



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

“ANÁLISIS DE DEFECTOLOGÍA EN PROCESOS DE MANUFACTURA ADITIVA
FDM Y SOLUCIONES PARA IMPRESIÓN DE MATERIALES ABS, PLA, PVA,
TPU”

Realizado por:

CHRISTIAN DAVID PALACIOS HERRERA

Director del proyecto:

ING. JAIME MOLINA OSEJO, M.Sc.

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN DISEÑO INDUSTRIAL Y PROCESOS

QUITO, ENERO del 2023

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Christian David Palacios Herrera, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 171875964-8, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.

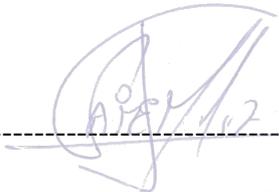


Christian David Palacios Herrera

C.I.: 171875964-8

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.



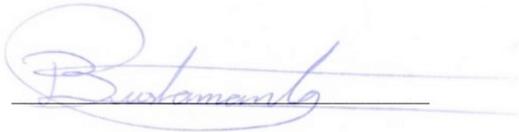
Jaime Vinicio Molina Osejos, Msc

LOS PROFESORES INFORMANTES:

M.Sc. Diego F. Bustamante V. Ing.

Edilberto Antonio Llanes Cedeño, PhD

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa
oral ante el tribunal examinador.



M.Sc. Diego F. Bustamante V. Ing.



Edilberto Antonio Llanes Cedeño, PhD

Quito, 10 de ENERO de 2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.



Christian David Palacios Herrera

C.I.: 171875964-8

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Internacional SEK por abrirme las puertas, para poder alcanzar una de las metas propuestas a nivel personal y por permitirme seguir creciendo no solo a nivel académico sino también como persona.

A los docentes que formaron parte de este proceso de aprendizaje puesto que supieron guiar y encaminar todas y cada una de las clases dictadas, y así de esta manera poder formar unos verdaderos profesionales, pero en especial a Jaime Molina coordinador de la carrera, quien me permitió formar parte de su equipo para el desarrollo del presente trabajo.

A PRINTOPAC y todo su equipo de trabajo que me brindaron el apoyo necesario para poder formar parte de este proceso académico.

A mis compañeros de clase que son grandes profesionales con quienes se logró intercambiar ideas dentro y fuera de las aulas para poder solventar dudas e intercambiar conocimientos

DEDICATORIA

A mi familia que fueron quienes confiaron en mí y me brindaron el apoyo moral para poder culminar con éxito todo el proceso académico.

A mi madre por siempre estar al pendiente de cada etapa de mi vida y dándome todo ese apoyo incondicional que solo ella sabe brindarme.

A mis compañeros de clase que ahora son grandes amigos por ser parte fundamental durante el desarrollo de todas las actividades realizadas.

A mis abuelitos que desde el cielo sé que se sentirán orgullosos por la meta cumplida

A mis amigos de trabajo que día a día me empujaron para seguir y salir adelante con este proceso y además fueron guía fundamental para el desarrollo del presente trabajo.

Índice de Contenido

DECLARACIÓN JURAMENTADA	2
DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS	3
DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE	5
AGRADECIMIENTO	6
DEDICATORIA	7
Índice de Contenido	8
Índice de Figuras	12
Índice de Tablas	15
RESUMEN	16
ABSTRAC	17
CAPÍTULO I	18
Introducción	18
Planteamiento del Problema	21
Justificación	22
Hipótesis	26
Objetivo General	26
Objetivos Específicos.	26
Estado del Arte	27
Relleno	34
Boquillas 3D	35

CAPITULO II	37
Metodología	37
Ciclo de Deming Aplicado al Proceso de Manufactura Aditiva FDM	41
Equipos.	42
Materiales	45
• Ácido Polilactico o PLA :	45
• Poliuretano Termoplástico o TPU	46
• Acrilonitrilo Butadieno Estireno o ABS	47
• Acetato de Polivinilo o PVA	49
Proceso general de impresión 3D	50
Ambiente de Visualización	50
Ajuste de Pared Preliminar	51
• Ajuste de Pared PLA	53
• Ajuste de Pared ABS	54
• Ajuste de Capa TPU	54
• Ajuste de Capa PVA	55
Calidad de Impresión Preliminar	56
Desarrollo experimental.	59
Test PLA – TPU – ABS - PVA	63
Patrones de Relleno	65
Parametrización de Probetas	67

