilares para la revolución industrial y el desarrollo de la sociedad.

La primera impresora para la fabricación digital nace en 1984 iniciando así la era tecnológica revolucionaria. Una empresa llamada 3D-SYSTEMS es la pionera en crear este tipo de impresión aditiva, desde su aparición ciertos especialistas sobre el tema, presentaron un diagnóstico rápido de esta nueva era, sin embargo, no tuvo mucho auge, siendo un proceso lento y costoso.

Al pasar los años los suministros utilizados para las impresiones ya no eran suficientemente resistentes para la utilización en el mercado, es por esto que se fueron creando diferentes tipos de impresoras y así mismo utilizando otros materiales que presenten una mayor resistencia.

Después de varios años es lanzada al mercado la impresora RepRap que fue un invento de Bowyer estas máquinas podían repararse por ellas mismas en caso de averías pequeñas por que podían ser impresas sus piezas con la misma impresora, otro punto importante era que el adquirirlas era menos costoso. (Gil, 2015, pág. 25)

Por otro lado, (Berchon & Luyt, 2016), en su obra titulada “La impresión 3D”, mencionan algunos hitos históricos de los cuales entorna a los años 80 el ingeniero Chuck Hull crea y nombra la técnica de impresión estereolitografía, otro hecho histórico es el de los creadores de la impresión por material fundido que fue creado por Lisa y Scott que hasta el día de hoy es utilizado en la gran mayoría de impresiones.

De igual manera los autores comentan que, existía la capacidad de otros científicos que querían aportar su conocimiento para la creación de impresoras que arrasasen con la era tecnológica, por esto el mercado fue testigo de las nuevas impresoras con cabezales que podían moverse de manera lineal, depositando así diferentes capas para la creación del prototipado.

A raíz del siglo XXI aparece el modelado en tres dimensiones generando la posibilidad de palmar los objetos diseñados en un ordenador cosa que antes el ser humano no podía hacerlo, estas impresoras tienen la capacidad de generar la profundidad del objeto, lo que años atrás no se disponía.

Es importante mencionar que, si bien hoy en día existen múltiples áreas que se interesan en experimentar y conseguir eficaces resultados con la impresión 3D, en un inicio la industria fue quien dio vida a las técnicas de estas impresoras, presentando así posibles soluciones ante problemas.

La implementación de este nuevo estilo tecnológico obliga a la sociedad y al mundo a avanzar conjuntamente, la impresión 3D es una alianza entre la imaginación, talento y el mundo real.

Para concluir, la aparición de la impresión 3D nace hace 25 años, pero ha estado obsoleta y dedicada por mucho tiempo a fines industriales y especializados, las nuevas oportunidades con dicha tecnología han permitido a la sociedad desenvolverse en diferentes ámbitos, con eficacia, logrando evolucionar las técnicas conocidas en la actualidad.

2.2.2 Tipos de impresoras 3D

Actualmente existe una amplia gama de impresoras 3D que varían según su tamaño, características, procesamientos, tipos de materiales, entre otras cualidades. En un inicio, la aparición de las primeras impresoras 3D marcaron un hito histórico en el mundo de la tecnología, hace más de dos décadas. (Berchon & Luyt, 2016) mencionan al respecto:

En la década iniciada en 1990 el hombre fue testigo de las impresoras revolucionarias, “la Genisys, la Actua 2100, y la Z402, fueron las primeras impresoras en aquellos tiempos, al paso de 14 años sale al mercado la Spectrum Z510, lo que la diferencia esta de las demás es que tuvo la capacidad de imprimir en colores y se podía entrelazar unos con otros.” (Berchon & Luyt, 2016).

Uno de los primeros y más destacados procesos de impresión 3D, fue por Charles Hull, siendo un proceso que conlleva el uso de otros datos para que se dé la impresión, aquí se daba la prueba error, que es el experimentar con diseños realizados por computadora e imprimirlos.

A continuación, se describe y clasifica los tipos de impresora en función de la tecnología que cada uno utiliza para la realización de los objetos.

Tabla 1

Tipos de impresoras

Tipo de impresora	Descripción	Características
Mediante láser (SLS)	“Endurece el polímero mediante la luz láser, este va solidificando de acuerdo a cómo va saliendo las capas del material. Este proceso necesita un revestimiento de resina para que se vaya endureciendo” (Córdova, 2016).	“Aunque tiene cierta similitud con la tecnología SLA, todos los materiales no utilizados se almacenan donde comenzó a imprimir” (Impresoras3D, Impresoras3D.com, 2017).
Mediante inyección (SLA)	Muy similar a una impresora de tinta común, “Va fundiendo el material mediante inyección, así va saliendo el material capa por capa” (Córdova, 2016).	El principio de funcionamiento es el que va creando varias capas, las cuales se van adhiriendo una por una con la otra,
Mediante deposición de material (FDM)	Mediante una boquilla va depositando el material fundido y creando el objeto, necesita soportes, varios filamentos.	Tiene una base móvil que puede ayudar a modificar el material, es decir, al depositarse capa a capa, la base se puede quitar fácilmente.

Tipo de impresora	Descripción	Características
Estereolitografía (SLA)	Mediante una luz ultravioleta se va creando la figura en resina, es utilizada para materiales viscosos, su base es movable con la finalidad de que la luz UV acapare todo el material, se utiliza para piezas de una gama alta y una excelente calidad.	Esta puede ser utilizada sin supervisión, puede imprimir sobre piezas sueltas, es un poco toxico por el material que utiliza y el acabado de la figura necesita un curado dependiendo el caso.

Elaborado por: investigadora

A lo largo del tiempo y con los permanentes avances de la tecnología, se fabricaron varios tipos de impresoras, de diferentes tamaños y características, las cuales emplean distintos materiales para ejecutar sus procesos. A continuación, se presentarán algunas de las impresoras más destacadas dentro del mercado con sus respectivas características.

Tabla 2
Impresoras destacadas

Impresora	Características
Desktop 3D printer	“20x20x20cm de capacidad de impresión, trabaja con filamentos PLA y ABS de 1,75mm, cama fría, su costo es bajo, una sola boquilla” (Gil, 2015).
Gigabot printer	Capacidad de 60cm de impresión, trabaja mediante FDM y con PLA de 1,75mm a 3mm, cama fría, costo bajo, una sola boquilla.
Bigrep printer	Capacidad de imprimir de 1005 x1005 x 1005mm, trabaja todos los filamentos, cama caliente y fría al ser modular, costo alto por su capacidad de impresión, dos boquillas.

Impresora	Características
Cincinnati printer	Capacidad de impresión de 240 x190x240mm, trabaja en varios materiales, tiene varias boquillas ajustables y cuenta con ventilador propio, es costoso.
Contour Crafting	Utilizada para impresiones y construcciones de maquetas de arquitectura, reviste los muros y también es considerada un robot.
Impresoras PolyJet, fotopolimerización por luz ultravioleta	Se basaban en suministrar pequeñas cantidades de material a través de cabezales con múltiples boquillas. Estas impresoras son ideales para trabajos médicos o industriales que requieran alta resolución, costosa y trabaja en dimensiones de 250x200x250mm.

Elaborado por: Investigadora

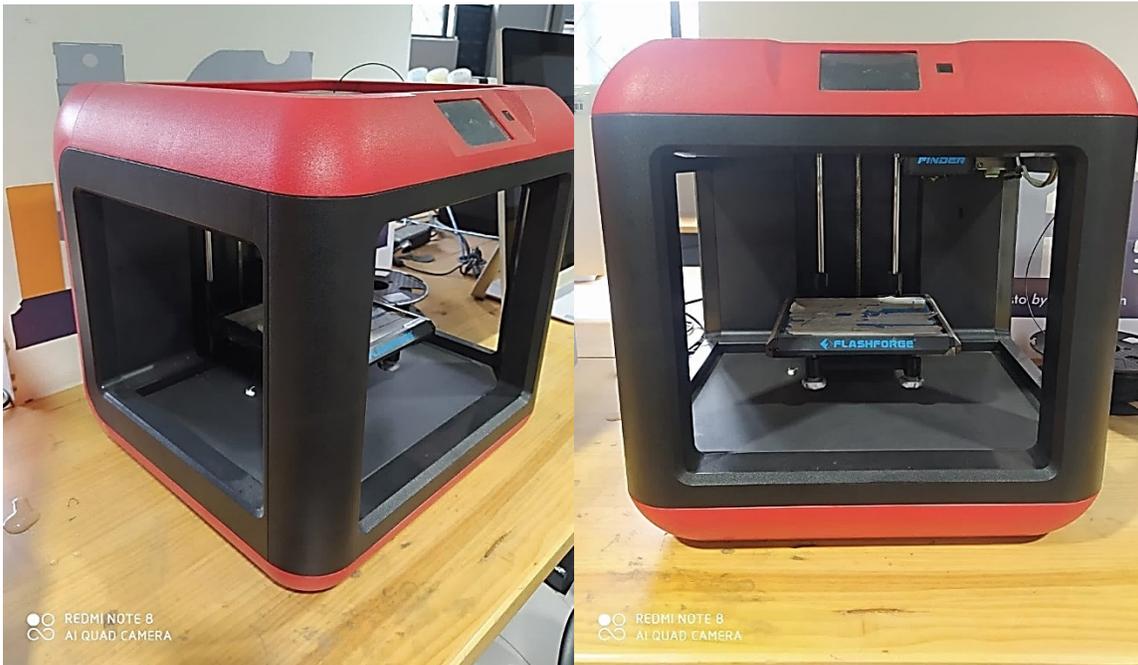
La tabla anterior menciona las impresoras más importantes en el mercado y en base a esto se puede comparar ciertas similitudes de muchas de ellas con las tres impresoras que posee el FabLab de la Universidad Católica de Cuenca, disponen de muchas de las características mencionadas en las tablas 1 y 2. Estas se distinguen por el tipo de material, el tipo de archivo, temperaturas, extrusores y camas frías o calientes. A continuación, se detallan las características de las impresoras Flash Forge, Form2 de Formlabs y la Raise 3D Pro2 Plus.

2.3 Impresoras que dispone el FabLab

2.3.1 Flash Forge

La Flash Forge tiene un código cerrado es decir no puede trabajar con más materiales que no sea el PLA y TPU, trabaja en software Flashprint y tiene compatibilidad con Mac, Windows y Linux. (UCACUE, 2020). Es fácil de manejo y puede utilizar cualquier persona.

Figura 2: *Impresora Flash Forge*



Nota. Impresora Flash Forge. Fuente: FabLab UCACUE. Elaborado por: investigadora

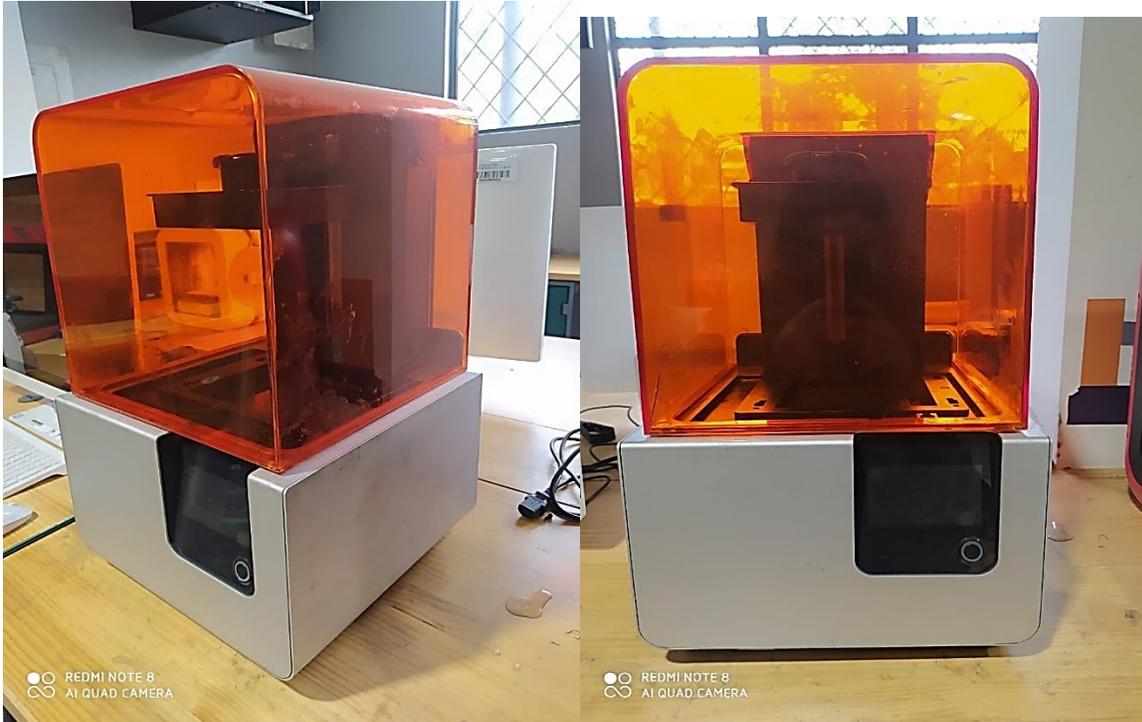
Características:

- Filamentos PLA y TPU
- Volumen de impresión de 14 cm
- Trabaja con la tecnología de material fundido (FDM)
- Cama fría y removible.
- Posee puerto USB
- Pantalla táctil de 3.5" a color
- Posee un extrusor (boquilla)
- Silenciosa, moderna y de fácil uso

2.3.2 FormLabs Form 2

La FormLabs Form 2 es una impresora 3D de alta calidad y precisión con tecnología de trabajo basada en la estereolitografía de láser (SLA). La tecnología SLA utiliza una luz UV para convertir la resina líquida en un objeto sólido, trazando la forma de cada capa.

Figura 3: *Impresora Form2*



Nota. Impresora FormLabs Form 2. Fuente: FabLab UCACUE. Elaborado por: investigadora

Características:

- Trabaja con resina común, vidriosa y biocompatible.
- Detalla la impresión en su totalidad
- Volumen de 14.5 cm x14.5 cm x 17.5 cm
- Posee puerto USB
- Conectividad wifi inalámbrica

- Pantalla táctil con un botón
- software
- motor laser UV de 250mW con dos galvanómetros de gran precisión

Posee tres elementos importantes que son los encargados directamente de la parte donde se encuentra la resina: el tanque, el limpiador y la plataforma de fabricación. (Filament2Print, Filament2Print.com, 2020)

2.3.3 Raise 3D Pro2 Plus

Otra de las impresoras existentes en el FabLab de la UCACUE es la Raise 3D Pro2 Plus. Esta impresora dispone de 2 extrusores, para que este pueda ser combinado o bicolor. “Esta impresora al tener tanta capacidad en sus extrusores puede trabajar con varios materiales como: PLA, ABS, HIPS, PC Policarbonato, TPU, PP Polipropileno, Nylon, TPE, Filamentos Flexibles, entre otros” (Impresoras3D.com, 2019).

Figura 4: Impresora Raise 3D Pro2 Plus



Nota. Impresor Raise 3D Pro2 Plus. Fuente: FabLab UCACUE. Elaborado por: investigadora.

Características:

- Filamentos PLA, TPU, ABS, FC, HIPS, PETG, PP, NYLON, etc.
- Volumen de impresión de hasta 70 cm
- Trabaja con la tecnología de material fundido (FDM)
- Cama caliente
- Posee puerto USB
- Pantalla táctil de 7" a color
- Posee dos extrusores (boquilla)
- Silenciosa, moderna y de fácil uso
- Temperatura de hasta 300° C

Estas impresoras están a disposición de toda la sociedad cuencana que quiera realzar su creatividad e ingenio, con el propósito de solventar diferentes necesidades que se presentan. Las impresoras 3D existentes en el FabLab de la UCACUE, son de última tecnología y como se menciona permiten crear un sinnúmero de objetos haciendo uso de variados materiales, todo esto gracias a las múltiples características que posee cada una de ellas.

2.4 Materiales para impresión 3D.

Existe una amplia gama de materiales para la fabricación aditiva, en la siguiente tabla se detallarán los más conocidos en el ámbito tecnológico y los que se encuentran fácilmente en el mercado, se clasificarán de acuerdo al tipo de material, filamentos, polvos, metales, etc.

Los filamentos termoplásticos son los materiales más utilizados para la impresión 3D, siendo los más comunes el ABS (Acilonitrilo butadieno estireno) y PLA (Termoplástico biodegradable). Existen también polvos metálicos, Resinas transparentes y pintables, metales, fibras, entre otros. Cada uno de estos se describe a continuación.

Tabla 3*Materiales para impresión 3D*

Filamento	Características
PLA (Termoplástico biodegradable)	“Es un tipo de polímero biodegradable, es el material más común en la impresión 3D, es seguro al no ser toxico, soporta temperaturas de 160 a 220°C se utiliza en la industria de juguetes y hogar“ (Contreras, 3DNatives.com, 2019).
ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno)	“Es un tipo de plástico muy popular, resistente a impactos, no es tóxico pero su impresión genera cierto olor, soporta temperaturas de 230 a 260°C, se utiliza en juguetes, revestimiento de carrocerías y electrodomésticos” (Contreras, 3DNatives.com, 2019).
PETG (Tereftalato de Polietileno)	Es un tipo de poliéster, alto grado de cristalinidad, flexible y resistente, es reciclable, se reviste de glicol para generar mayor durabilidad, temperatura de 260 °C, es utilizado para crear botellas plásticas.
TPU (Poliuretano Termoplástico)	“Es un tipo de polímero moldeable, flexible y resistente, Material flexible y resistente, es moldeable, no soporta altas temperaturas, temperatura de 210 °C, se utiliza para suelas de zapatos y aislantes” (Marchante, 3DNatives, 2020).
Nylon	“Es un tipo de polímero y polvo, excelente ductilidad, resistente a impactos, absorbe humedad, trabaja a temperaturas de 220 a 230 °C, es utilizado en la industria textil” (Marchante, 3DNatives, 2020).
HIPS (Poliestireno de alto impacto)	“Es un tipo de polímero termoplástico, no toxico, es muy resistente, similar al ABS, temperaturas entre 230 a245 °C, tipo FDM, se utiliza para soportes y embalaje” (Marchante, 3DNatives, 2020).
PVA (Alcohol polivinilo)	“Es un tipo polímero soluble en agua, no toxico, no genera olor, es biodegradable, temperatura de 180 a 200 °C, es utilizado como soportes” (LaFactoría3D, LaFactoría3D.com, 2020).

PC (Policarbonato)	Es un tipo de termoplástico ligero, no toxico, es resistente y moldeable, absorbe humedad, temperaturas de 260 a 310 °C, se utiliza en en aparatos electrónicos y laminados.
-------------------------------	--

FC (Fibra de carbono)	“Es un filamento revestido con PLA, temperatura de impresión de 260 a 360 °C, es utilizado para revestimientos y protectores en varios artículos automovilísticos y de uso común como tipo protectores, al tener alta resistencia a la rotura el hombre lo utiliza con frecuencia; por su a cogida en el mercado su costo no es alto” (Tresdpro, 2019).
----------------------------------	---

Polvos	Características
---------------	------------------------

PA (Poliamida)	“Es polvo resistente a químicos y temperaturas, flexible, elástico y alto porcentaje de resistencia, temperaturas de 185 a 235 °C, se utiliza en textiles y proceso medico como prótesis, además para uso mecánico” (Marchante, 3DNatives, 2020).
---------------------------	---

Alúmina (Poliamida y aluminio)	Es un tipo granuloso, resistente a la compresión, temperaturas de 172 °C, es utilizado en cerámicas, se utiliza el tipo de impresión estereolitografía.
---	---

Resinas	Características
----------------	------------------------

Biocompatible	Es un tipo viscoso, resistente, no es flexible al ser vidriosa, es utilizada para uso médico, tanto como prótesis dentales y prótesis compatibles con la piel, temperatura de 60 a 260 °C.
----------------------	--

Pintable	Es un tipo viscoso, llamativo por su textura y superficies lisas, 60 a 220 °C, es más utilizados para acabados de arquitectura y moldes” (Tresdpro, 2019).
-----------------	--

Transparente	Es un tipo viscoso, es la resina más resistente utilizada por su aspecto de translucido, en juguetes y decoración de hogar. Mismas temperaturas que las otras resinas.
---------------------	--

Metal	Características
--------------	------------------------

Acero inoxidable (Polvo metálico)	“Es un tipo metal, es mucho más resistente que el acero común, posee un bajo costo de adquirirlo, tecnología SLS, temperaturas 360 a 410
--	--

	°C, utilizado en construcciones para acabados pequeños” (Contreras, 3DNatives, 2017).
Bronce (Filamento y polvo)	“Es un tipo filamento y polvo mezclado con PLA, temperaturas de 210 a 440 °C, se utiliza en joyería por su aspecto decorativo, además en textiles como indumentarias” (Sculpteo, 2019).
Oro (Polvo metálico)	Es un tipo de metal y polvo, una vez impreso pierde su durabilidad natural, temperatura de impresión de 300°C, es utilizado en joyería, dentales y revestimientos decorativos.
Níquel (Polvo metálico)	Es un tipo de metal y polvo, es utilizado para impresiones de turbinas de uso industrial, ya que son resistentes, no corrosivos y de alta resistencia a las temperaturas de 300 °C es un material de uso poco común ya que su costo es alto.
Aluminio (Filamento y polvo)	“Es un material sólido y ligero, no corrosivo, no tiene mucha resistencia como los demás metales, pero presenta sensibilidad a temperaturas altas, además, es utilizado en mecánica automotriz.” (Sánchez, 3DNatives, 2020).
Titanio (Polvo metálico)	“Es de tipo polvo metálico, tiene gran resistencia a la compresión, es un material que contiene impurezas, pero estas no son visibles al momento de imprimir, temperaturas muy elevadas de 1660 a 3260 °F, es de uso médico para placas” (Sánchez, 3DNatives, 2020).
Grafito (recubierto con PLA)	“Es de tipo filamento conductor de electricidad y resistente, se utiliza mucho en el área tecnológico como tabletas, celulares, etc. Posee mucha flexibilidad en su estructura y resistencia, temperatura de 160 a 180 °C” (Tresdpro, 2019).
Nitinol (Aleación de níquel y titanio)	“Es un material flexible, temperaturas iguales al níquel, es de uso médico, precio elevado, tiene aleaciones de titanio y níquel” (Tresdpro, 2019).