Calibración de Velocidades:	68
Velocidad según dimensión	68
Velocidad según Material	70
Mallado Interno	70
CAPITULO III	72
Resultados	72
Análisis de Adherencia.	82
Adherencia PLA.	82
Adherencia ABS.	85
Adherencia TPU	88
Adherencia PVA	91
Análisis de Resultados	93
Análisis de Resultados PLA:	96
Análisis De Resultados ABS:	99
Análisis de Resultados TPU	103
Análisis PVA	106
CAPITULO IV	110
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
RECOMENDACIONES	112
Bibliografía	114
ANEXOS	117

ANEXO 1 PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACIÓN	118
IMPRESIÓN PIEZAS POR METODO FDM	118
ANEXO 2 FICHA TECNICA DEL ABS	122
ANEXO 3 FICHA TECNICA PLA	125
ANEXO 4 FICHA TECNICA PVA	128
ANEXO 5 FICHA TECNICA TPU	129
ANEXO 6 GUIA DE USUARIO ENDER-3 PRO SERIES 3D PRINTER	132
ANEXO 7 TABLAS DE RESULTADOS Y COMPORTAMIENTO ESTADISTICO DE CADA MATERIAL.	138

Índice de Figuras

Figura 1 Prototipo de la impresora SLA-1 de 3D Systems. Fuente: Sculpteo.....	18
Figura 2 Funcionamiento del Proceso de Manufactura Aditiva	19
Figura 3 Etapas de laminación del Proceso FMD.....	20
Figura 4 Evaluación de costos del Proceso de Manufactura Aditiva FDM.....	25
Figura 5 Impresión 3D de la pared de una casa (Sarah Romero, 2022)	28
Figura 6 Etapas de creación y montaje de prótesis facial (Rodrigo Salazar-Gamarra, 2016) .	29
Figura 7 comportamiento de los polímeros según la trayectoria de la Temperatura de Transición Vítrea	33
Figura 8 Diagrama de Causa y efecto del Proceso FDM.....	37
Figura 9 Pirámide de Aprendizaje de Edgar Dale (Rodríguez D. T., 2021).....	40
Figura 10 Ciclo PHVA aplicado al proceso de FDM	41
Figura 11 ENDER 3PRO con extrusor tipo BOWDEN	42
Figura 12 Calibrador Pie de Rey Digital.....	44
Figura 13 Microscopio AMSCOPE.....	44
Figura 14 Filamento PLA	46
Figura 15 Filamento TPU	47
Figura 16 Filamento ABS	48
Figura 17 Filamento PVA.....	49
Figura 18 Secuencia de trabajo FDM	50
Figura 19 Ambiente de laminación.....	51
Figura 20 Calibración de capa y flujo de material	52
Figura 21 Parámetros de temperatura	53
Figura 22 Medición pared PLA flujo al 100%	53
Figura 23 Medición pared ABS flujo al 100%	54

Figura 24 Medición pared TPU flujo al 100%.....	55
Figura 25 Medición pared PVA flujo al 100%	56
Figura 26 Parametrización de altura de capas.....	57
Figura 27 Resolución del equipo	58
Figura 28 Relleno de impresion tipo Triangulos	59
Figura 29 Figura 19 Prototipos para análisis PLA.....	60
Figura 30 Prototipos para análisis ABS	61
Figura 31 Prototipos para análisis TPU	62
Figura 32 Prototipos para análisis PVA.....	62
Figura 33 Figura Test de temperatura para procesos FDM	63
Figura 34 Relleno LINEAS	66
Figura 35 Parametrizacion del G-CODE	67
Figura 36 Problemas relacionados con velocidades	69
Figura 37 problema velocidad muy baja.....	69
Figura 38 Impresión en TPU con velocidad baja.....	70
Figura 39 Impresión de probetas con relleno al 100%	71
Figura 40 Resultado flujo PLA	72
Figura 41 Control de Comportamiento PLA	74
Figura 42 Histograma del comportamiento del PLA	74
Figura 43 Resultado Flujo ABS	75
Figura 44 Control de Comportamiento ABS	76
Figura 45 Histograma del comportamiento del ABS.....	76
Figura 46 Resultado Flujo TPU	77
Figura 47 Control de Comportamiento de TPU.....	78
Figura 48 Histograma del comportamiento del TPU.....	79