Elaborado por: Investigadora

Con la información antes mencionada se llega a seleccionar los materiales que el Fab Lab utiliza, siendo estos el ABS, TPU, PLA, Fibra de carbono y resinas tanto estándar como

biocompatible. Estos serán utilizados en las tres impresoras que dispone el laboratorio con la finalidad de analizar la resistencia y flexibilidad que posee cada uno.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Enfoque de la investigación

Existen dos tipos de enfoques como son el cuantitativo y el cualitativo, las diferencias de la una respecto de la otra es que “la investigación cuantitativa es aquella en la que se recogen y analizan datos numéricos sobre variables” (Fernández & Díaz, 2002). Quiere decir que trabaja con cifras que permiten profundizar la investigación, obteniendo resultados que satisfagan las interrogantes que se plantean; en cuanto a la investigación cualitativa esta se basa en evidencias, descripciones y observaciones sin necesidad de contar con cifras numéricas.

Por lo tanto, este estudio tiene un enfoque cualitativo y cuantitativo ya que interpreta información obtenida de datos bibliográficos, lo que a su vez permite analizar el funcionamiento de los materiales a partir de los datos numéricos de las pruebas de flexión y compresión.

3.2 Tipo de investigación

Este estudio se complementó con una investigación de tipo descriptiva y exploratoria, puesto que se analizaron los materiales existentes en el campo de estudio y se evaluaron sus usos y funciones más recomendadas mediante pruebas. Una vez se obtuvieron los resultados, estos se analizaron y se compararon entre ellos, para finalmente establecerlos en una guía que servirá para su uso en futuros proyectos realizados en FabLab.

Se empleó la técnica de tipo correlacional, misma que responde a interrogantes planteadas a raíz del problema que se establece, lo que significa que “al obtener la respuesta del comportamiento de las variables una respecto a la otra es un estudio correlacional” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, pág. 94).

Para la elaboración de los resultados estadísticos se utilizó el programa SPSS, que es un software que permite crear tablas y gráficas con datos complejos. Esta herramienta estadística realiza un análisis completo de los datos obtenidos, entregando los análisis correspondientes.

3.3 Tipo de diseño

Basados en el estudio de Graterol (2011), el diseño es experimental ya que consta de dos variables como son las dimensiones de cada probeta y el tipo de material, estos son comparados con el fin de analizar el comportamiento de la dependiente (material) con la independiente (dimensiones), con esto se llega a un resultado o bien estudiar una situación para diagnosticar necesidades y problemas. (pág. 1)

El siguiente grafico muestra un diagrama de flujo el cual señala los pasos seguidos para la creación y caracterización de la impresión de las probetas.

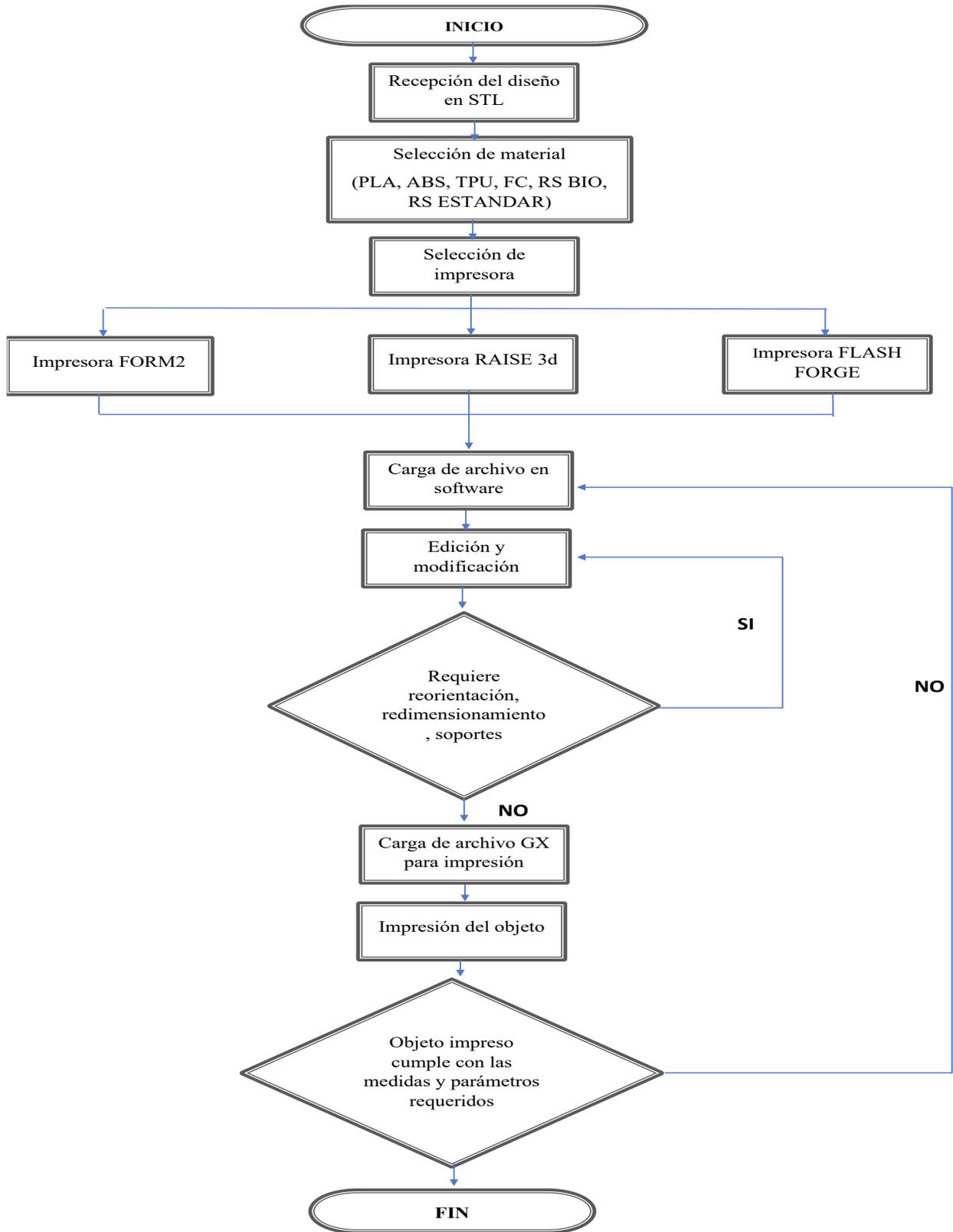


Gráfico N°1: Diagrama de flujo del proceso de impresión y diseño. Elaborado por: Investigador

3.4 Población y muestra

El estudio realizado cuenta con población y muestra, ya que esta investigación se basa en un método experimental el cual establece ciertos criterios. La población que se presenta en este trabajo es de 21 materiales utilizados en la impresión 3D, de esta población se establece una muestra de 6 filamentos que el Fab Lab de la UCACUE dispone en su laboratorio, como PLA, TPU, ABS, Fibra de Carbono, Resina y Resina Biocompatible. Los elementos analizados serán los materiales y su correspondiente funcionamiento en los equipos que posee el Fab Lab de la UCACUE.

El tipo de muestreo aplicado es de juicio, ya que los materiales que se utilizan son los que se dispone en el laboratorio.

3.5 Método de recolección de información

La información bibliográfica fue recopilada de los diferentes artículos, libros y tesis que se encontró en la web y cuyo contenido fue valioso para el desarrollo del estudio. Así mismo, se tomaron como fuentes documentales los datos informativos proporcionados por los diferentes portales web de la Universidad católica de Cuenca, que tuvieron relación con el tema de estudio.

En este trabajo de titulación se utilizó en su primera parte la observación como método principal, mediante la cual se evidenció la utilización de los materiales para impresión 3D y sus características correspondientes. Todos estos procesos observados fueron importantes para la elaboración de los resultados finales.

Al ser una investigación de campo, la recolección de los datos se la realizó mediante pruebas, estas fueron ejecutadas en el laboratorio conjuntamente con el director del trabajo de titulación luego de que las probetas impresas en los materiales que se mencionaron anteriormente en este documento hayan sido realizadas. A continuación, dichas probetas se las traslado al laboratorio de suelos de la Universidad Católica de Cuenca ubicado en el CIITT de Ricaurte. Luego de realizar las pruebas de compresión y flexión, se podrá realizar los análisis y comparaciones pertinentes.

Por otra parte, para recolectar información relevante acerca de la teoría propuesta por diferentes expertos en el tema se empleará la técnica de investigación bibliográfica. De esta manera se recopilarán datos importantes que fundamentaron el presente estudio y los resultados obtenidos a través de las pruebas ejecutadas con los materiales en la impresión 3D.

3.6 Análisis y presentación de información recolectada

En base a los datos recolectados y a las pruebas obtenidas se identificaron cada uno de los materiales sus características principales, la resistencia que poseen, sus temperaturas y demás paradigmas, brindando resultados y generando soluciones a los problemas planteados.

Para el análisis y presentación de información se emplearán apuntes acerca de la observación realizada, tablas, organizadores gráficos, cuadros estadísticos y cuadros comparativos que muestren los resultados entre las pruebas de resistencia a la compresión y flexión de cada material, todo esto será evidenciado en los capítulos posteriores.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS EXPERIMENTALES

4.1 Descripción del proceso

Se realizó la técnica de investigación de campo, con el propósito de conocer las características y usos principales de los materiales de impresión 3D existentes en el FAB LAB de la UCACUE. Dichas pruebas se desarrollaron desde el 25 de noviembre de 2020 hasta el 15 de junio de 2021.

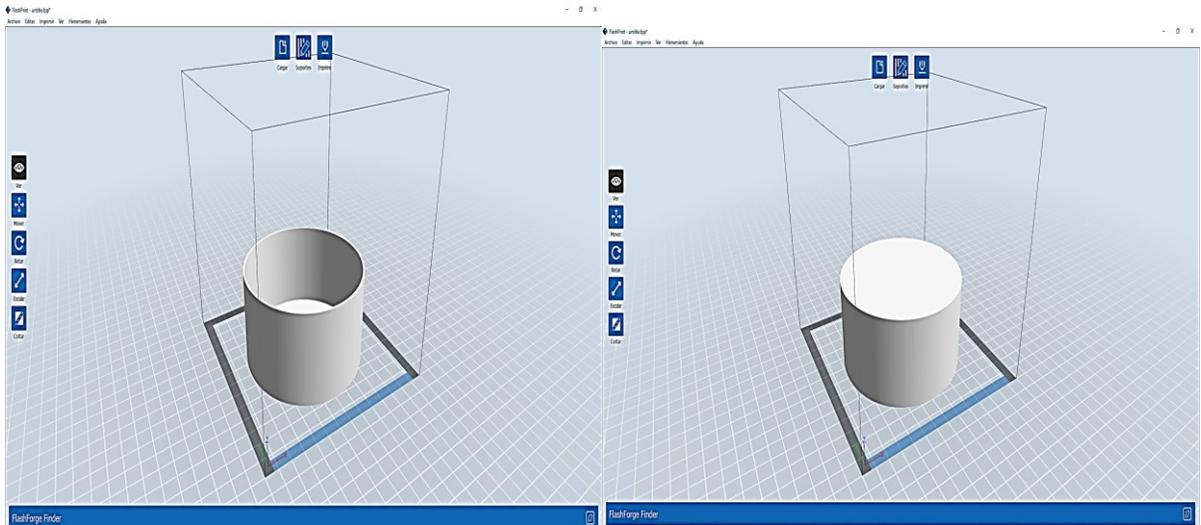
El primer paso del proceso fue diseñar las probetas en base a normativas como la ISO 604:2002 para compresión de plásticos rígidos (cilindros) y la ASTM D790 para la flexión de plásticos (planchas), también el número de probetas se realizó en base a los tipos de material que el laboratorio dispone y de las normativas antes mencionadas, así mismo el software de diseño de objetos utilizado fue Fusión 360 de Autodesk, este programa se detallará más adelante.

Dimensiones de probetas:

- 18 cilindros llenos de 5cm de alto y 10cm de diámetro, con un mallado cuadrangular de 3mm
- 18 cilindros huecos de 5cm de alto y 10cm de diámetro, con un mallado cuadrangular de 3mm
- 18 cilindros llenos de 12cm de alto y 10cm de diámetro, con un mallado cuadrangular de 3mm
- 18 cilindros huecos de 12cm de alto y 10cm de diámetro, con un mallado cuadrangular de 3mm
- 9 cilindros llenos de 20cm de alto y 10cm de diámetro, con un mallado cuadrangular de 3mm
- 12 cilindros huecos de 20cm de alto y 10cm de diámetro, con un mallado cuadrangular de 3mm

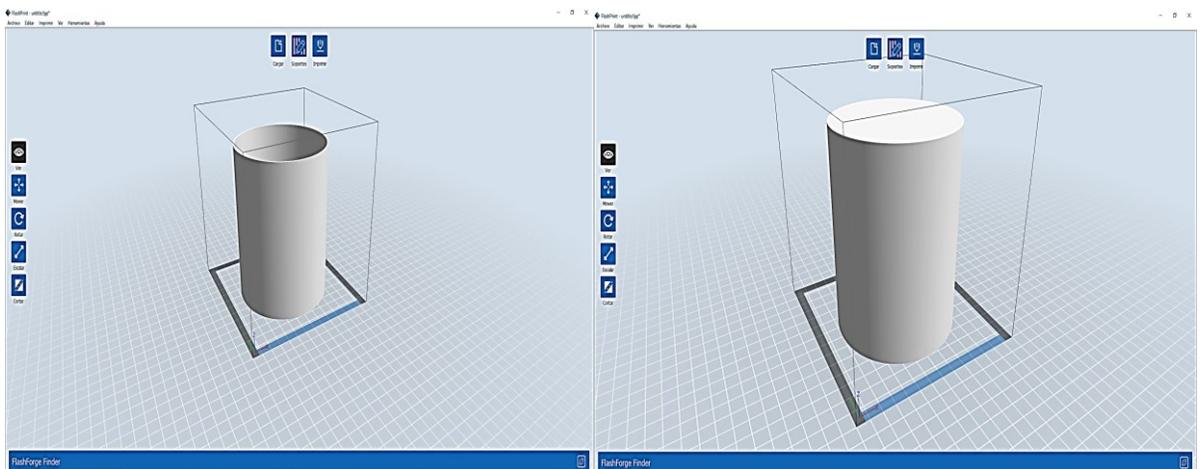
- 9 planchas de 20cm de largo y 5cm de ancho. Espesor de 2cm, con un mallado cuadrangular de 3mm. (Pruebas de flexión)

Figura 5: *Diseño de probetas llenas y vacías de 5 cm*



Nota. Diseño de probetas de 5 cm de altura y 10 cm de diámetro llenas y vacías. Elaborado por: investigadora

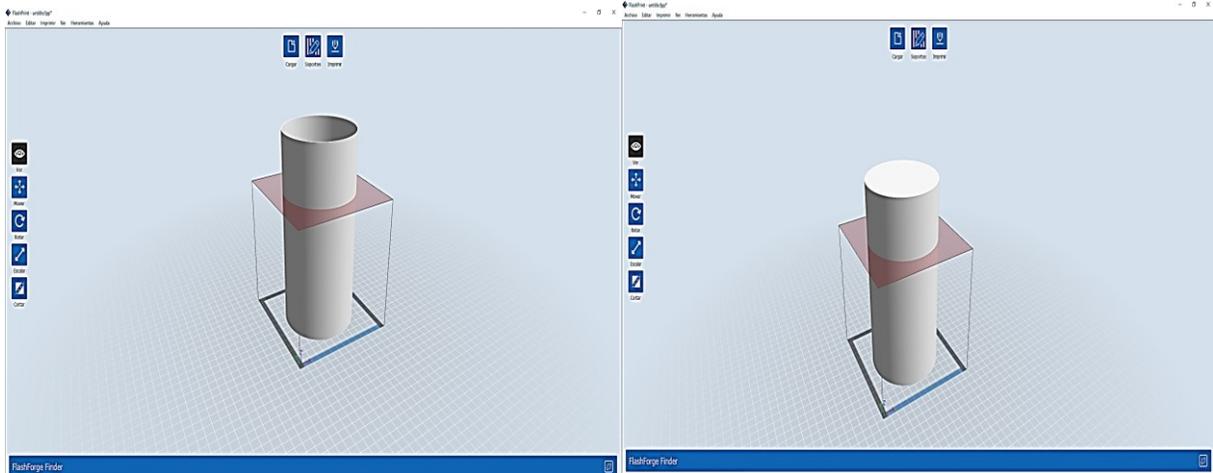
Figura 6: *Diseño de probetas llenas y vacías de 12 cm*



Nota. Diseño de probetas de 12 cm de altura y 10 cm de diámetro llenas y vacías. Elaborado por: investigadora

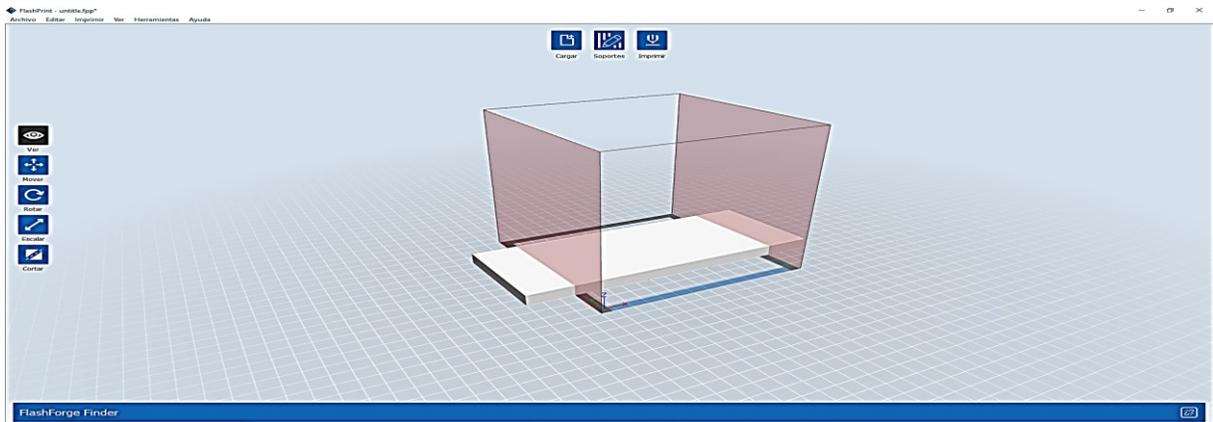
Figura 6. Diseño de probetas de 12 cm de altura y 10 cm de diámetro llenas y vacías. Elaborado por: investigadora

Figura 7: *Diseño de probetas llenas y vacías de 20 cm*



Nota. Diseño de probetas de 20 cm de altura y 10 cm de diámetro llenas y vacías. Elaborado por: investigadora

Figura 8: *Diseño de probetas planchas*



Nota. Diseño de probetas para planchas de 20 x 8 x 2 cm de espesor. Elaborado por: investigadora

El segundo paso fue elegir la impresora correspondiente para cada tipo de material, con la información detallada en el capítulo II llegando a la conclusión de que el PLA y TPU se podrían imprimir en las impresoras Flash Forge y/o la Raise 3D Plus pro2. En cuanto al ABS y FC, se determinó que sus probetas se podrían imprimir en la Raise 3D Plus pro2, además, las resinas estándar y biocompatible podrían ser impresas en la impresora Form2. En base a esto se generó

una tabla con las especificaciones necesarias para cada material e impresora, esta tabla se encuentra posteriormente en el aparatado de parámetros de impresión.