Figura 49 Resultado Flujo PVA.....	79
Figura 50 Control de Comportamiento	81
Figura 51 Histograma del comportamiento del PVA	81
Figura 52 Impresión PLA con mala adherencia	83
Figura 53 Prototipos iniciales con fallas visuales	94
Figura 54 Probetas para validación de resultados PLA de 205°C a 220°C	96
Figura 55 Contornos complejos	99
Figura 56 Probetas para validación de resultados ABS de 260°C a 270°C.....	100
Figura 57 Contornos complejos ABS	103
Figura 58 Impresión con TPU bajo condiciones inadecuadas de trabajo	104
Figura 59 Probetas para validación de resultados TPU de 230°C a 240°C	104
Figura 60 Objeto con defectos relacionados con la adherencia.....	107

Índice de Tablas

Tabla 1 Tipos de patrones de relleno	34
Tabla 2 Condiciones de trabajo según fabricante y modificaciones.....	49
Tabla 3 Espesor de capa, calidad de impresión y tiempo de impresión	57
Tabla 4 Test de temperatura obtenidos	64
Tabla 5 Velocidad de impresión según material.....	68
Tabla 6 Medidas básicas de los cubos en PLA	73
Tabla 7 Medidas básicas de los cubos en ABS.....	75
Tabla 8 Medidas básicas de los cubos en TPU	77
Tabla 9 Medidas básicas de los cubos en PVA.....	80
Tabla 10 Resultados de Flujo.....	81
Tabla 11 Resultados PLA	84
Tabla 12 Resultados ABS	87
Tabla 13 Resultados TPU	89
Tabla 14 Resultados PVA.....	92
Tabla 15 Evaluación de dificultad según materiales.....	94
Tabla 16 Validación de resultados PLA al 100% de relleno	97
Tabla 17 Tabla 5 Evaluación de Temperaturas PLA	97
Tabla 18 Validación de resultados ABS al 100% de relleno	101
Tabla 19 Caracterización de Temperaturas ABS.....	102
Tabla 20 Validación de resultados TPU al 100% de relleno	105
Tabla 21 Evaluación de Temperaturas TPU	106
Tabla 22 Evaluación de Temperaturas PVA.....	107
Tabla 23 Remoción de material de soporte PVA.....	109
Tabla 24 Resumen comparativo de Resultados	109

RESUMEN

Este trabajo pretende, a través del análisis de defectos y de su relación con las variables de proceso FDM, establecer un método de trabajo en la industria para mejorar prototipos que aporten al crecimiento de la misma mediante esta técnica. El análisis se hace mediante la fabricación de prototipos bajo parámetros controlados de velocidad y temperatura con los siguientes materiales: ABS, PLA, PVA y TPU por las características y ventajas que presentan estos materiales para el proceso FDM y la industria relacionada. El proceso de manufactura aditiva FDM y las configuraciones referentes a calibración de paredes, flujo y velocidad de impresión para cada material con base en las recomendaciones de los proveedores clasificando el rango de temperatura y velocidad mas adecuado según los requerimientos de cada material y objeto. Se establecen patrones de relleno y de mallado interno para asegurar buenas mediciones en las piezas elaboradas. Las mediciones se realizan utilizando como equipos un calibrador pie de rey digital y el análisis físico a través de la observación con un microscopio electrónico de barrido para observar la adherencia entre capas de materiales. Los resultados obtenidos presentan clasificación en velocidad y temperatura adecuada para cada material y condiciones específicas Adicional se presentan las necesidades de uso de aditamentos, soportes externos o metodologías para lograr piezas compactas. La experimentación realizada en este trabajo, permitió establecer como metodología para la industria un procedimiento estándar de operación SOP, donde se describen los pasos necesarios junto con los riesgos de cada etapa.