El tercer paso es impresión y obtención de las probetas, así mismo los tiempos que se demora cada una en imprimir. Este proceso fue el más largo dentro de este proyecto de titulación y del cual se obtuvieron los resultados observables en la tabla 4.

Tabla 4

Cantidad y tiempos de probetas

PIEZA	ABS	PLA	TPU	RS	RSB	FC	Cant. Total	T(hr/pieza)	t.Total (hr)
C. lleno de 5cm	3 u	3 u	3 u	3 u	3 u	3 u	18	8	144
C. vacío de 5cm	3 u	3 u	3 u	3 u	3 u	3 u	18	7	126
C. lleno de 12cm	3 u	3 u	3 u	3 u	3 u	3 u	18	10	180
C. vacío de 12cm	3 u	3 u	3 u	3 u	3 u	3 u	18	9	162
C. lleno de 20cm	3 u	3 u	-	-	-	3 u	9	14	126
C. vacío de 20cm	3 u	3 u	3 u	-	-	3 u	12	13	156

Planchas de 20 x 8 x2cm	3 u	3 u	-	-	-	3 u	9	6	54
Total							102		948

Elaborado por: investigadora

Finalmente, las 102 probetas fueron trasladadas al laboratorio de suelos de Ricaurte de la UCACUE para continuar con las pruebas de compresión y flexión.

Figura 9: *CIITT de Ricaurte*



Nota. CIITT UCACUE. Fuente: www.ucacue.edu.ec

4.2 Selección de software

Los diseños se realizaron en el programa “Fusion 360 de la empresa Autodesk”, este software permite diseñar en formatos de dos y tres dimensiones, estos diseños se crean a partir de sketch o diseños previamente elaborados cuyas medidas requieren ser personalizadas. Es un software intuitivo que facilita el diseño de cualquier tipo de objetos. En el sitio web de “BitFab” se encuentra la siguiente descripción:

Este software es uno de los más completos al momento de modelar o diseñar para cualquier tipo de formato, su facilidad de uso hace que sea uno de los apetecidos, trabaja de manera fácil y también aporta un conocimiento importante si se trata de trabajos con una alta gama de dificultad. (Bitfab, 2020)

En un artículo digital del sitio web denominado (All3DP) se encuentra la siguiente descripción del programa “Autodesk Fusion 360 es una herramienta de software 3D CAD / CAM con capacidades profesionales, pero es mucho más amigable con el usuario que otros softwares profesionales de modelado 3D” (Locker, 2020).

Esta herramienta ofrece varias formas de exportar, como son los archivos STL, el formato de impresión 3D más común y el requerido en esta ocasión. Así mismo, el sitio web “ALL3DP” indica que “el software es uno de los más completos al momento de diseñar y estructurar, las herramientas que posee dicho programa son muy útiles, así mismo este programa permite exportar los archivos de manera rápida y segura para ser instalados en las impresoras”. (Locker, 2020)

4.3 Selección de impresora

Se detallan las características más importantes de las tres impresoras que posee Fablab y que se utilizaron para este trabajo, estas se encuentran a disposición de los estudiantes, docentes y comunidad en general, con el objetivo de “incentivar a la comunidad universitaria a desarrollarse y crecer, siendo la base el uso tecnológico, pero sobre todo la tecnología 3D permitiendo así la creación de diferentes objetos y

elementos que ayuden y faciliten el desarrollo industrial y de la sociedad” (UCACUE, 2020).

4.3.1 Flash forge

- Imprime sobre elementos rígidos planos y circulares. Imprime a un color y de alta velocidad.
- Tecnología de impresión: Deposición de material fundido.
- Volumen de impresión: 14cm x 14cm x 14cm.
- Tipo de material: PLA - TPU
- Tipo de archivo: OBJ-STL.

4.3.2 Raise 3D pro2 plus

- Tiene capacidad de doble boquilla (extrusión doble)
- Capas de altura de hasta 35 cm
- Cámara de aire para un acabado total
- Pantalla táctil
- Recupera la impresión una vez esta haya tenido alguna falla
- Puede imprimir en varios tipos de material
- Puede ser impreso desde el ordenador

4.3.3 Form2

- Impresión y acabado al detalle
- Tecnología mediante luz UV
- Área de impresión: 14,5cm x 14,5cm x 17,5cm
- Materiales disponibles: Estándar, alta temperatura, joyería, flexible, dental.
- Tipo de archivo: OBJ-STL.
- Uso médico y gran precisión al detalle

4.4 Tipo de material empleado

Como se mencionó en capítulos anteriores los materiales que se utilizan en este estudio son seis PLA, TPU, ABS, FC, RESINA ESTÁNDAR Y RESINA BIOCOMTIBLE. A continuación, se detallan características de cada material y se adjunta una fotografía.

4.4.1 TPU (Poliuretano termoplástico)

Este material es un tipo de polímero, muestra una gran variedad de colores, es sumamente flexible, es resistente a grandes impactos, no se recomienda en ambientes calurosos ya que este tiende a deformarse, es muy utilizado en la industria de calzado.

Figura 10: *TPU*



Nota. TPU. Fuente: Laboratorio FAB LAB de la UCACUE. Elaborado por: investigadora

4.4.2 PLA (Ácido poliláctico)

Por otra parte, el PLA es fácil de conseguir en el mercado, barato a comparación de otros filamentos, es biodegradable, muestra resistencia y flexibilidad, su temperatura de fusión es de 220 °C, fácil de manejar y no es toxico. El sitio TRESDPRO, explica que tiene capacidad de estar ante temperaturas altas, muestra una dureza más conservadora, ante su gran rival como es el ABS, este material muestra muchas más ventajas que los otros” (TresDPro, 2019).

Figura 11: *PLA*



Nota. PLA. Fuente: Laboratorio FAB LAB de la UCACUE. Elaborado por: investigadora.

4.4.3 ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno)

Otro de los materiales es el ABS, es resistente, las presentaciones vienen en varios colores y de 1,75mm, accesible en el mercado, barato a comparación de otros filamentos, resistente y flexible. En el sitio web “Impresoras 3D, resalta que este material es un termoplástico altamente utilizado en la industria” (Impresoras3D, 2018).

Figura 12: *ABS*



Nota. ABS. Fuente: Laboratorio FAB LAB de la UCACUE. Elaborado por: investigadora

4.4.4 FC (Fibra de carbono)

Es un material costoso pero accesible, revestido con Pla, ya que la fibra pura es mucho más cara y tiene una capacidad de dureza mucho más alta, también se incluye la baja expansión al momento de ser sometida a altas temperaturas.

Figura 13: FC (Fibra de carbono)



Nota. Fibra de carbono. Fuente: FAB LAB de la UCACUE. Elaborado por: investigadora

4.4.5 RESINAS

Es un tipo de líquido viscoso que durante el proceso de impresión es sometido a rayos uv para que se forme y solidifique el diseño requerido. En el sitio web “Filament2Print se menciona que la resina es utilizada en el área médica y odontológica, además viene en presentaciones transparentes o de colores neutros” (Filament2Print, Filament2Print, 2019).

Figura 14: Resinas



Nota. Resina estándar y biocompatible. Fuente: Laboratorio FAB LAB de la UCACUE. Elaborado por: investigadora

4.5 Parámetros de impresión

Las probetas se realizaron bajo los parámetros de las normativas de compresión de plásticos rígidos ISO 604:2002 y flexión de plásticos ASTM D790.

En la norma ISO 604:2002 se detallan las características y el proceso por el cual debe ser sometido las probetas a compresión, en cuanto a la ASTM D790 indica el proceso, dimensiones y demás características para ser sometidos a flexión. Estas normativas se citarán más adelante en pruebas de compresión y flexión.

Tabla 5*Parámetros de impresión*

PARÁMETROS	MATERIAL	FLASH FORGE	RAISE 3D PLUS PRO2	FORM 2
TEMPERATURA DE CAMA	PLA	NA	100	-
	ABS	-	100	-
	TPU	NA	100	-
	F. CARBONO	-	45 -60	-
	RESINAS	-	-	NA
TEMPERATURA DE EXTRUSOR	PLA	210	210	-
	ABS	-	240	-
	TPU	230	230	-
	F. CARBONO	-	250	-
	RESINAS	-	-	60
PORCENTAJE DE RELLENO	PLA	100%	100%	-
	ABS	-	100%	-
	TPU	100%	100	-
	F. CARBONO	-	30%	-
	RESINAS	-	-	30%
VELOCIDAD DEL EXTRUSOR	PLA	80 mm/s	80 mm/s	-
	ABS	-	80 mm/s	-
	TPU	80 mm/s	80 mm/s	-
	F. CARBONO	-	65 mm/s	-
	RESINAS	-	-	NA
VELOCIDAD DE IMPRESIÓN	PLA	60 mm/s	70 mm/s	-
	ABS	-	45 mm/s	-
	TPU	30 mm/s	30 mm/s	-
	F. CARBONO	-	35 mm/s	-
	RESINAS	-	-	50 mm/s

(-) la impresora no puede imprimir en ese material.

(NA) no aplica ese parámetro para la impresora.

Elaborado por: investigadora

Como se observa en la tabla 5, los parámetros configurados para estos procesos de impresión fueron la temperatura de cama, temperatura de extrusor, porcentaje de relleno, velocidad del extrusor y velocidad de impresión. Cada uno de estos puntos se configuraron en la impresora para realizar el objeto.

4.6 Pruebas de compresión y flexión

Para realizar estas pruebas de compresión y flexión se investigó primero ciertas normativas para poder ejecutarlas, como se mencionó anteriormente, este trabajo de investigación utilizó dos normas como la ISO 604:2002 para termoplásticos rígidos y la ASTM D790 para flexión.

4.6.1 Pruebas de compresión

Las propiedades de compresión de los plásticos en condiciones definidas se considera una probeta normalizada, pero su longitud puede ajustarse para prevenir el pandeo, así mismo generar un mallado interno cuadrangular o romboide; las longitudes de las probetas deben pasar los 7.5mm para poder ser puestos a prueba. (INEN, 2014).

Figura 15: *Mallado cuadrangular*



Nota. Mallado cuadrangular. Fuente: FAB LAB de la UCACUE. Elaborado por: investigadora

Este mallado interno tiene una distribución en forma de cuadrados de 3x3mm con un espaciado entre ellos de 1 mm, los cuadrados son huecos, el material sólido está

en el espaciamiento. Los cuadrados como forma geométrica ofrecen mayor estabilidad por tener cuatro puntos de apoyo.

4.6.2 Pruebas de flexión

En cuanto a los lineamientos para flexión se establece que este tipo de prueba pondrá a comparación las diferentes probetas, midiendo así la capacidad de flexión que tiene cada una, según la normativa D790 explica que las dimensiones mínimas de las probetas serán de 20cm x 10 cm y un espesor de 3,2mm. (Metalinspec, 2020)

4.6.3 Prensas utilizadas para las pruebas

La máquina utilizada para las pruebas de flexión es la Versa Loader ASTM D1883; AASHTOT-193, carga máxima de 45Kn, velocidades variadas, es muy fácil de usar y su característica principal es que es utilizada en ensayos rápidos.

Figura 16: *Versa Loader*



Nota. Versa Loader ASTM D1883. Fuente: Grupo Saint S.R.L.
<https://www.gruposait.com.pe/producto/versa-loader/>

Para realizar las pruebas de compresión, se empleó la máquina serie ACCU-TEK 250 con cuadrante indicador. ASTM C-39; AASHTO T-22. Posee un diseño compacto en una sola unidad. Cumple las especificaciones ASTM y AASHTO. Incluye platinas para ensayos con cilindros estándar de 152 mm x 305 mm. Además, posee un cuadrante indicador de 305 mm de diámetro que facilita su lectura.

Figura 17: Prensa de compresión de hormigón



Nota. Prensa de compresión de hormigón. Fuente: Laboratorio de principios activos de la UCACUE.

Elaborado por: investigadora.

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de suelos de la UCACUE ubicado en Ricaurte. Para las pruebas de flexión se utilizaron las planchas como se especifica en la normativa D790, en cuanto a las pruebas de compresión se utilizaron los cilindros.

Al realizar estas pruebas se conocerá el material con mayor resistencia a la rotura y cuál de todos ha sido el más flexible, brindando así la capacidad de discernir y poder generar una línea base la cual ayude a generar mayores investigaciones.

CAPÍTULO V

RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 Procedimiento

El análisis se realizó con el programa SPSS 25 (Field, 2018) y Excel, en los cuales se generaron resultados descriptivos e inferenciales. Los descriptivos incluyen a la frecuencia (N), la media, Límite inferior, Límite superior de la media, así como los valores mínimos y máximos reportados. Además, para ilustrar los resultados se presentan diagramas de dispersión que permiten comparar visualmente los hallazgos reportados por cada material empleado en la impresión, además comparados por sus dimensiones con y sin cavidad.

En lo que respecta a los estadísticos inferenciales que sirvieron para comprobar las hipótesis planteadas, se verificó la homocedasticidad (igualdad de las varianzas) y la normalidad (en la distribución) de los datos. “La Homocedasticidad se comprobó con el estadístico de Levene con el cual se estableció que las varianzas sean similares (Su valor se expresa como una nota al pie de cada tabla). La normalidad se presenta con la prueba no paramétrica de Shapiro Wilk lo que sustenta que para que exista normalidad y estos puedan ser comparados debe cumplir que ($p \geq 0,05$)” (Mishra et al., 2019).

En la Tabla 6 se puede observar los resultados en las pruebas de normalidad aplicados a los conjuntos de tres probetas por cada tamaño según la presencia o ausencia de cavidades, así como según el tipo de material empleado. De acuerdo a la prueba de Shapiro Wilk, 31 muestras presentan distribución normal ($p \geq 0,05$) y únicamente tres no presentan este comportamiento. Esta excepción ocurre particularmente en las probetas llenas de PLA para 20cm y en las probetas de las resinas BIO para 5cm, así como, en el caso de la medida de TPU vacía de 20cm. Según el tipo de material y la presencia o ausencia de cavidad todas las probetas tienen distribución normal con excepción de la probeta vacía del material TPU. Como se observa, ningún conjunto de materiales carece de distribución normal, por lo que es factible aplicar estadística paramétrica.

Tabla 6

Prueba de Shapiro Wilk para las tres probetas y el tipo de material empleado según presencia de cavidad y tamaño del objeto.

Material	Cavidad	Tamaño en cm	Shapiro Wilk		
			Estadístico	Gl	P
ABS	Llenas	5,00	,877	3	,316
		12,00	,863	3	,276
		20,00	,998	3	,916
		ABS	,913	9	,340
Fibra C.	Llenas	5,00	,802	3	,119
		12,00	,960	3	,616
		20,00	,915	3	,434
		Fibra C.	,931	9	,494
Pla	Llenas	5,00	,938	3	,519
		12,00	,866	3	,285
		20,00	,760	3	,022*
		Pla	,879	9	,153
Resina BIO	Llenas	5,00	,757	3	,016*
		12,00	,955	3	,593
		Resina BIO	,866	6	,212
Resina Común	Llenas	5,00	,985	3	,763
		12,00	,985	3	,763
		Resina Común	,840	6	,131
TPU	Llenas	5,00	,934	3	,503
		12,00	,973	3	,686
		TPU	,880	6	,268
ABS	Vacías	5,00	1,000	3	1,000
		12,00	1,000	3	,984
		20,00	,980	3	,726
		ABS	,921	9	,404
Fibra C.	Vacías	5,00	,996	3	,885
		12,00	,994	3	,854
		20,00	,969	3	,662
		Fibra C.	,943	9	,616

Material	Cavidad	Tamaño en cm	Shapiro Wilk		
			Estadístico	GI	P
Pla	Vacías	5,00	,978	3	,718
		12,00	,903	3	,396
		20,00	,850	3	,241
		Pla	,956	9	,759
Resina BIO	Vacías	5,00	,991	3	,822
		12,00	,853	3	,248
		Resina BIO	,921	6	,510
Resina Común	Vacías	5,00	,775	3	,057
		12,00	,911	3	,421
		Resina Común	,930	6	,581
TPU	Vacías	5,00	,965	3	,642
		12,00	,830	3	,189
		20,00	,750	3	,000*
		TPU	,765	9	,008*
ABS	Planchas	20 x 8	,971	3	,675
Fibra C.	Planchas	20 x 8	,908	3	,410
Pla	Planchas	20 x 8	,964	3	,637
Total	Planchas	20 x 8	,769	9	,301

(*) probetas que mostraron un valor menor a 0.05 y no tienen homocedasticidad ni normalidad

Elaborado por: Investigador

Después de verificar los supuestos, se procedió a emplear el estadístico de prueba *ANOVA de un factor*, siendo esta herramienta utilizada para la comparación de medias en dos o más grupos existentes, esta es empleada cuando se tiene una variable independiente (dimensiones) y se compara con una dependiente (material) (Boqué & Maroto, 2014). Así, se interpreta si existen diferencias significativas de acuerdo al tipo de material. Cuando existe diferencias significativas (con un error $<0,05$), se identifica dónde están estas diferencias mediante el estadístico post-hoc de Tukey y el de Ryan-Einot-Gabriel-Welsch F, mismos que permiten identificar subgrupos con un error máximo del 5%. Estos subgrupos son descritos en los resultados.

La unidad de medida que se utilizó en este trabajo fueron kilonewtons (kN) para la carga que se empleó en cada probeta en las pruebas de compresión, conociéndose que 1 newton N es la fuerza que se ejerce sobre un cuerpo para adquirir una aceleración de $1m/s^2$. Así mismo la deformación que sufrió cada probeta fue en pulgadas (plg).

5.2 Resultados

5.2.1 Probetas llenas de 5cm

Con el propósito de comprobar si existen diferencias entre los seis tipos de materiales en probetas de 5cm llenas, se procedió a comparar las cargas que resistió en las pruebas de compresión cada probeta de los seis materiales diferentes. Los resultados publicados en la Tabla 7 muestran que existen diferencias significativas de compresión entre los materiales estudiados, según la prueba ANOVA $F(5/12, gl) = 402,33$, $p=0,000$. existe un nivel de compresión diferente y único para cada material en las medidas de 5 cm llenas. De este modo, se observa que el material con mayor resistencia a la compresión es la Resina común y el que tiene menor resistencia es el TPU.

Tabla 7

Datos descriptivos y prueba ANOVA para comparar los seis materiales en impresiones de 5cm llenas.