***Palabras Clave:** adherencia, FDM, calibración, temperatura, velocidad, SOP.*

ABSTRAC

The aim of this Project is analyzing the defacts and their relation with process FDM variables, get improcements in the process. On the other hand its possible to stablish a work metodology in the industry, at the same time we could improve prototypes to increase its evolution this analysis is done by many prototypes under controlled parameters of speed and temperatura with the following materials: ABS, PLA, PVA and TPU due to their features and all the advantages that they usually present in the process FDM. We describe the process of the additive manufacturing FDM and the respective settings about the calibration of the walls, flow and printing speed for each material based on the recommendation providers classifying the range of temperature and speed according to the requirements of each material and object. Get fill patterns and mesh ares set to make sure the measurements in the elaborated piece we use a digital vernier caliper and a sweep electronic microscope with a good resolution to check the adhesión between layers of materials the obtained The results presents classification about speed and temperatura for each material and with specific conditions Addition we need adjunts, external supports or methologies to get compact parts. This experiment coud stablish as a methodology for the industry a standard operating process SOP where we describe the steps of each stage.

Key words: *adherence, FDM, calibration, temperatura, speed, SOP.*

CAPÍTULO I

Introducción

El proceso de manufactura aditiva nace aproximadamente en los años 1980 por medio de Charles W. Hull quien realiza la primera pieza impresa en 3D mediante un proceso conocido como estereolitografía, en la Figura 1 se puede observar unos de los primeros prototipos para realizar impresión 3D.

Figura 1

Prototipo de la impresora SLA-1 de 3D Systems. Fuente: Sculpteo



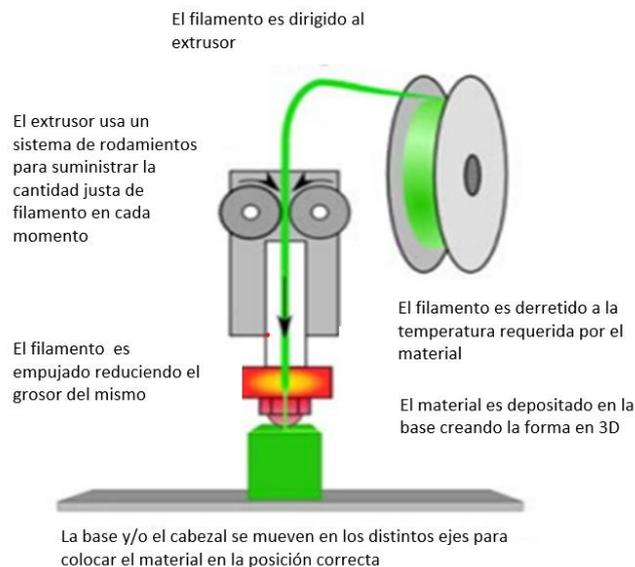
Nota: La Figura 1 muestra una de las primeras impresoras en 3D bajo el principio de estereolitografía proceso con el cual se imprime capa a capa hasta reproducir el objeto que se desea realizar (López, 2019)

Desde entonces el proceso de manufactura aditiva se ha visto en una evolución constante ya que se han desarrollado materiales con los cuales se puede interactuar al momento de realizar los prototipos, además los ambientes de trabajo son más amigables con el usuario entre ellos los programas de laminación que consisten en transformar el objeto a imprimir en un conjunto de capas consecutivas para poder crear un prototipo, pieza o figura basándonos en un código G, finalmente las impresoras 3D no son ajenas a esta evolución ya que en el mercado actual se encuentran desde impresoras de uso didáctico hasta impresoras de uso industrial.