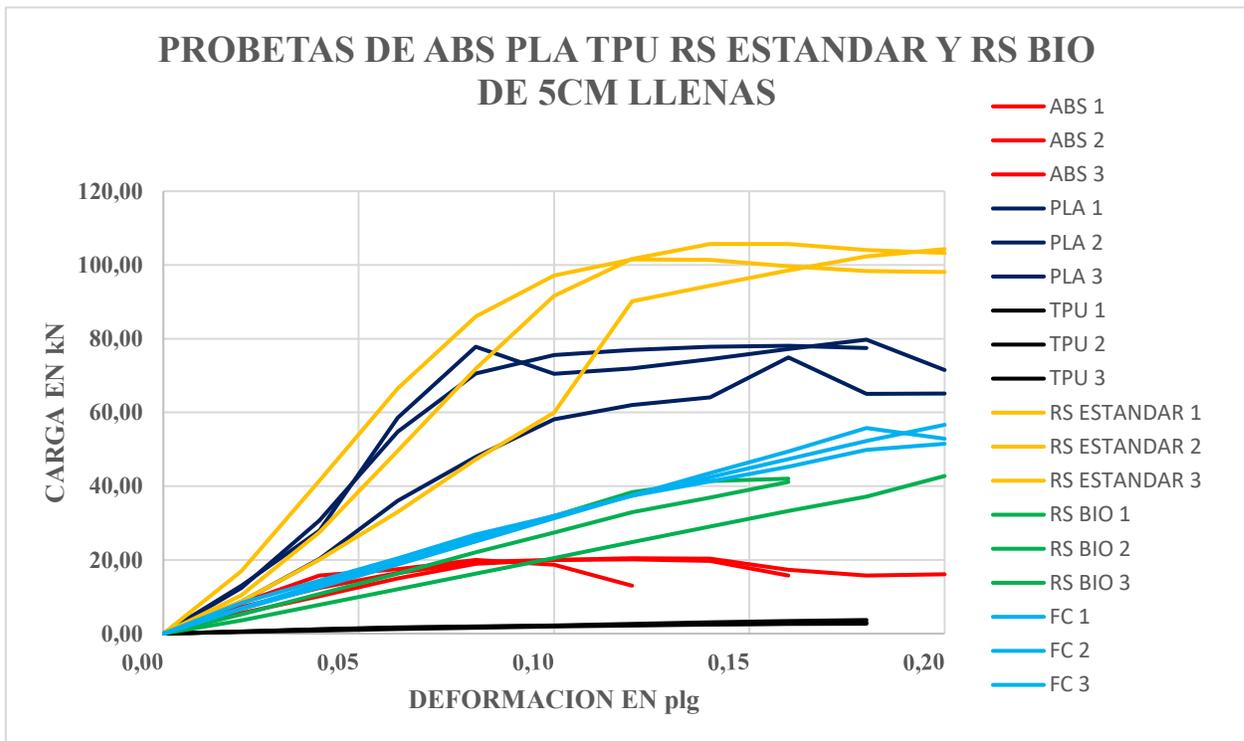
Material	N probetas	Media	95% del intervalo de confianza para la media		Carga Mínima (kN)	Carga Máxima (kN)	Deformación (plg)
			Límite inferior	Límite superior			
ABS	3	20.23	18,07	22,39	19,59	21,22	0,16
Fibra C.	3	55.50	44,70	66,30	50,49	58,28	0,20
PLA	3	79.11	70,37	87,86	76,21	83,03	0,19
Resina BIO	3	42.11	40,51	43,70	41,73	42,85	0,17
Resina Común	3	100.56	87,88	113,23	3,26	105,25	0,20
TPU	3	3.48	2,82	4,15	3,26	3,78	0,18

Total	18	50,16	33,21	67,12	3,26	105,25	
--------------	----	-------	-------	-------	------	--------	--

Nota: La prueba de Levene (5/12 gl) =3,933; p=0,024.

Elaborado por: Investigadora

Figura 18: Diagrama de dispersión 5 cm llenas



Nota. Diagrama de dispersión con líneas rectas para las pruebas de resistencia realizadas en seis tipos de materiales con 5 cm de altura sin cavidad. Elaborado por: Investigadora

Los resultados se ilustran en la Figura 18 en la que se advierten diagramas de dispersión, en el cual se tiene posiciones para una escala muy diferente que varía entre 20 y 120 kN de carga. La Resina Común soporta una carga máxima de 105,25 kN, le sigue el PLA con 83,03 kN, a continuación, se encuentra la Fibra de carbono con un 58,28 kN. En menor medida se encuentran tres materiales, como son la Resina BIO que tiene un valor de 42,85 kN de soporte de carga máxima, seguida del material ABS con un promedio por arriba de lo 20 kN, mientras que, al último se encuentra el material

TPU con un promedio que ni siquiera alcanza los 4 kN. Como ya se ha señalado todos estos niveles de resistencia son significativamente diferentes entre ellos.

5.2.2 Probetas llenas de 12cm

Con el propósito de comprobar si existen diferencias entre los seis tipos de material en probetas llenas de 12cm se procedió a comparar las medias de la resistencia máxima en pruebas de compresión. Los resultados expuestos en la Tabla 8 permiten observar que existen diferencias significativas entre los materiales estudiados, según la prueba ANOVA $F(5/12 \text{ gl}) = 11,804$, $p=0,000$. Así mismo existen tres subconjuntos de datos que deben tomarse en cuenta considerando que en ocasiones más de un material se ubica en dos subconjuntos. A nivel general se advierte que el la Resina común es el material más resistente a la compresión y el TPU el material menos resistente.

Tabla 8

Datos descriptivos y prueba ANOVA para comparar los seis materiales en impresiones de 12 cm llenas.

Material	N probetas	Media	95% del intervalo de confianza para la media		Carga Mínima (kN)	Carga Máxima (kN)	Deformación (plg)
			Límite inferior	Límite superior			
ABS	3	20,21	15,89	24,55	18,97	22,20	0,20
Fibra C.	3	49,80	45,47	54,14	47,89	51,31	0,20
PLA	3	60,37	-42,48	163,24	13,09	90,16	0,16
Resina BIO	3	43,54	42,83	44,24	43,23	43,78	0,20
Resina Común	3	100,56	87,88	113,23	95,12	105,25	0,20
TPU	3	2,85	1,02	4,69	2,05	3,51	0,20
Total	18	46,22	28,88	63,57	2,05	105,25	

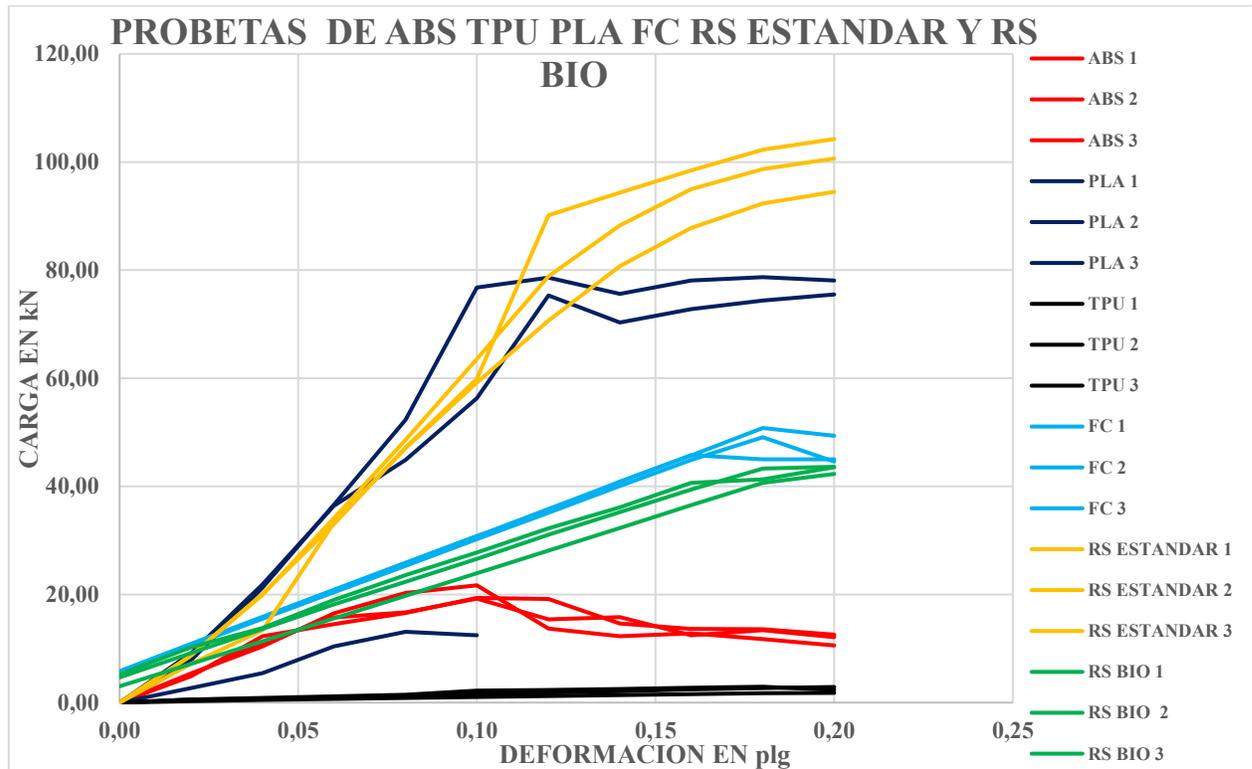
Nota: La prueba de Levene $(5/12 \text{ gl}) = 11,869$; $p=0,000$. (*) una probeta de PLA no resistió igual que las demás.

Elaborado por: Investigadora

En este caso, la diferencia encontrada para las varianzas tiene que ver con un comportamiento inusual y atípico del material PLA. Al incluir este material (PLA) en el análisis, los resultados se deben analizar con cuidado considerando esta limitación.

En la Figura 19 se puede observar el comportamiento de los seis materiales en los que se advierte un comportamiento muy inusual del PLA. Resulta que, en este material existió una probeta que no resistió más de 0,013 kN mientras que, en los otros dos casos, alcanzó una resistencia de 0,077 y 0,091 kN. Salvando esta excepción, se observan valores homocedásticos en los demás materiales, lo que significa que internamente obtuvieron valores similares en las pruebas. El material más resistente fue la Resina común que soportó una carga de 105,25 kN. El siguiente material fue el PLA que tiene similitud con la Resina común. Sin embargo, el PLA también se ubica en el segundo grupo, conjuntamente con la Fibra de carbono, Resina Bio y ABS, todos ellos con un nivel de resistencia promedio similar que varía entre los 19,61 y los 58,83 kN. El nivel más bajo se reporta para el TPU que tiene un nivel de resistencia de 3,51 kN, sin embargo, éste no es diferente al ABS y Resina BIO que aparte de ubicarse en el segundo subconjunto, también se ubica en el tercer subconjunto.

Figura 19: Diagrama de dispersión 12 cm llenas



Nota. Diagrama de dispersión de líneas rectas para las pruebas de resistencia realizadas en seis tipos de materiales con 12 cm de altura de objetos sin cavidad. Elaborado por: Investigadora

5.2.3 Probetas llenas de 20 cm

Con el objetivo de comprobar si existen diferencias entre los tres tipos de material en probetas llenas de 20 cm se procedió a comparar las medias de la resistencia máxima en pruebas de compresión. Los resultados en la Tabla 9 advierten diferencias significativas entre los materiales, según la prueba ANOVA $F(2/6 \text{ gl}) = 299,70$, $p=0,000$. Existen diferencias entre las tres mediciones según la prueba post hoc de Ryan-Einot-Gabriel-Welsch F, de tal modo que cada una se ubica en un subgrupo diferente.

Tabla 9

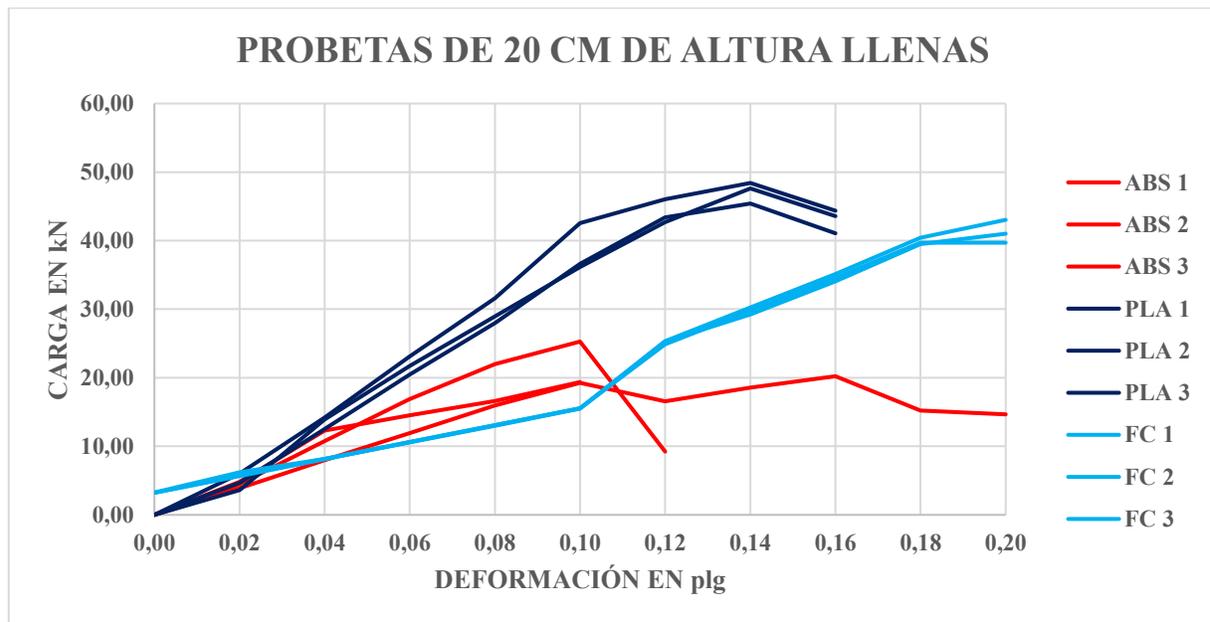
Datos descriptivos y prueba ANOVA para comparar los tres materiales en impresiones de 20 cm llenas

Material	N Probetas	Media	95% del intervalo de confianza para la media		Carga Mínima (kN)	Carga Máxima (kN)	Deformación (plg)
			Límite inferior	Límite superior			
ABS	3	20,36	18,08	22,65	19,47	21,31	0,14
Fibra C.	3	43,66	38,75	48,56	42,10	45,88	0,20
PLA	3	46,89	43,80	49,97	45,45	47,62	0,16
Total	9	36,97	27,29	46,65	19,47	47,62	

Nota: La prueba de Levene (5/12 gl) = 1,603; p=0,277.

Elaborado por: Investigadora

Figura 20: *Diagrama de dispersión 20 cm llenas*



Nota. Diagrama de dispersión de líneas rectas para las pruebas de resistencia realizadas en seis tipos de materiales con 20 cm de altura de objetos sin cavidad. Elaborado por: investigadora.

En la Figura 20 se observa que existen diferencias entre el PLA y la fibra de carbono. En efecto, las mediciones superiores de la resistencia del material PLA muestran un nivel similar con una carga máxima de 47,62 kN. En un segundo subgrupo

se ubica la Fibra de carbono con un promedio de carga de 45,88 kN. En menor medida se halla el ABS que está con una carga máxima de 21,31kN de resistencia.

5.2.4 Probetas vacías de 5cm

Con el propósito de comprobar si existen diferencias entre los seis tipos de material en probetas de 5cm sin cavidad se procedió a comparar las medias de la resistencia máxima en pruebas de compresión. En la Tabla 10 los resultados muestran diferencias significativas de compresión entre los materiales estudiados, según la prueba ANOVA $F(5/12 \text{ gl}) = 34,63$, $p=0,000$. El análisis post hoc reveló que existen tres subconjuntos de materiales, el más alto es el PLA y el más bajo es TPU.

Tabla 10

Datos descriptivos y prueba ANOVA para comparar los seis materiales en impresiones de 5 cm vacías.

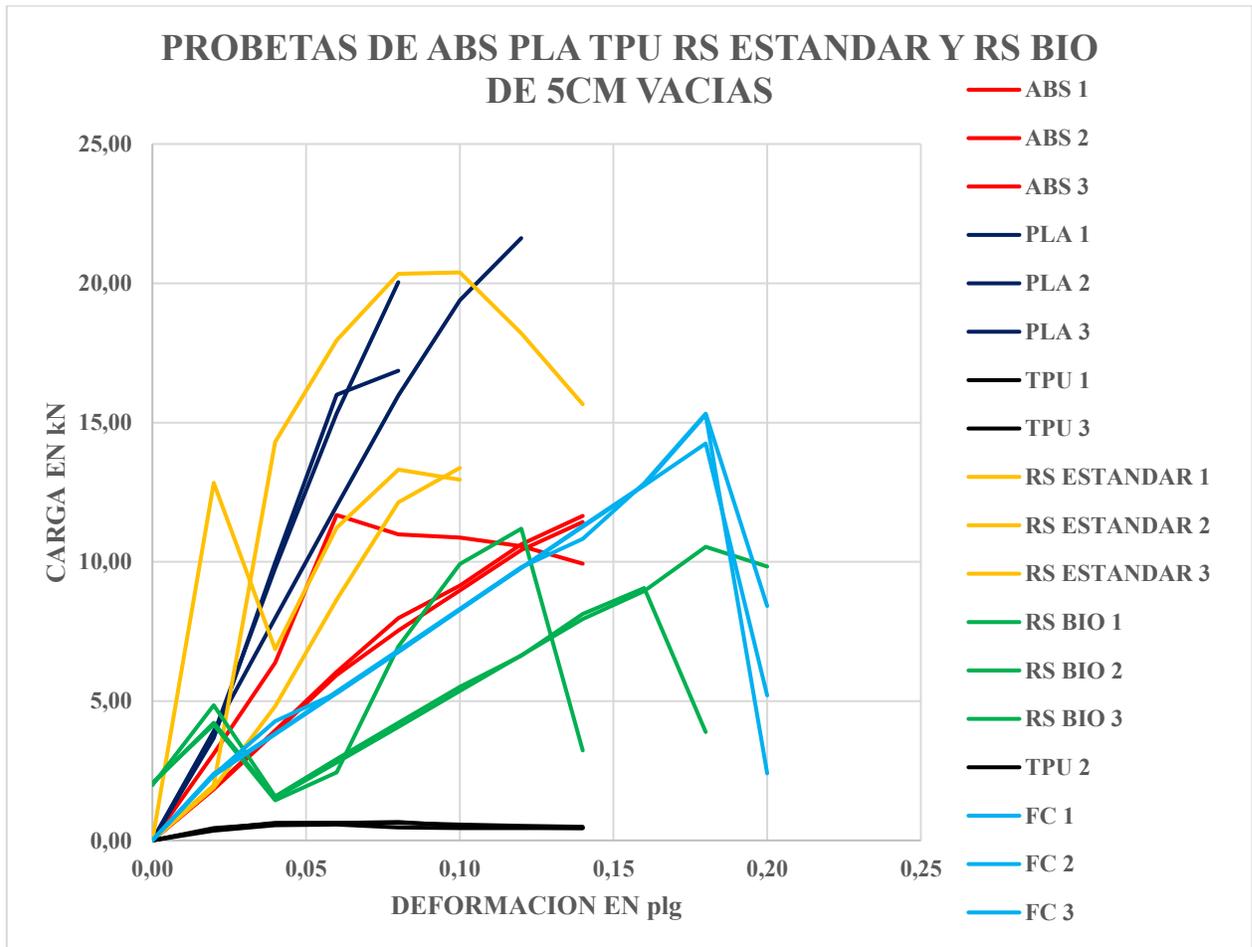
Material	N Probetas	Media	95% del intervalo de confianza para la media		Carga Mínima (kN)	Carga Máxima (kN)	Deformación (plg)
			Límite inferior	Límite superior			
ABS	3	11,20	9,61	12,79	10,56	11,84	0,14
Fibra C.	3	16,94	13,94	19,94	15,78	18,19	0,20
PLA	3	20,70	16,15	25,25	19,04	22,67	0,09
Resina BIO	3	11,14	7,43	14,85	9,73	12,70	0,17
Resina Común	3	15,95	5,46	26,45	13,39	20,83	0,11
TPU	3	0,61	0,50	0,73	0,56	0,66	0,14
Total	18	12,76	9,39	16,13	0,56	22,67	

Nota: La prueba de Levene $(5/12 \text{ gl}) = 5,803$; $p=0,006$.

Elaborado por: Investigadora

En este caso, la diferencia encontrada para las varianzas tiene que ver con un comportamiento inusual y atípico del material Resina común. Al incluir este material (Resina común) en el análisis, los resultados se deben analizar con cautela considerando esta limitación.

Figura 21: Diagrama de dispersión 5 cm vacías



Nota. Diagrama de dispersión de líneas rectas para las pruebas de resistencia realizadas en seis tipos de materiales con 5 cm de altura de objetos con cavidad. Elaborado por: investigadora

Los resultados se ilustran en la Figura 21 en la que se advierten diagramas de dispersión de líneas rectas en diferentes posiciones con un comportamiento particular en la Resina en el tamaño de la varianza. Resulta que, en este material existió una probeta que resistió más de 20 kN mientras que, en los otros dos casos tuvieron un comportamiento similar alrededor de 13 kN. Salvando esta excepción, se observan valores homocedásticos en los demás materiales, lo que significa que internamente obtuvieron valores similares en las pruebas. De este modo, el subgrupo más alto está conformado por el PLA, Fibra de carbono y Resina Común que oscilan entre valores

aproximados de 14,75 y 20 kN de resistencia, un segundo grupo está integrado por la Resina BIO, ABS y Resina común con valores alrededor de 9,80 y 14,71 kN. Sin embargo, con una resistencia más baja, se observa al material TPU que de forma aislada soporta una carga máxima de 0.66 kN.

5.2.5 Probetas vacías de 12cm

Con el propósito de comprobar si existen diferencias entre los seis tipos de material en probetas llenas de 12cm se procedió a comparar las medias de la resistencia máxima en pruebas de compresión. En la Tabla 11 los resultados permiten observar que existen diferencias significativas entre los materiales estudiados, según la prueba ANOVA $F(5/12 \text{ gl}) = 71,18$, $p=0,000$. El análisis post hoc reveló que existen cuatro subconjuntos de datos que deben tomarse en cuenta considerando que en ocasiones más de un material se ubica en dos subconjuntos. A nivel general se advierte que el PLA el material más resistente y el TPU el material menos resistente.

Tabla 11

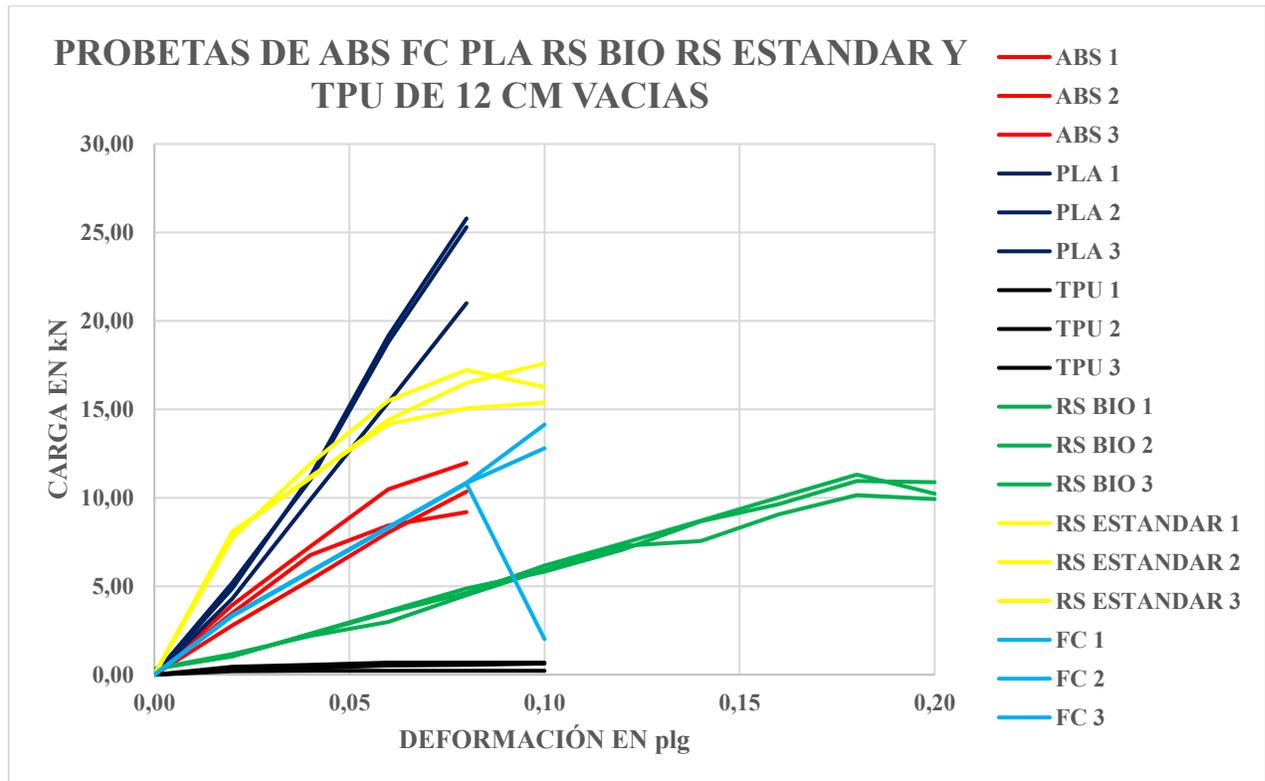
Datos descriptivos y prueba ANOVA para comparar los seis materiales en impresiones de 12 cm con cavidad

Material	N Probetas	Media	95% del intervalo de confianza para la media		Carga Mínima (kN)	Carga Máxima (kN)	Deformación (plg)
			Límite inferior	Límite superior			
ABS	3	10,66	7,13	14,18	9,23	12,07	0,08
Fibra C.	3	13,16	10,29	16,04	12,06	14,37	0,10
PLA	3	23,55	16,55	30,55	21,38	26,74	0,08
Resina BIO	3	11,41	8,43	14,39	10,04	12,25	0,20
Resina Común	3	16,68	13,37	20,00	15,18	17,73	0,10
TPU	3	0,50	-0,11	1,13	0,21	0,67	0,10
Total	18	12,66	9,06	16,27	0,21	26,74	

Nota: La prueba de Levene ($5/12 \text{ gl}$) = 2,640; $p=0,078$.

Elaborado por: Investigadora

Figura 22: Diagrama de dispersión 12 cm vacías



Nota. Diagrama de dispersión de líneas rectas para las pruebas de resistencia realizadas en seis tipos de materiales con 12 cm de altura de objetos con cavidad. Elaborado por: Investigadora

En la Figura 22 se pueden observar los comportamientos de los materiales a nivel general. Tanto el material más resistente (PLA) que soporta una carga máxima de 26,74kN, como el menos resistente (TPU) que apenas supera los 0.60 kg. Sin embargo, en un segundo lugar se hallan la Resina común y Fibra de carbono con una resistencia aproximada de 17,73 y 14,37 kN, respectivamente. Por debajo de este grupo, se encuentra la Resina BIO y ABS que tienen valores de resistencia aproximados que van desde 12,07 a 12,27 kN respectivamente.

5.2.6 Probetas vacías de 20 cm

Con el objetivo de comprobar si existen diferencias entre cuatro tipos de material en probetas llenas de 20 cm se procedió a comparar las medias de la resistencia

máxima en pruebas de compresión. En la Tabla 12 los resultados advierten diferencias significativas entre los materiales, según la prueba ANOVA $F(3/8 \text{ gl}) = 51,90$, $p=0,000$. Existen diferencias entre cuatro subgrupos al considerar el análisis post-hoc. Estas diferencias tienen que ver particularmente con un nivel alto para la Fibra de carbono y PLA, así como con un valor bajo para el TPU.

Tabla 12

Datos descriptivos y prueba ANOVA para comparar los seis materiales en impresiones de 20 cm con cavidad

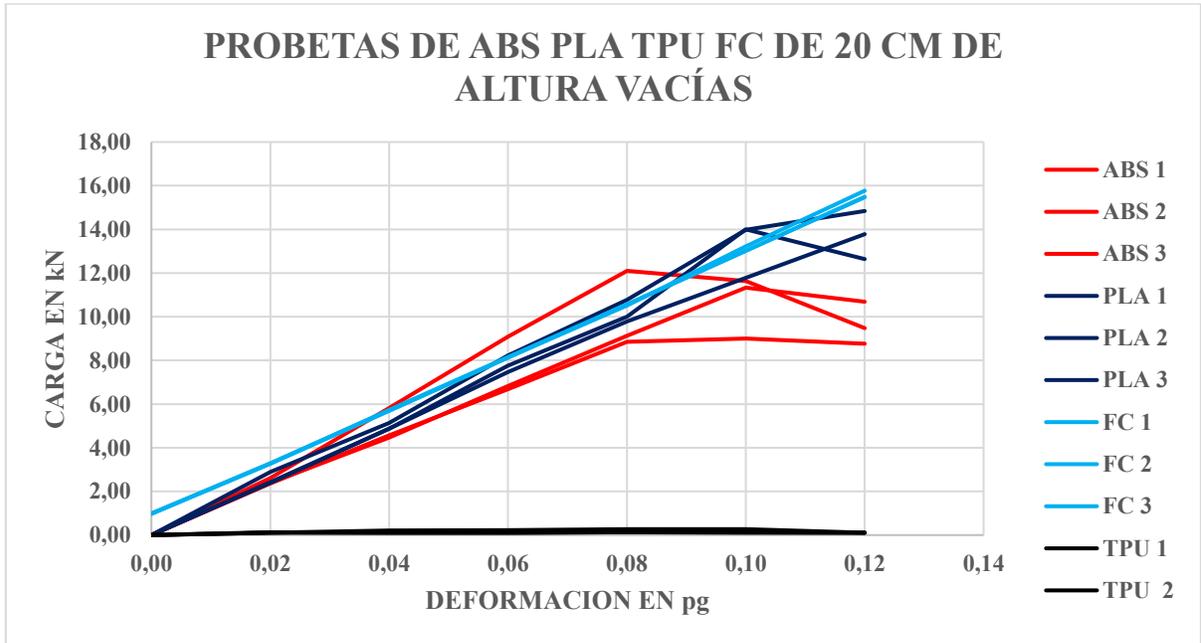
Material	N Probetas	Media	95% del intervalo de confianza para la media		Carga Mínima (kN)	Carga Máxima (kN)	Deformación (plg)
			Límite inferior	Límite superior			
ABS	3	10,95	7,62	14,29	9,51	12,17	0,12
Fibra C.	3	16,60	14,83	18,37	15,97	17,37	0,12
PLA	3	15,38	13,17	17,60	14,36	16,00	0,12
TPU	3	0,12	0,11	0,13	0,12	0,12	0,12
Total	12	10,76	6,43	15,10	0,12	17,37	

Nota: La prueba de Levene ($5/12 \text{ gl}) = 3,082$; $p=0,090$.

Elaborado por: Investigadora

En la Figura 23 se observa que no existen diferencias entre el PLA y la fibra de carbono que se ubican con valores de resistencia aproximados de 16 y 17,37 kN, respectivamente. En un nivel intervenido se halla el material ABS con una carga máxima de 12,17 kN. Por debajo de estos dos grupos está TPU con un nivel de resistencia no mayor a los 0,12 kN.

Figura 23: Diagramas de dispersión 20 cm vacías



Nota. Diagrama de dispersión de líneas rectas para las pruebas de resistencia realizadas en seis tipos de materiales con 20 cm de altura de objetos con cavidad. Elaborado por: Investigadora

5.2.7 Planchas

Con el propósito de verificar si existen diferencias entre los tres tipos de material en planchas de 20 X 8 cm, se aplicó la prueba ANOVA para las cargas máximas en tres materiales: ABS, Fibra C. y Pla (Tabla 13). Se demostró que existen diferencias significativas $F(2/6 \text{ gl}) = 51,90$, $p=0,000$. El análisis Post Hoc de Tukey reveló que existen dos subconjuntos. La carga máxima más alta corresponde a la impresión en PLA la cual es superior a la carga de los materiales Fibra C. y ABS (no se advierten diferencias entre estos dos materiales).

Tabla 13

Datos descriptivos y prueba ANOVA para comparar los tres materiales en impresiones de planchas de 20cm x 8 cm y 2cm de espesor.

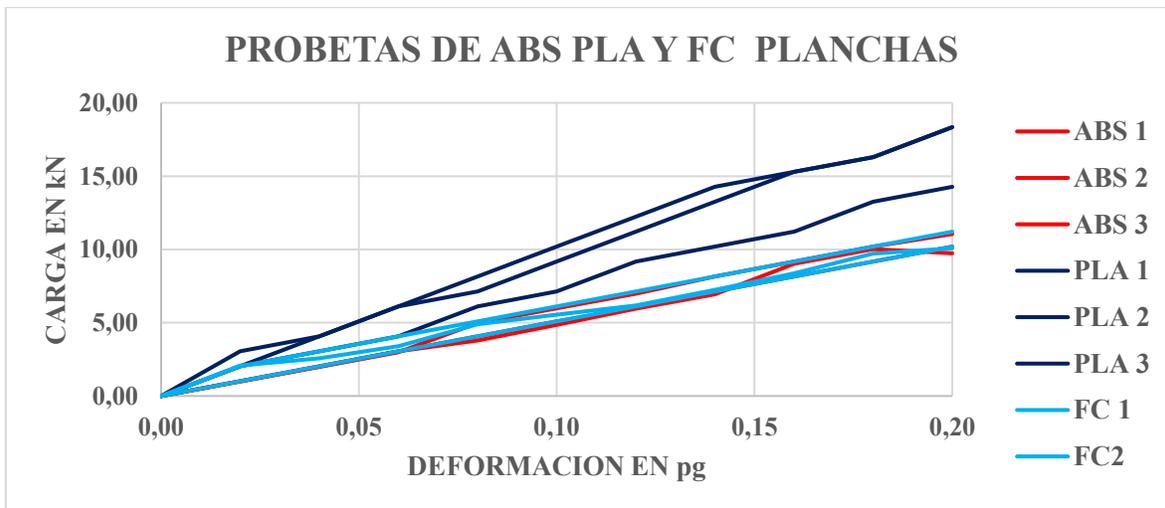
Material	N Probetas	Media	95% del intervalo de confianza para la media		Carga Mínimo (kN)	Carga Máxima (kN)	Deformación (plg)
			Límite inferior	Límite superior			
ABS	3	10,60	9,71	11,50	10,28	10,99	0,20
Fibra C.	3	11,17	8,64	13,71	10,37	12,32	0,20
PLA	3	18,66	14,86	22,45	16,99	19,99	0,20
Total	9	13,48	10,40	16,55	10,28	19,99	

Nota: La prueba de Levene (2/6 gl) =2,472; p=0,165.

Elaborado por: Investigadora

El promedio de carga máxima del PLA es de 19,99 kN que se ubica muy por arriba de las cargas de Fibra de carbono y ABS que tienen una carga máxima aproximada de 12,32 y 10,99 kN. Estas diferencias se observan en la Figura 24.

Figura 24: Diagrama de dispersión planchas



Nota. Diagrama de dispersión de líneas rectas para las pruebas de flexión realizadas en tres tipos de materiales en planchas 20 x 8 cm y 2 cm de espesor. Elaborado por: investigadora

Al finalizar las pruebas de compresión y flexión, los resultados que se han reflejado a lo largo de este trabajo de investigación han generado una gran expectativa para quienes integran el laboratorio FabLab, puesto que esta guía final es de gran utilidad, es la primera investigación que se realiza en el FabLab en base a la impresión 3D.

CONCLUSIONES

Luego de realizado este proyecto titulación en cuanto se refiere a su contenido acorde al protocolo establecido y aprobado oportunamente por las instancias correspondientes, se procede a establecer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Tabla 14

Comparación de resultados obtenidos por material, carga máxima y deformación

Material	Compresión		Flexión	
	Carga Máxima (kN)	Deformación (plg)	Carga Máxima (kN)	Deformación (plg)
RS EST (Resina estándar)	105,25	0,15		
PLA (Ácido poliláctico)	90,16	0,13	19,99	0,20
FC (Fibra de carbono)	58,28	0,17	12,32	0,20
RS BIO (Resina biocompatible)	43,78	0,18		
ABS (Acrilonitrilo butileno estireno)	22,20	0,14	10,99	0,20
TPU (Poliuretano termoplástico)	3,78	0,15		

Nota: las celdas que no tienen información son debido a que no se realizaron las pruebas en esos materiales

Elaborado por: Investigadora

- De acuerdo a la tabla 14 se considera la RS ESTÁNDAR como el material más resistente a la compresión, soportando una carga máxima de 105,25 kN y con

una deformación de 0,15 plg, sin embargo, se puede observar que tiene una deformación igual a la del TPU, esto nos indica que la resina estándar soporta grandes cargas y se deforma casi igual que los demás materiales de este análisis, aun cuando éstos soportan cargas mucho menores.

- El PLA de acuerdo a este análisis, soporta una carga máxima de 90,16 kN y una deformación de 0,13 plg, lo cual indica que este material se deforma a menor carga que la ejercida sobre la resina estándar. En cuanto a las pruebas de flexión este material mostró un comportamiento superior a los otros materiales, soportando una carga máxima de 19,99 kN y una deformación igual a los otros materiales de 0,20 plg, con la diferencia de que ésta no llegó a romperse.
- La FC soporta una carga máxima en las pruebas de compresión de 58,28 kN y una deformación de 0,17 plg, se puede apreciar que este material sufre una deformación superior a la que sufren RS ESTÁNDAR y el PLA, a pesar de soportar mucha menos carga que la que soportan estos materiales. En las pruebas de flexión soportó una carga de 12,32 kN y una deformación de 0,20 plg igual a los otros materiales.
- La RS BIO soportó una carga máxima de 43,78 kN, lo cual equivale a menos del 50% de la carga soportada por la resina estándar, indicando que este material es mucho menos resistente a la compresión que la resina estándar. En lo que a su deformación se refiere, obtuvo 0,18 plg, lo que indica que se deformó más que la RS ESTÁNDAR, pero con menos carga. Este material explotó al momento de ser sometido a la prueba de compresión.
- El ABS soportó una carga máxima de 22,20 kN y una deformación de 0,14 plg. Muestra una deformación menor a la resina estándar, pero soportó cargas menores. Esto quiere decir que, a comparación con los demás filamentos y las resinas, este material soporta menos carga y tiene una deformación similar a los demás materiales. No es un material apto para cargas elevadas. Para las pruebas de flexión este material se encuentra en el tercer lugar de tres materiales

analizados, obteniendo así una carga máxima de 10,99 kN y una deformación de 0,20 plg. Cabe destacar que estas probetas se rompieron al llegar a su punto máximo de carga, a comparación del PLA que solo se deformó.

- El Poliuretano termoplástico (TPU) se mostró como un material poco preciso para estas pruebas, ya que al ser sometido a la de compresión mantenía una carga constante y su deformación fue poco variada, debido a la fatiga del material, conociéndose como fatiga a las pruebas repetitivas que se realizan en un objeto que este puede llegar a romperse o deformarse. Los resultados que se obtuvieron fueron de 3,78 kN de carga máxima y una deformación promedio de 0,15 plg, su deformación es igual a la de la resina estándar, pero soportó cargas menores al 60% que soporto la RS ESTÁNDAR, esto indica que el material es mucho menos resistente a la compresión ya que su deformación es rápida y alta.
- En base al objetivo planteado de analizar los materiales utilizados en impresión 3D. Caso de estudio Fab Lab de la Universidad Católica de Cuenca se pudo realizar con éxito el estudio de cada uno de estos, demostrando que son aptos a ser comparados entre ellos, esto fue posible mediante la prueba de Shapiro Wilk,
- Las impresoras que dispone el Fab Lab de la Universidad Católica de Cuenca, permiten imprimir en variedad de materiales existentes en el mercado y posibilitan que los usuarios puedan acceder a diversa calidad de impresión acorde a sus requerimientos.
- Mediante las pruebas realizadas la variabilidad de los diseños son las alturas y cavidades, esto no ha sido un factor para que las pruebas no sean contundentes ya que todas las pruebas son semejantes con respecto a los resultados.
- Para las pruebas de flexión, las probetas que no se pudieron imprimir fueron las realizadas con TPU y resinas estándar y biocompatible en tamaño de 20cm con y sin cavidades, así como las planchas de 20 cm x 8 cm x 2cm. Esto debido a

que el material no se adhería completamente generando un desperdicio de material muy alto y un elevado costo (250,00 usd el litro de resina estándar y 500,00 usd el litro de la resina biocompatible) por lo que imprimir elementos grandes resulta oneroso.

- Es importante conocer con precisión las propiedades de los materiales utilizados para imprimir en 3D pues de esta manera se conseguirá optimizar estos recursos, así como los tiempos de impresión pues al conocerlos adecuadamente, se evitarán reprocesamientos.
- Finalmente respondiendo a uno de los objetivos más importantes que se mencionó en este trabajo de titulación, fue el de establecer los parámetros de impresión de acuerdo a las impresoras y los materiales que por ahora el FabLab dispone, esta se detalló mediante una tabla en la cual se expone los materiales, las impresoras, temperaturas de extrusor caso de ser necesario, temperatura de cama, velocidad de impresión, porcentaje de relleno y velocidad de extrusor, esta tabla 5 se encuentra en el capítulo IV en el apartado de parámetros de impresión.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda mantener los parámetros de impresión exactamente iguales para el caso de ocupar el mismo material algunas veces y también las mismas dimensiones, esto ayudara a que estas pruebas puedan ser comparadas y los resultados que se obtengan de las mismas sean verídicos.
- Un punto importante para las impresiones de las probetas es calibrar perfectamente la impresora, lo cual garantiza que la impresión sea correcta y además el material no se desperdicie.