El proceso de manufactura aditiva consiste en crear o fabricar objetos en 3 dimensiones mediante la adición de material en diversas capas y de manera sucesiva partiendo de un modelo digital. La Manufactura Aditiva radica su proceso en llegar o exceder el punto de fusión de la materia prima mediante el calentamiento del extrusor por donde pasara el filamento del material para que pueda adherirse capa por capa acorde al proceso de adición como se puede observar en la Figura 2 donde además se visualizan las partes de la impresora 3D, mientras que en la Figura 3 donde se observa las etapas de laminación del objeto dentro del proceso FDM, donde se puede observar cómo se generan los objetos mediante la deposición de material fundido capa a capa

Figura 2

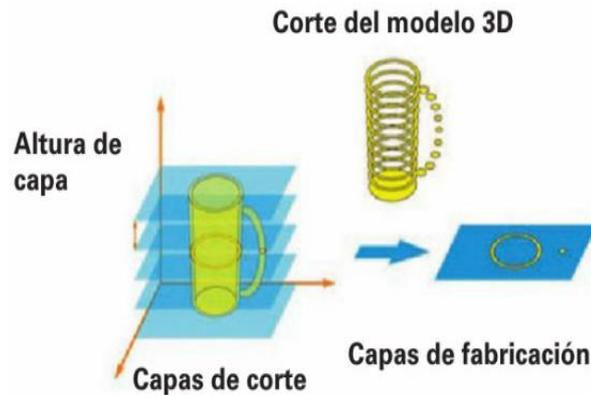
Funcionamiento del Proceso de Manufactura Aditiva



Nota: en la Figura 2 se puede observar el proceso de manufactura aditiva desde la alimentación del filamento hasta la dosificación de material sobre la cama o base de impresión (joelfrax, 2015)

Figura 3

Etapas de laminación del Proceso FMD



Nota: La Figura 3 muestra a detalle cómo se realiza la impresión de los prototipos capa a capa hasta llegar a la creación del prototipo que se requiere llegar (Calzado & Galán, 2013)

En Ecuador el proceso de manufactura aditiva se encuentra en auge, incluso existen empresas que prestan servicios de impresión para diversos sectores productivos y en el ámbito académico se encuentra la fabricación de prototipos de estudio como partes del cuerpo humano o prototipos relacionados con el sector productivo antes de la puesta en marcha de proyectos que requieren inversiones altas, para pasar por un proceso evaluatorio de funcionalidad o validación de geometrías.

En función a los prototipos que se generan dentro del proceso de manufactura aditiva se han evidenciado problemas referentes a la calibración de variables tanto del equipo físico (ambientes controlados, nivelaciones y estado general del equipo), como variables programables en software de acuerdo a las características físicas dimensionales de los prototipos que se desean fabricar (velocidad de impresión, temperatura del extrusor, temperatura de la cama de impresión, flujo del material según el tipo de material), todas estas variables mencionadas podrían llegar a verse parametrizadas con la finalidad de reducir al mínimo los defectos que presenta el

proceso de manufactura aditiva o con un menor impacto final, por una correcta configuración inicial de estos parámetros y la revisión correcta de los insumos a utilizar.

El presente trabajo tendrá como primer punto el análisis de defectos y su relación con las variables de proceso (velocidad y temperatura) para enlistar y detallar los defectos presentados durante la manufactura aditiva y determinar cuáles son las posibles causas de los defectos.

Este trabajo tiene como enfoque desarrollar y proponer mejoras en el proceso de manufactura aditiva al utilizar materiales como ABS, PLA, PVA, TPU, de tal manera que se puedan establecer métodos de trabajo para ser utilizados de manera local y global en la industria con la finalidad de mejorar los prototipos de análisis que a diario se fabrican.

Planteamiento del Problema

Dentro de las técnicas de manufactura aditiva, el proceso de manufactura FMD tiene puntos críticos dentro del desarrollo y durante la obtención de los objetos a fabricarse, entre los cuales se destacan:

- Rugosidad Superficial
- Mala adherencia entre capas
- Tonalidades de materiales cambiantes

La Manufactura aditiva tiene ventajas al realizar el prototipado de ciertos objetos, los cuales pueden verse reflejados en gastos no generados por compra de moldes o matrices e inyectoras por dar como ejemplo el proceso de inyección, como se puede observar en la figura 4 donde se puede ver una evaluación de los costos de manufactura frente a otros procesos, sin embargo, el proceso FMD se puede verse

afectado al realizar una fabricación de objetos a gran escala puesto que procesos como el de inyección pueden durar tan solo 5 segundos según los equipos que se dispongan por cada pieza a comparación de la manufactura aditiva que tiende a ser más demorosa, eh incluso del ser el caso por malas calibraciones o regulaciones el objeto puede terminar siendo dado de baja por no poder cumplir con las especificaciones requeridas y esto generaría una perdida tanto en el producto final como en los costos generados por una mala impresión gastando insumos y recursos relacionados con tiempo, energía y vida útil del equipo.