- Conocer el tipo de material que se va a manejar, evitará confusiones al momento de elegir la impresora, también se sugiere tener una charla con el proveedor al momento de recibir el material, esto facilitará su obtención, ahorrará tiempo y dinero; y sobre todo brindará un acabado totalmente bueno para las probetas.
- Al momento de almacenar los filamentos estos deben permanecer en lugares secos, a una temperatura ambiente de 13 °C, esto ayudará a que el material no absorba humedad y este pueda ser utilizado adecuadamente. Si el material recibiera humedad estos deben ser tratados mediante cámaras de secado o devolver a su proveedor si el material llegó con esa falla desde fábrica.
- Algo muy importante es que al realizar las pruebas de compresión se recomienda llevar adecuadamente el uso de EPP (Equipo de protección personal). Como experiencia personal los materiales explotaron y estos afectaron al técnico que los estaba manipulando.
- Si la impresora dispone de cama caliente esta debe ser verificada que se encuentre a 1mm del extrusor con la finalidad de que la impresión no obtenga grumos ni se dañe, esto evitará el desperdicio del material y a la vez ahorrará tiempo.
- Al momento de imprimir en fibra de carbono, se recomienda cambiar la boquilla por una endurecida de 0.4mm de apertura del extrusor, esto es fundamental para poder imprimir en este material. Esto también ayudará a que el filamento se caliente correctamente y sea expulsado de manera compacta.
- Este trabajo ayudará y brindará un tipo guía al laboratorio FabLab de la Universidad Católica de Cuenca al contener información importante esperando que los técnicos y los usuarios del laboratorio puedan darle un uso adecuado, entre la información que más sobresale y es de suma importancia para el laboratorio está , temperaturas con las que trabaja cada impresora y material, temperaturas de extrusor, temperatura de cama, porcentajes de relleno de cada impresora, que material de los que el laboratorio dispone soporta más carga,

cuál de estos es más flexible y los parámetros necesarios para poder imprimirlos.

- Finalmente, esta investigación es una línea base para futuros investigadores que persigan analizar y generar una amplia investigación sobre estos materiales y futuros que se introduzcan.

BIBLIOGRAFÍA:

- All3DP. (Abril de 2020). *All3DP*. Obtenido de <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>
- Alonso, A., García, L., León, I., García, E., Gil, B., & Ríos, L. (s/f). *Métodos de Investigación de enfoque experimental*. Lima: Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle.
- Baunat.com. (5 de Abril de 2019). *baunat.com*. Obtenido de <https://www.baunat.com/es/se-pueden-crear-joyas-usando-una-impresora-3d>
- Berchon, M., & Luyt, B. (2016). *Impresión 3D*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SL.
- Bitfab. (01 de 2020). *Bitfab*. Obtenido de <https://bitfab.io/es/blog/fusion-360-impresion-3d/>
- Boqué, R., & Maroto, A. (2014). EL ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA). *Grupo de Quimiometría y Cualimetría*, 1-6.
- Bordignon, F., Iglesias, A., & Hahn, Á. (2018). *Diseño e Impresión de objetos 3D*. UNIPE: Editorial Universitaria.
- Bordignon, F., Iglesias, A., & Hahn, Á. (2018). *DISEÑO E IMPRESIÓN 3D. Una guía de apoyo a escuelas*. Buenos Aires: UNIPE: Editorial Universitaria.
- Contreras, L. (20 de Noviembre de 2017). *3DNatives*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-acero-inoxidable-201120172/#!>
- Contreras, L. (6 de Junio de 2019). *3DNatives.com*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/filamento-de-abs-impresion-3d-06062019/>
- Contreras, L. (23 de Julio de 2019). *3DNatives.com*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/ecologico-realmente-filamento-pla-230720192/>
- Córdova, U. (2016). Las impresiones 3D y el diseño en medicamentos. *Bitácora Digital*, 1-4.
- Covadonga, L. C. (2017). *La fabricación digital y su aplicación en el ámbito de la educación superior universitaria. El laboratorio de fabricación digital*. Madrid: Universidad CEU San Pablo .
- Del Canto, E., & Silva, A. (2013). METODOLOGIA CUANTITATIVA: ABORDAJE DESDE LA COMPLEMENTARIEDAD EN CIENCIAS SOCIALES. *Revista de Ciencias Sociales (Cr)*, 25-34.

- Ensinger. (enero de 2020). *Ensinger.com*. Obtenido de <https://www.ensingerplastics.com/es-br/semielaborados/seleccion-de-materiales-plasticos/propiedades-mecanicas>
- FAB LAB CUENCA. (Enero de 2020). *FabLab Cuenca*. Obtenido de <https://www.fablabcuenca.com/que-es-un-fablab>
- Fernández, P., & Díaz, P. (2002). *Investigación cuantitativa y cualitativa*. Coruña: Complejo Hospitalario Universitario Juan Canalejo.
- Filament2Print. (23 de octubre de 2019). *Filament2Print*. Obtenido de https://filament2print.com/es/blog/73_tipos-aplicaciones-resinas-impresoras-3d.html
- Filament2Print. (Enero de 2020). *Filament2Print.com*. Obtenido de <https://filament2print.com/es/resina-slalcdldp/867-form-2-formlabs-impresora-3d.html>
- FormLabs. (2020). *formlabs.com*. Obtenido de <https://formlabs.com/latam/3d-printers/form-3/tech-specs/>
- Fressoli, M., & Smith, A. (2015). Fabricacion digital una nueva revolucion tecnologica. *ReserchGate*, 1-8.
- García Ruíz, M., & Lena Acebo, F. (2019). Movimiento FabLab: di-seño de investigación mediante métodos mixtos. *OBETS. Revista de Ciencias Sociales*, 14(2): 373-406.
- Gil, I. (2015). *La impresión 3D y sus alcances en la arquitectura*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Graterol, R. (2011). *Metodología de Investigación*. Mérida: Universidad de Los Andes.
- Hernández. (2014). *Metodologias de la Investigacion sexta edicion*. Mexico: Marcela I. Rocha Martínez.
- Hernández, R. (2003). *Metodologia de la investigacion*. Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES.
- Ibertest. (enero de 2019). *Ibertest.com*. Obtenido de <https://www.ibertest.es/products/ensayo-de-compresion/>
- IBM. (2020). *Software IBM SPSS*. Obtenido de <https://www.ibm.com/es-es/analytics/spss-statistics-software>

- ImpresoraD3D. (19 de octubre de 2019). *Impresora D3D*. Obtenido de <http://impresorad3d.com/author/admin/>
- Impresoras3D. (01 de Mayo de 2017). *Impresoras3D.com*. Obtenido de <https://www.impresoras3d.com/tipos-de-impresoras-3d/>
- Impresoras3D. (01 de enero de 2018). *Impresoras3D*. Obtenido de <https://www.impresoras3d.com/el-material-de-impresion-abs-y-sus-caracteristicas/>
- Impresoras3D.com. (Mayo de 2019). *Impresoras3D.com*. Obtenido de <https://www.impresoras3d.com/producto/raise3d-pro-2-plus/>
- INEN. (ENERO de 2014). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION*. Obtenido de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_604.pdf
- INSTRON. (agosto de 2020). *Instron*. Obtenido de <https://www.instron.es/es-es/testing-solutions/by-test-type/compression/astm-d695-plastics>
- Intertek. (enero de 2020). *Intertek.com*. Obtenido de <https://www.intertek.com/polymers/testlopedia/compression-properties-astm-d695/>
- JNAceros. (7 de Agosto de 2016). *jnaceros.com*. Obtenido de <https://jnaceros.com.pe/blog/impresiones-3d-acero-inoxidable/>
- Jorquera, A. (2017). *Fabricacion digital: Introducción al modelo e impresión 3D*. Madrid: Aula Mentor.
- LaFactoría3D. (1 de Enero de 2020). *LaFactoría3D.com*. Obtenido de https://www.lafactoria3d.es/servicios/impresion/materiales/48/pva_soporte
- LaFactoría3D. (1 de Enero de 2020). *lafactoria3D.es*. Obtenido de <https://www.lafactoria3d.es/servicios/impresion/materiales/53/resina>
- Locker, A. (abril de 2020). *ALL3DP*. Obtenido de <https://all3dp.com/es/1/mejores-programas-diseno-3d-software-modelado-3d-gratis/#fusion-360>
- López Conde, J. E. (marzo de 2016). *Nota de futuro. Impresoras 3D*. Obtenido de https://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf
- LubrizolCorporation. (01 de 2020). *Lubrizol*. Obtenido de <https://espanol.lubrizol.com/Engineered-Polymers/About/What-is-TPU>
- Macas, C., & Pilco, K. (2016). CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE FUNDICIÓN. *Redalyc*, 3-10.

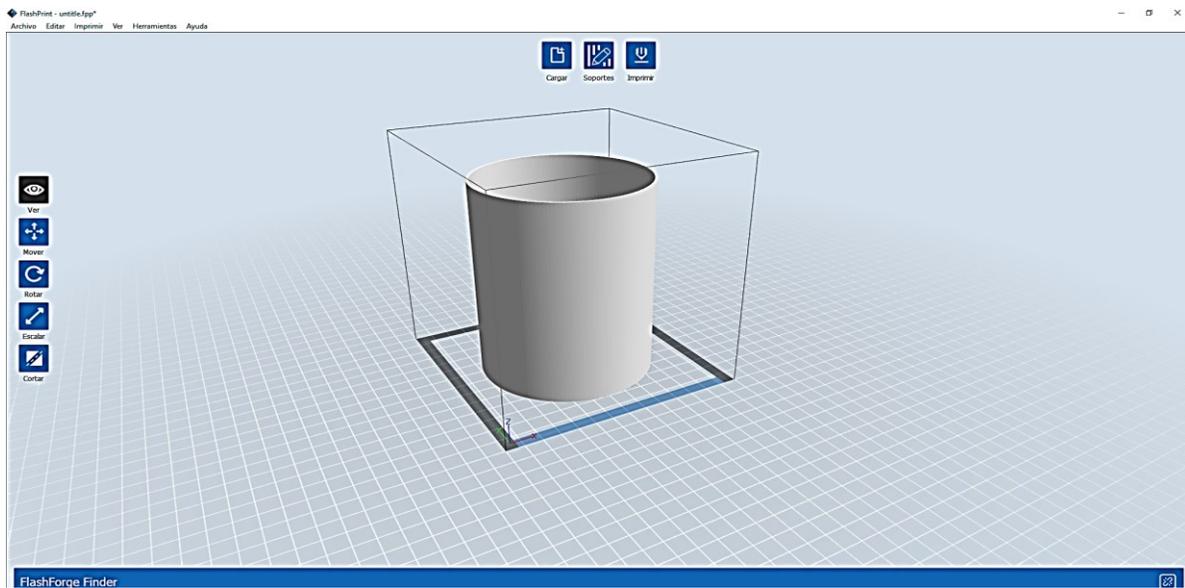
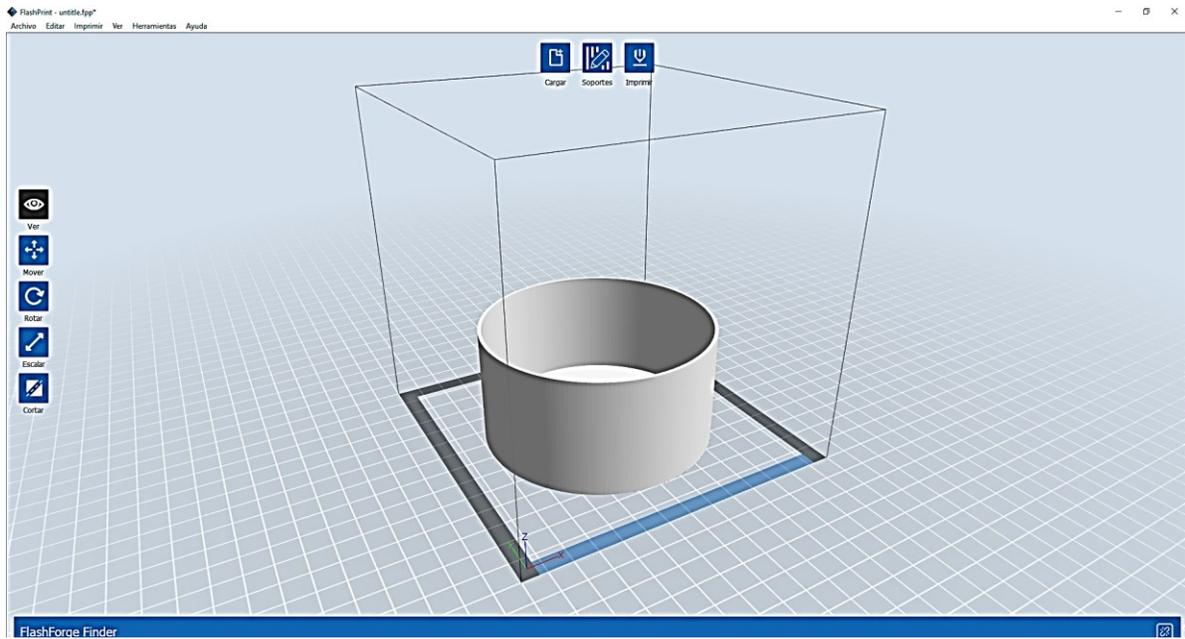
- Marchante, A. (12 de Marzo de 2020). *3DNatives*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/caracteristicas-tiene-nylon-en-impresion-3d-120320202/#!>
- Marchante, A. (4 de Junio de 2020). *3DNatives*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/guia-completa-tpu-040620202/>
- Marchante, A. (7 de Agosto de 2020). *3DNatives*. Obtenido de [https://www.3dnatives.com/es/hips-soporte-impresion-3d-070820202/#:~:text=El%20denominado%20HIPS%20\(High%20Impact,resistencia%20a%20los%20solventes%20qu%C3%ADMICOS](https://www.3dnatives.com/es/hips-soporte-impresion-3d-070820202/#:~:text=El%20denominado%20HIPS%20(High%20Impact,resistencia%20a%20los%20solventes%20qu%C3%ADMICOS)
- Marchante, A. (11 de febrero de 2020). *3DNatives*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/el-plastico-de-policarbonato-en-la-impresion-3d-110220202/>
- Marchante, A. (12 de Marzo de 2020). *3DNatives*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/caracteristicas-tiene-nylon-en-impresion-3d-120320202/>
- Metalinspec. (16 de Junio de 2020). *metalinspec blog*. Obtenido de <https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/como-realizar-una-prueba-de-flexion-en-plasticos-segun-astm-d790#:~:text=ASTM%20D790%20es%20un%20m%C3%A9todo,y%20materiales%20de%20aislamiento%20el%C3%A9ctrico>.
- Monje, C. (2011). *Metodología de la Investigación Cuantitativa y Cualitativa*. Neiva, Colombia: UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.
- Morales Martínez, Y. (2018). *Los Fablabs y la economía social y solidaria: el caso del Laboratorio de Fabricación Digital de Puebla*. Puebla.
- Pelaez, J. (23 de septiembre de 2012). *Slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/olivapelaez/modulo-de-tensin-y-flexin-de-los-plsticos#:~:text=%EF%82%97%20Esta%20prueba%20se%20realiza,de%20acuerdo%20con%20ASTM%20D790.&text=La%20pendiente%20de%20la%20curva,m%C3%B3dulo%20de%20flexi%C3%B3n%20del%20material>.
- Pilicita Escobar, D. (2019). *Estudio de factibilidad para el diseño y montaje de un laboratorio de fabricación digital para la carrera de Ingeniería en Diseño Industrial de la Universidad Central del Ecuador*. . Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Quecedo, R., & Castaño, C. (2002). Introducción a la metodología de investigación cualitativa. *Revista de Psicodidáctica*, núm. 14, 5-39.

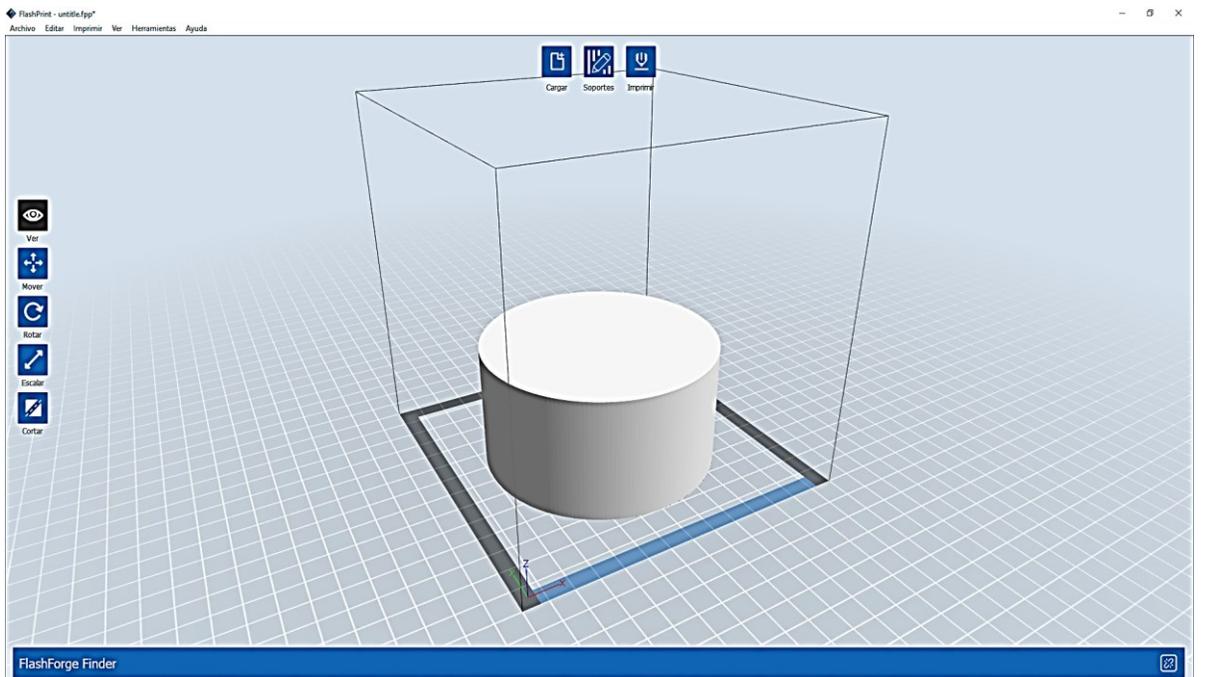
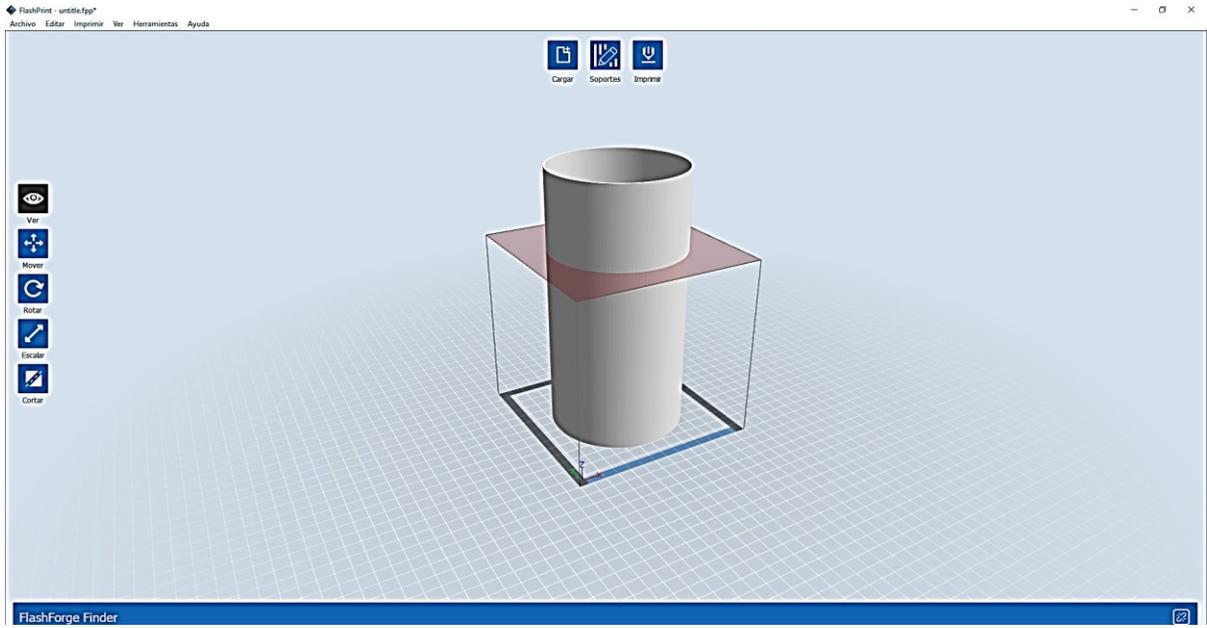
- Rodríguez, G., Gil, J., & García. (1999). *Metodología de la investigación cualitativa*. E.MX: ALJIBE.
- Saire, A. (2017). METODOLOGÍA DE PREPARACIÓN PARA EL DESARROLLO EXITOSO DE PROYECTOS DE INNOVACION EMPLEANDO LABORATORIOS DE FABRICACIÓN DIGITAL EN AREQUIPA. *Redalyc*, 15- 20.
- Sánchez, S. (2 de Septiembre de 2020). *3DNatives*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/descubriendo-los-metales-de-la-impresion-3d/>
- Sánchez, S. (17 de Junio de 2020). *3DNatives.com*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>
- Sculpteo. (Mayo de 2019). *sculpteo.com*. Obtenido de <https://www.sculpteo.com/es/materiales/cera-perdida-materiales/material-bronze/>
- Simão, V. L. (2010). *Formación continuada y varias voces del profesorado de educación infantil de Blumenau: Una Propuesta desde Dentro*. . Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Szilárd, K., Ignacio, A., & Aitor, G. (2018). Fabricando el Futuro. *FabLabs. Dyna.*, 2.
- Tancara, C. (1993). La Investigación Documental . *Revista de Sociología UMSA N. 17*, 91-106.
- TresDPro. (09 de septiembre de 2019). *TresDPro*.
- Tresdpro. (10 de Octubre de 2019). *tresdpro.com*. Obtenido de https://tresdpro.com/que-material-utilizan-las-impresoras-3d/#Resina_pintable
- UCACUE. (2020). *FabLab*. Obtenido de <https://www.ucacue.edu.ec/fablab/>
- Universidad Católica de Cuenca, U. (20 de Abril de 2020). Obtenido de <https://documentacion.ucacue.edu.ec/items/show/863>