Por otra parte, la optimización de recursos tangibles e intangibles en el proceso de manufactura aditiva llega a ser muy relevante, tomando en cuenta el tiempo involucrado en el proceso, ya que este depende en gran medida del tamaño de pieza que se desee fabricar y además del uso que se llegue a dar debido a que de esto también dependerá el porcentaje de relleno que se aplique al objeto y a su vez estará directamente relacionado con tiempos de creación del objeto.

Justificación

La manufactura aditiva nace ante los crecientes avances tecnológicos en el mundo y debido a la rapidez, flexibilidad y adaptación para la creación de prototipos y objetos personalizados. Mediante el uso de esta tecnología también se puede llegar a desarrollar prototipos no solo de piezas, sino también ensambles completos, y estos a su vez por temas didácticos y de aprendizaje deben cumplir requisitos de funcionalidad y operancia para un desempeño óptimo durante su funcionamiento o ensayo. Por tal motivo a diario se promueve el uso de nuevas tecnologías mediante la explotación de las mismas en pro del desempeño, funcionalidad y su aplicación en las diversas áreas de trabajo y aprendizaje, una forma de explotar esta tecnología es

encontrar los parámetros adecuados de trabajo y a su vez interpretar de mejor manera los rangos de trabajo otorgados por los fabricantes de los materiales y a su vez de los equipos.

La Manufactura Aditiva FDM basada en polímeros se está explotando en ingeniería ligera, arquitectura, procesamiento de alimentos, óptica, tecnología energética, odontología, administración de medicamentos y medicina personalizada. (Samuel Clark Ligon, 2017)

Ecuador es un país direccionado a la implementación tecnológica mediante la incursión en adaptación e innovación tecnológica de sus distintos modelos de producción, con lo antes mencionado se puede decir que la manufactura aditiva dentro del Ecuador está enfocada en desarrollar productos de alto impacto y de bajo costo para la industria, mediante la optimización de tiempos, costos y recursos.

En Ecuador también es muy común encontrar proceso de manufactura aditiva a baja escala en redes sociales, debido a que esta tecnología se la utiliza aun para realización de figuras esculturales, adornos, replicas personas en 3D, caricaturas e incluso prototipos que entran en desarrollo para las plantas de producción, Según Christian Palacios Et Al. plantea el ejemplo en una planta de producción de empaque flexible donde desempeña las funciones de jefe de Inyección, en esta planta se requiere de este tipo de tecnología para reducir costos al momento de desarrollar nuevos productos o a su vez para la validación de geometrías, ya que no es necesario crear moldes o matrices para la creación de ideas innovadoras de envases o cubiertas de los mismos.

Dentro del presente proyecto de investigación se parte con el análisis de materiales tradicionales dentro de este proceso como:

- Acrilonitrilo Butadieno Estireno o ABS,

- Ácido poliláctico o PLA
- Polivinil alcohol o PVA
- Poliuretano termoplástico TPU

Materiales muy utilizados en la industria de la impresión 3D puesto que en primer lugar el ABS y el PLA son materiales que tienen condiciones de trabajo preestablecidas en aproximadamente el 95% de los equipos para procesos de manufactura FDM. El PVA es un material que se utiliza para el desarrollo de figuras con contornos complejos las cuales para ser creadas requieren de un soporte de apoyo y a la vez que este material de apoyo se fácil de retirarlo, para este caso el proceso de remoción de material de aporte será mediante la inmersión de los objetos en el agua ya que se trata de un material soluble al agua. El TPU se trata de un material flexible y el más utilizado dentro de la familia de polímeros flexibles para aplicaciones que se requiera de funciones específicas de funcionamiento en lo que refiere a flexibilidad.