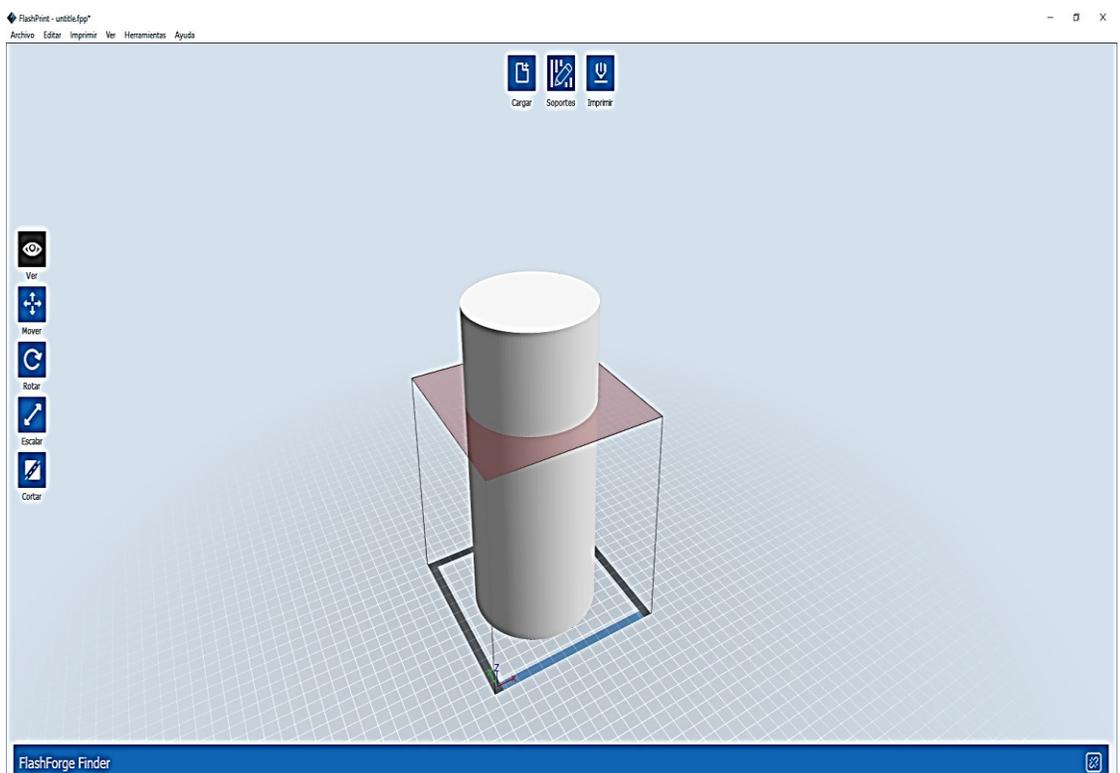
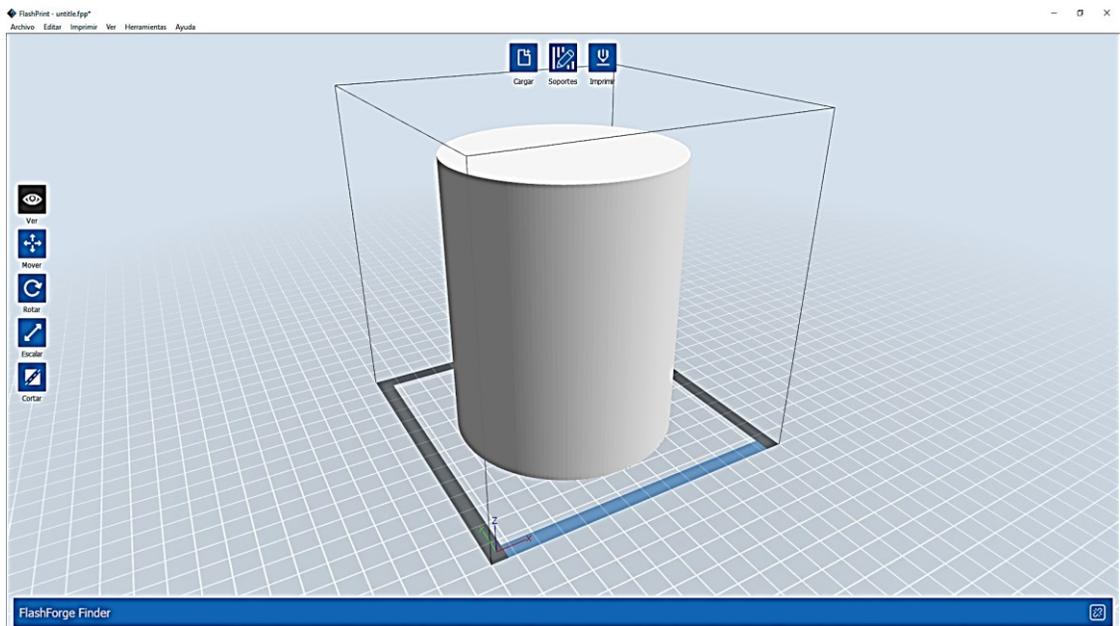
ANEXOS

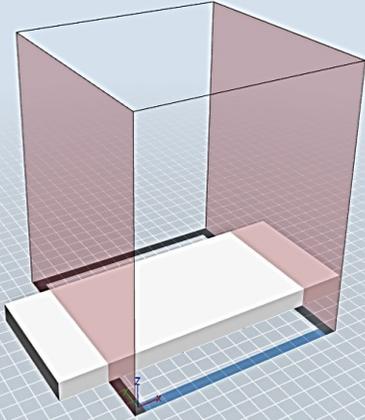
ANEXO A

DISEÑO Y MODELADO DE PROBETAS

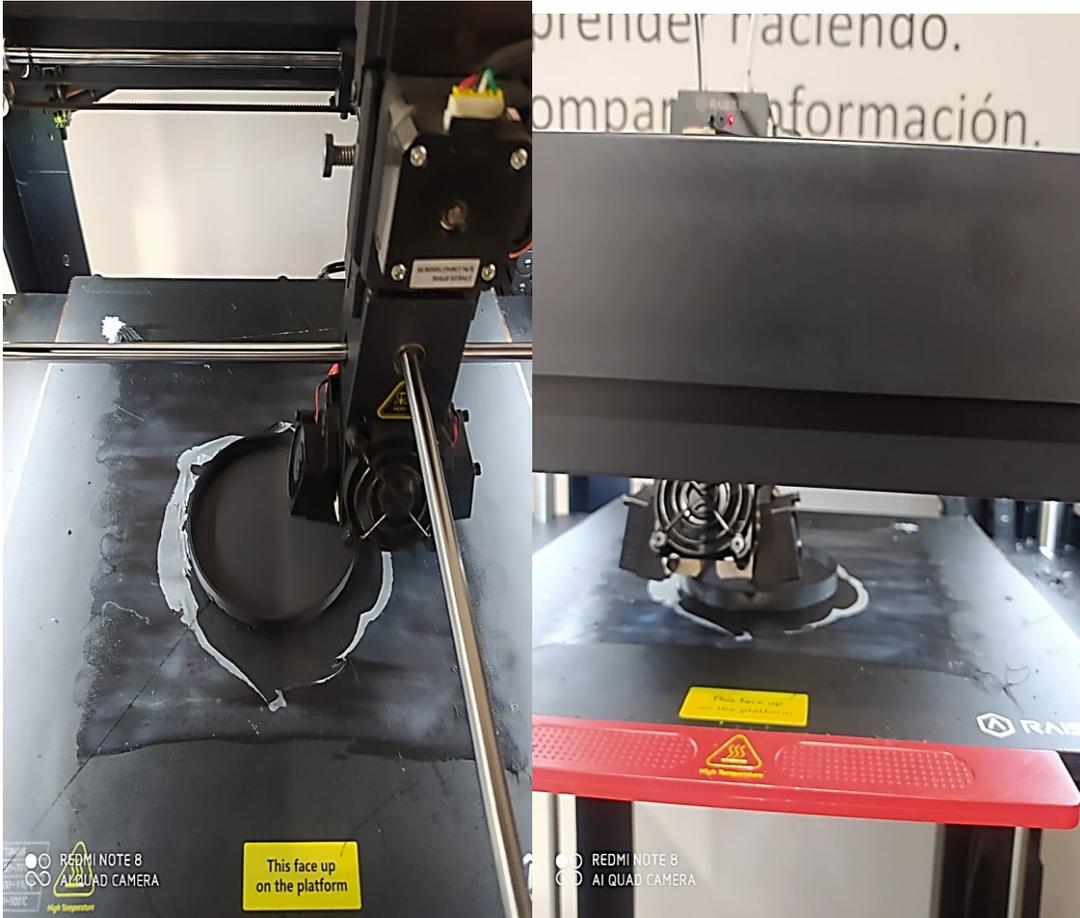


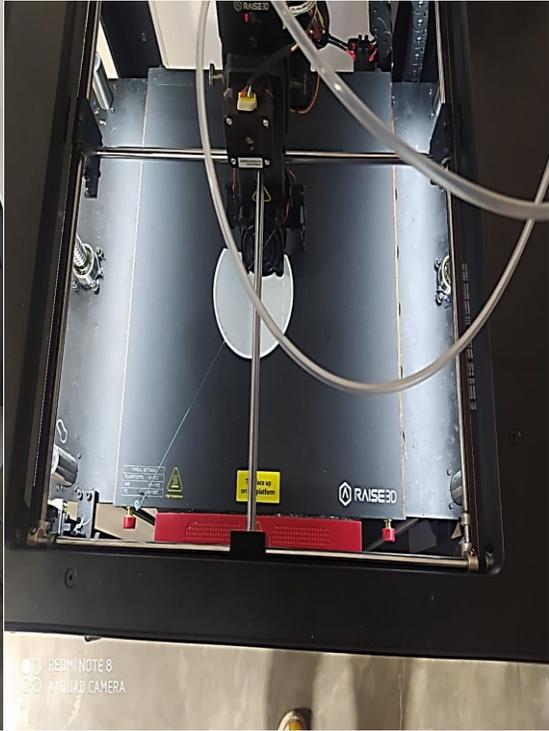
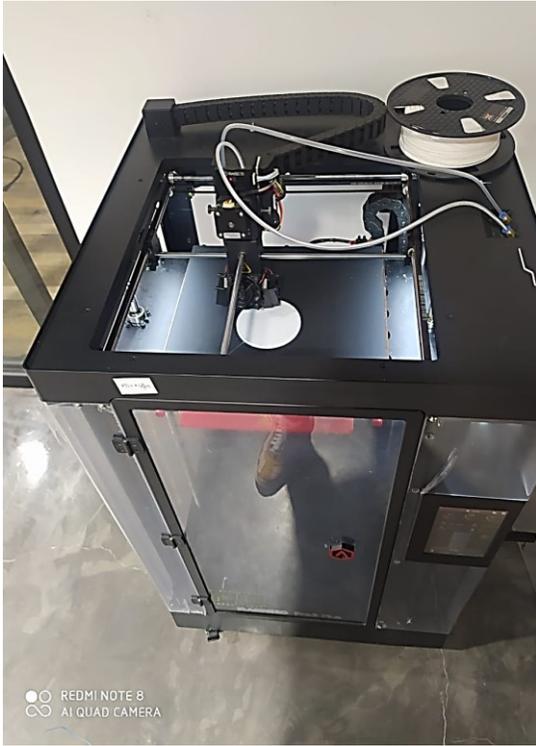


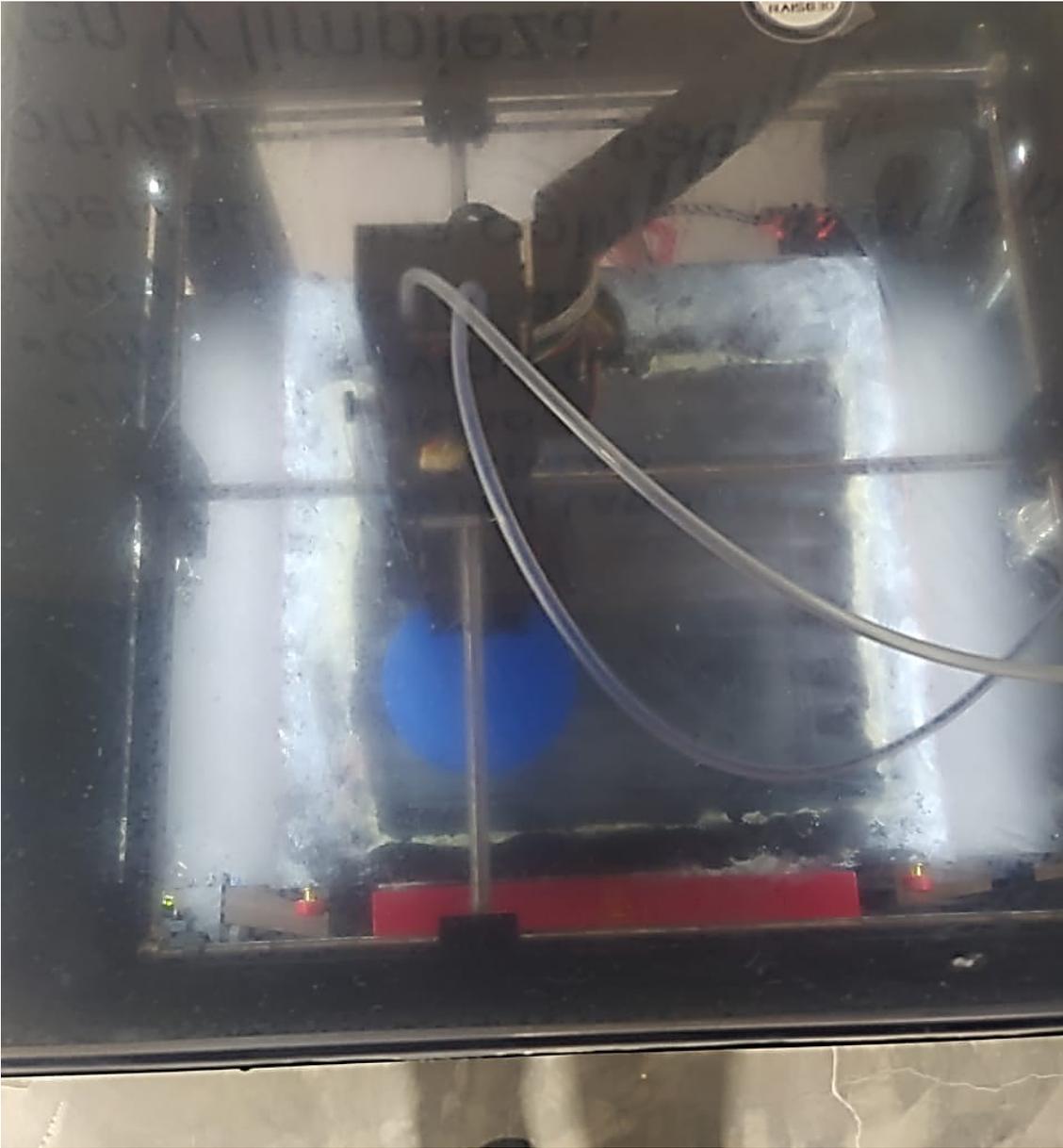


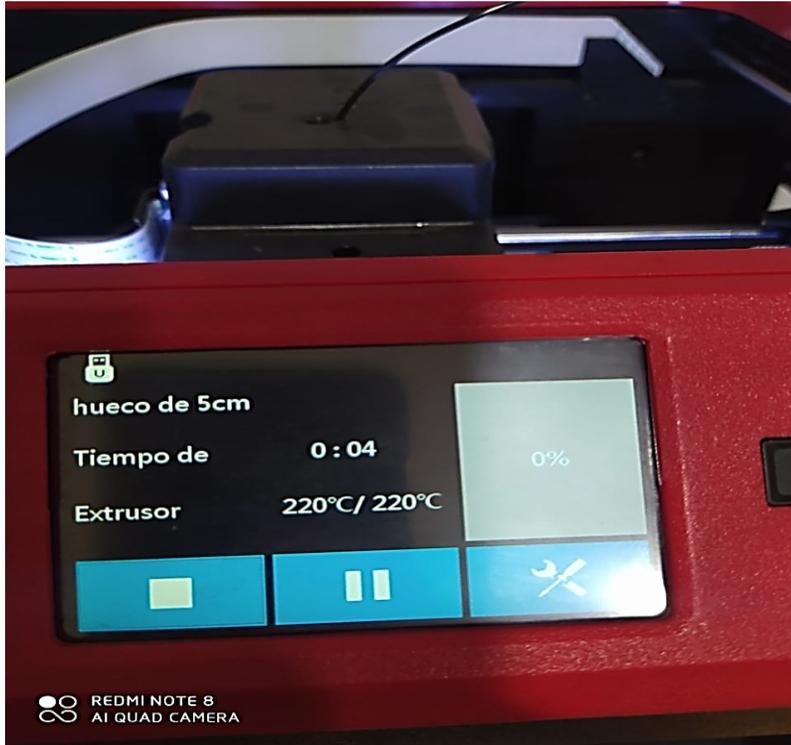
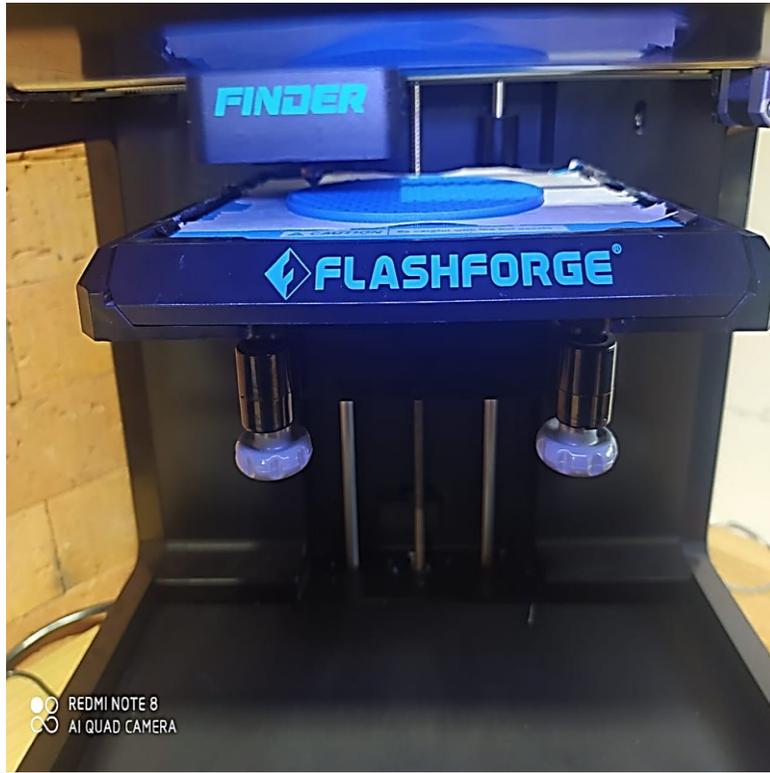