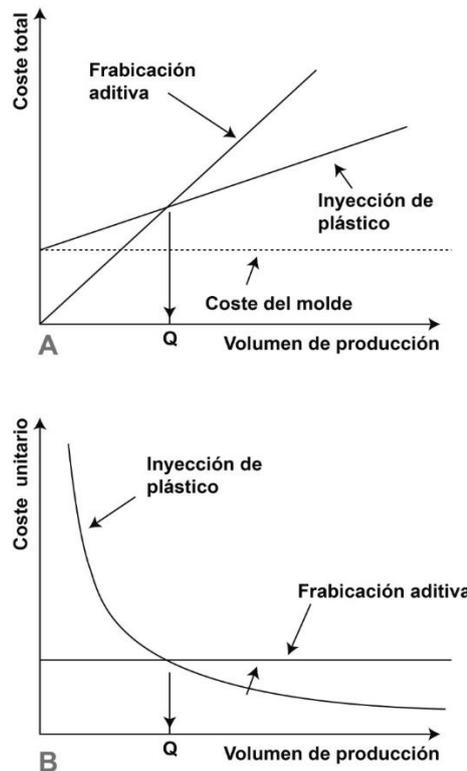
En la actualidad el proceso de manufactura aditiva se realiza con base en las especificaciones del proveedor de la impresora, del proveedor de materiales, las especificaciones del material y el software que se utilice o los criterios técnico prácticos que tenga el operador de la misma. Por estos motivos el común de los prototipos que encuentran en el mercado, presentan defectos relacionados con la adherencia que se pueden generar por un desarrollo inadecuado del proceso, por lo tanto, se va a desarrollar un Proceso de Operación Estándar con el cual se tenga una guía para trabajo en Manufactura Aditiva FDM que mejore los prototipos y el proceso de trabajo.

Cabe mencionar que el proceso de manufactura aditiva tiene limitantes respecto al volumen de producción, sin embargo, en las figuras 4a y 4b que se presenta a

continuación, se puede ver una pequeña comparativa del beneficio económico que se puede llegar a tener para la fabricación de prototipos.

Figura 4

Evaluación de costos del Proceso de Manufactura Aditiva FDM



Nota: La Figura 4A se puede visualizar cual es la proyección de costos que se genera durante la realización Manufactura aditiva en relación a la inyección plástica tomando en cuenta costos por fabricación de moldes, la Figura 4B se evidencia la relación de cotos con la inyección plástica sin embargo se toma en cuenta que el proceso de Manufactura aditiva está enfocado en la personalización de los prototipos. (Gipuzkoa, 2008)

Según Dr. Diogo José Horst (2018) mencionan que el proceso de manufactura aditiva es una habilidad moderna y esta a su vez juega un papel importante dentro de la revolución industrial 4.0 debido a que nos conducirá a una gran revolución industrial

ya que juega un papel clave debido a su versatilidad ya que ahorra tiempo costos y es determinante para el proceso de eficiencia (Dr. Diogo José Horst, 2018). Con esto se puede decir que el análisis defectológico y las soluciones del proceso FMD permitirán fomentar aún más este tipo de tecnología a fin de obtener objetos y prototipos más eficientes en rendimiento.

Hipótesis

La creación de un SOP basado en análisis de defectos del proceso de manufactura aditiva podrá generar una mejora considerable en lo que se refiere al uso de los equipos existentes y posteriormente una explotación industrial adecuada de este proceso, clasificando por rangos las temperaturas y velocidades de trabajo sugeridas por los fabricantes del Filamento

Objetivo General

Analizar defectos en procesos de manufactura aditiva FDM mediante la realización de prototipos bajo parámetros controlados de velocidad y temperatura para plantear soluciones a la impresión de materiales ABS, PLA, PVA, TPU”

Objetivos Específicos.

- Identificar las fallas y defectos mediante una inspección visual dentro de los procesos actuales de manufactura aditiva del laboratorio de la Universidad Internacional SEK
- Establecer procedimientos estándar de operación (SOP), mediante el análisis y las pruebas para la manufactura aditiva con los siguientes materiales ABS, PLA, PVA, TPU.