ANEXO B
IMÁGENES DE IMPRESIÓN DE PROBETAS









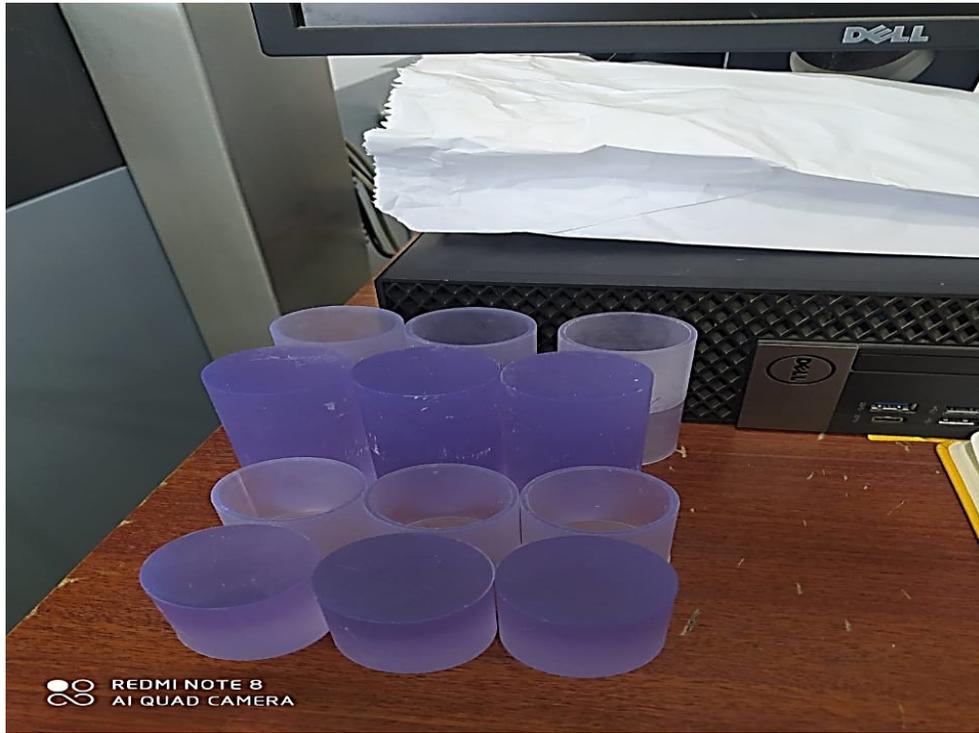
ANEXO C

FOTOGRAFÍAS DEL ANTES Y DESPUÉS DE HABER REALIZADO LAS PRUEBAS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN















ANEXO D

Tablas de homocedasticidad por alturas y presencia o falta de cavidad en probetas.

		Prueba de homogeneidad llenas de 12 cm			
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Carga Máx. kg	Se basa en la media	11,869	5	12	0,000
	Se basa en la mediana	1,516	5	12	0,257
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1,516	5	2,046	0,440
	Se basa en la media recortada	10,206	5	12	0,001

		Prueba de homogeneidad llenas de 5cm			
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Carga Máx. kg	Se basa en la media	3,933	5	12	0,024
	Se basa en la mediana	1,003	5	12	0,457
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1,003	5	5,512	0,493
	Se basa en la media recortada	3,626	5	12	0,031

Prueba de homogeneidad llenas de 20 cm

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Carga Máx. kg	Se basa en la media	1,603	2	6	0,277
	Se basa en la mediana	0,270	2	6	0,772
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,270	2	4,442	0,775
	Se basa en la media recortada	1,430	2	6	0,311

Prueba de homogeneidad con cavidad de 5 cm

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Carga Máx. kg	Se basa en la media	5,803	5	12	0,006
	Se basa en la mediana	0,657	5	12	0,662
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,657	5	2,688	0,686
	Se basa en la media recortada	5,029	5	12	0,010

Prueba de homogeneidad con cavidad de 20 cm

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Carga Máx. kg	Se basa en la media	3,082	3	8	0,090
	Se basa en la mediana	1,065	3	8	0,416
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1,065	3	5,104	0,441
	Se basa en la media recortada	2,901	3	8	0,102

Prueba de homogeneidad de planchas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Carga Máx. kg	Se basa en la media	2,472	2	6	0,165
	Se basa en la mediana	0,793	2	6	0,495
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,793	2	4,017	0,513
	Se basa en la media recortada	2,310	2	6	0,180

Prueba de homogeneidad con cavidad de 12 cm

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Carga Máx. kg	Se basa en la media	2,640	5	12	0,078
	Se basa en la mediana	0,628	5	12	0,682
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,628	5	5,080	0,689
	Se basa en la media recortada	2,424	5	12	0,097

ANEXO E
PRUEBAS POST HOC

Comparaciones múltiples^a

Variable dependiente:	Carga Máx. kg							
(I) Material			Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
						Límite inferior	Límite superior	
HSD Tukey	ABS	Fibra C.	-58,06000	89,97217	0,802	-	217,9993334,1193	
		Pla	-	89,97217	0,000	-	-	
			821,27667*	7	-	1097,3360	545,2174	
	Fibra C.	ABS	58,06000	89,97217	0,802	-	-	334,1193217,9993
		Pla	-	89,97217	0,000	-	-	
			763,21667*	7	-	1039,2760	487,1574	
	Pla	ABS	821,27667*	89,97217	0,000	545,2174	-	1097,3360
		Fibra C.	763,21667*	89,97217	0,000	487,1574	-	1039,2760

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

a. Tamaño en cm = Planchas, Cavidad = Planchas

Comparaciones múltiples a

Variable dependiente: Carga Máx. kg

(I) Material		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
HSD Tukey	ABS	Fibra C.	-3597,25667*	260,12974	0,000	-4471,0119	-2723,5015
		Pla	-6004,54333*	260,12974	0,000	-6878,2985	-5130,7881
		Resina BIO	-2231,04667*	260,12974	0,000	-3104,8019	-1357,2915
		Resina Común	-8190,74333*	260,12974	0,000	-9064,4985	-7316,9881
		TPU	1707,31667*	260,12974	0,000	833,5615	2581,0719
	Fibra C.	ABS	3597,25667*	260,12974	0,000	2723,5015	4471,0119
		Pla	-2407,28667*	260,12974	0,000	-3281,0419	-1533,5315
		Resina BIO	1366,21000*	260,12974	0,002	492,4548	2239,9652
		Resina Común	-4593,48667*	260,12974	0,000	-5467,2419	-3719,7315
		TPU	5304,57333*	260,12974	0,000	4430,8181	6178,3285
Pla	ABS	6004,54333*	260,12974	0,000	5130,7881	6878,2985	
	Fibra C.	2407,28667*	260,12974	0,000	1533,5315	3281,0419	
	Resina BIO	3773,49667*	260,12974	0,000	2899,7415	4647,2519	
	Resina Común	-2186,20000*	260,12974	0,000	-3059,9552	-1312,4448	
	TPU	7711,86000*	260,12974	0,000	6838,1048	8585,6152	
Resina BIO	ABS	2231,04667*	260,12974	0,000	1357,2915	3104,8019	
	Fibra C.	-1366,21000*	260,12974	0,002	-2239,9652	-492,4548	
	Pla	-3773,49667*	260,12974	0,000	-4647,2519	-2899,7415	

	Resina Común	- 5959,69667*	260,12974	0,000	-6833,4519	-5085,9415
	TPU	3938,36333*	260,12974	0,000	3064,6081	4812,1185
Resina Común	ABS	8190,74333*	260,12974	0,000	7316,9881	9064,4985
	Fibra C.	4593,48667*	260,12974	0,000	3719,7315	5467,2419
	Pla	2186,20000*	260,12974	0,000	1312,4448	3059,9552
	Resina BIO	5959,69667*	260,12974	0,000	5085,9415	6833,4519
	TPU	9898,06000*	260,12974	0,000	9024,3048	10771,8152
TPU	ABS	- 1707,31667*	260,12974	0,000	-2581,0719	-833,5615
	Fibra C.	- 5304,57333*	260,12974	0,000	-6178,3285	-4430,8181
	Pla	- 7711,86000*	260,12974	0,000	-8585,6152	-6838,1048
	Resina BIO	- 3938,36333*	260,12974	0,000	-4812,1185	-3064,6081
	Resina Común	- 9898,06000*	260,12974	0,000	-	-9024,3048
					10771,8152	

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

a. Tamaño en cm = 5 cm, Cavidad = Llenas

Comparaciones múltiples ^a							
Variable dependiente:	Carga Máx. kg						
(I) Material			Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	ABS	Fibra C.	-585,26000*	170,93664	0,045	-1159,4226	-11,0974
		Pla	-968,52667*	170,93664	0,001	-1542,6893	-394,3640
		Resina BIO	6,34667	170,93664	1,000	-567,8160	580,5093
		Resina Común	-484,53667	170,93664	0,118	-1058,6993	89,6260
		TPU	1079,50000*	170,93664	0,000	505,3374	1653,6626
Fibra C.	ABS	585,26000*	170,93664	0,045	11,0974	1159,4226	
	Pla	-383,26667	170,93664	0,288	-957,4293	190,8960	
	Resina BIO	591,60667*	170,93664	0,042	17,4440	1165,7693	
	Resina Común	100,72333	170,93664	0,990	-473,4393	674,8860	
	TPU	1664,76000*	170,93664	0,000	1090,5974	2238,9226	
Pla	ABS	968,52667*	170,93664	0,001	394,3640	1542,6893	
	Fibra C.	383,26667	170,93664	0,288	-190,8960	957,4293	
	Resina BIO	974,87333*	170,93664	0,001	400,7107	1549,0360	
	Resina Común	483,99000	170,93664	0,119	-90,1726	1058,1526	
	TPU	2048,02667*	170,93664	0,000	1473,8640	2622,1893	
Resina BIO	ABS	-6,34667	170,93664	1,000	-580,5093	567,8160	
	Fibra C.	-591,60667*	170,93664	0,042	-1165,7693	-17,4440	
	Pla	-974,87333*	170,93664	0,001	-1549,0360	-400,7107	
	Resina Común	-490,88333	170,93664	0,111	-1065,0460	83,2793	
	TPU	1073,15333*	170,93664	0,000	498,9907	1647,3160	

Resina Común	ABS	484,53667	170,93664	0,118	-89,6260	1058,6993	
	Fibra C.	-100,72333	170,93664	0,990	-674,8860	473,4393	
	Pla	-483,99000	170,93664	0,119	-	90,1726	
					1058,1526		
	Resina BIO	490,88333	170,93664	0,111	-83,2793	1065,0460	
	TPU	1564,03667*	170,93664	0,000	989,8740	2138,1993	
TPU	ABS	-1079,50000*	170,93664	0,000	-	-505,3374	
						1653,6626	
	Fibra C.	-1664,76000*	170,93664	0,000	-	-	
					2238,9226	1090,5974	
	Pla	-2048,02667*	170,93664	0,000	-	-	
					2622,1893	1473,8640	
	Resina BIO	-1073,15333*	170,93664	0,000	-	-498,9907	
					1647,3160		
	Resina Común	-1564,03667*	170,93664	0,000	-	-989,8740	
					2138,1993		

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

a. Tamaño en cm = 5 cm, Cavidad = Vacías

Comparaciones múltiples^a

Variable dependiente:		Carga						
		Máx.						
		kg						
(I) Material				Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
							Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	ABS	Fibra C.	-3017,54333	1420,84742	0,338	-7790,0574	1754,9707	
		Pla	-4095,47667	1420,84742	0,110	-8867,9907	677,0374	
		Resina BIO	-2378,77000	1420,84742	0,571	-7151,2841	2393,7441	
		Resina Común	-	1420,84742	0,001	-	-3419,8026	
		TPU	8192,31667*	1420,84742		12964,8307		
Fibra C.	ABS	Fibra C.	3017,54333	1420,84742	0,338	-1754,9707	7790,0574	
		Pla	-1077,93333	1420,84742	0,970	-5850,4474	3694,5807	
		Resina BIO	638,77333	1420,84742	0,997	-4133,7407	5411,2874	
		Resina Común	-	1420,84742	0,031	-9947,2874	-402,2593	
		TPU	5174,77333*	1420,84742				
Pla	ABS	TPU	4787,51000*	1420,84742	0,049	14,9959	9560,0241	
		Pla	4095,47667	1420,84742	0,110	-677,0374	8867,9907	
		Fibra C.	1077,93333	1420,84742	0,970	-3694,5807	5850,4474	
		Resina BIO	1716,70667	1420,84742	0,825	-3055,8074	6489,2207	
		Resina Común	-4096,84000	1420,84742	0,109	-8869,3541	675,6741	
Resina BIO	ABS	TPU	5865,44333*	1420,84742	0,014	1092,9293	10637,9574	
		ABS	2378,77000	1420,84742	0,571	-2393,7441	7151,2841	
		Fibra C.	-638,77333	1420,84742	0,997	-5411,2874	4133,7407	
		Pla	-1716,70667	1420,84742	0,825	-6489,2207	3055,8074	
		Resina Común	-	1420,84742	0,015	-	-1041,0326	
			5813,54667*			10586,0607		

	TPU	4148,73667	1420,84742	0,103	-623,7774	8921,2507
Resina Común	ABS	8192,31667*	1420,84742	0,001	3419,8026	12964,8307
	Fibra C.	5174,77333*	1420,84742	0,031	402,2593	9947,2874
	Pla	4096,84000	1420,84742	0,109	-675,6741	8869,3541
	Resina BIO	5813,54667*	1420,84742	0,015	1041,0326	10586,0607
	TPU	9962,28333*	1420,84742	0,000	5189,7693	14734,7974
TPU	ABS	-1769,96667	1420,84742	0,807	-6542,4807	3002,5474
	Fibra C.	- 4787,51000*	1420,84742	0,049	-9560,0241	-14,9959
	Pla	- 5865,44333*	1420,84742	0,014	- 10637,9574	-1092,9293
	Resina BIO	-4148,73667	1420,84742	0,103	-8921,2507	623,7774
	Resina Común	- 9962,28333*	1420,84742	0,000	- 14734,7974	-5189,7693

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

a. Tamaño en cm = 12 cm, Cavidad = Llenas

Comparaciones múltiples^a

Variable dependiente: Carga Máx. kg

(I) Material		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
HSD Tukey	ABS	Fibra C.	-255,41000	129,81253	0,412	-691,4400	180,6200
		Pla	-	129,81253	0,000	-	-878,6133
			1314,64333*			1750,6733	
		Resina BIO	-76,73333	129,81253	0,990	-512,7633	359,2967
		Resina Común	-614,57000*	129,81253	0,005	-	-178,5400
					1050,6000		
		TPU	1035,33667*	129,81253	0,000	599,3067	1471,3667
	Fibra C.	ABS	255,41000	129,81253	0,412	-180,6200	691,4400
		Pla	-	129,81253	0,000	-	-623,2033
			1059,23333*			1495,2633	
		Resina BIO	178,67667	129,81253	0,740	-257,3533	614,7067
		Resina Común	-359,16000	129,81253	0,132	-795,1900	76,8700
		TPU	1290,74667*	129,81253	0,000	854,7167	1726,7767
	Pla	ABS	1314,64333*	129,81253	0,000	878,6133	1750,6733
		Fibra C.	1059,23333*	129,81253	0,000	623,2033	1495,2633
Resina BIO		1237,91000*	129,81253	0,000	801,8800	1673,9400	
Resina Común		700,07333*	129,81253	0,002	264,0433	1136,1033	
TPU		2349,98000*	129,81253	0,000	1913,9500	2786,0100	
Resina BIO	ABS	76,73333	129,81253	0,990	-359,2967	512,7633	
	Fibra C.	-178,67667	129,81253	0,740	-614,7067	257,3533	
	Pla	-	129,81253	0,000	-	-801,8800	
		1237,91000*			1673,9400		
	Resina Común	-537,83667*	129,81253	0,013	-973,8667	-101,8067	

	TPU	1112,07000*	129,81253	0,000	676,0400	1548,1000
Resina Común	ABS	614,57000*	129,81253	0,005	178,5400	1050,6000
	Fibra C.	359,16000	129,81253	0,132	-76,8700	795,1900
	Pla	-700,07333*	129,81253	0,002	-	-264,0433
					1136,1033	
	Resina BIO	537,83667*	129,81253	0,013	101,8067	973,8667
	TPU	1649,90667*	129,81253	0,000	1213,8767	2085,9367
TPU	ABS	-	129,81253	0,000	-	-599,3067
		1035,33667*			1471,3667	
	Fibra C.	-	129,81253	0,000	-	-854,7167
		1290,74667*			1726,7767	
	Pla	-	129,81253	0,000	-	-
		2349,98000*			2786,0100	1913,9500
	Resina BIO	-	129,81253	0,000	-	-676,0400
		1112,07000*			1548,1000	
	Resina Común	-	129,81253	0,000	-	-
		1649,90667*			2085,9367	1213,8767

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

a. Tamaño en cm = 12 cm, Cavidad = Vacías

Comparaciones múltiples^a

Variable dependiente: Carga Máx. kg							
(I) Material			Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	ABS	Fibra C.	- 2375,03667*	120,53510	0,000	- 2744,8714	- 2005,2019
		Pla	- 2704,32667*	120,53510	0,000	- 3074,1614	- 2334,4919
	Fibra C.	ABS	2375,03667*	120,53510	0,000	2005,2019	2744,8714
		Pla	-329,29000	120,53510	0,076	-699,1248	40,5448
	Pla	ABS	2704,32667*	120,53510	0,000	2334,4919	3074,1614
		Fibra C.	329,29000	120,53510	0,076	-40,5448	699,1248

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

a. Tamaño en cm = 20 cm, Cavidad = Llenas

Comparaciones múltiples^a

Variable dependiente:		Carga						
		a						
		Máx.						
		kg						
(I) Material			Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
						Límite inferior	Límite superior	
HSD Tukey	ABS	Fibra	-	73,3655	0,00	-	-	
		C.	576,02333*	3	0	810,9656	341,0811	
		Pla	-	73,3655	0,00	-	-	
				451,64667*	3	1	686,5889	216,7044
		TPU	1104,37333*	73,3655	0,00	869,4311	1339,3156	
	Fibra C.	ABS	576,02333*	73,3655	0,00	341,0811	810,9656	
		Pla	124,37667	73,3655	0,38	-	359,3189	
		TPU	1680,39667*	73,3655	0,00	1445,4544	1915,3389	
	Pla	ABS	451,64667*	73,3655	0,00	216,7044	686,5889	
		Fibra C.	-124,37667	73,3655	0,38	-	110,5656	
		TPU	1556,02000*	73,3655	0,00	1321,0778	1790,9622	
	TPU	ABS	-	73,3655	0,00	-	-	
Fibra C.		1104,37333*	73,3655	0,00	1339,3156	869,4311		
Pla		-	73,3655	0,00	-	-		
			1680,39667*	3	0	1915,3389	1445,4544	
			1556,02000*	3	0	1790,9622	1321,0778	

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

a. Tamaño en cm = 20 cm, Cavidad = Vacías

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Joseline Lisseth Astudillo Toral** portador de la cédula de ciudadanía N.º **0150392967**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **"Análisis de los materiales utilizados en impresión 3D. Caso de estudio FabLab Universidad Católica de Cuenca"** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 14 de octubre de 2021

F: 

Joseline Lisseth Astudillo Toral

0150392967

www.ucacue.edu.ec