- Plantear oportunidades de mejora al proceso de manufactura aditiva mediante la evaluación del comportamiento de las probetas según los datos obtenidos para la creación de nuevas fuentes de investigación.
- Validación de SOP mediante impresión de las probetas bajo las condiciones obtenidas en el desarrollo del análisis.

Estado del Arte

El proceso de manufactura aditiva reside en crear objetos o productos en 3 dimensiones por medio de la adición de material extruido capa a capa hasta darle la forma final.

La impresión 3D como se la conoce en la actualidad es uno de los procesos más versátiles ya que se puede encontrar aplicaciones tanto en la línea médica como en el ámbito automotriz, incluso en la actualidad se están realizando aplicaciones para la línea gastronómica con la finalidad de ser parte de la innovación en el mundo.

Una de las aplicaciones innovadoras para este sistema es la creación de casas ecológicas mediante la utilización de materiales reciclables y sostenibles, según (Sarah Romero, 2022), la primera casa construida en el mundo se encuentra en Estados Unidos, esta casa tardó aproximadamente dos semanas en imprimirse y requieren de tan solo 2 operadores para el monitoreo y soporte del equipo. Ver figura

5

Figura 5

Impresión 3D de la pared de una casa (Sarah Romero, 2022)



Nota: La Figura 5 muestra parte del proceso de construcción de la pared de una casa creada con ayuda de una la tecnología de impresión 3D (Sarah Romero, 2022)

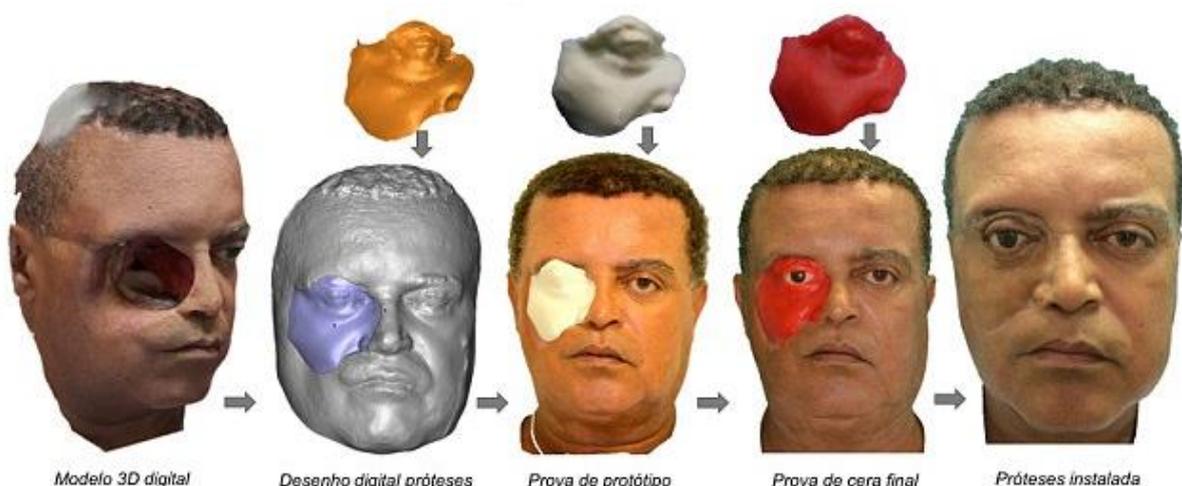
En la actualidad los enfoques a los cuales se pretende llegar están relacionados con la optimización del proceso de fabricación además de los procesos de control e interacción con el usuario (CAD), todo esto en pro del terminado superficial, precisión del proceso, caracterización y nuevos materiales que se pueden utilizar. Actualmente los materiales que se utilizan principalmente para el proceso de manufactura aditiva por FDM son los materiales termoplásticos debido a su comportamiento ante la presencia de calor ya que llegan a tomar la forma deseada y luego por enfriamiento ha mantenerla y a su capacidad para resistir varios ciclos de fusión y solidificación. Algunos de estos materiales ya se están desarrollando bajo criterios de sostenibilidad ambiental debido al impacto que genera en la actualidad el consumo de polímeros (plásticos) y sobre todo su disposición final. Además, también se pueden considerar los materiales Termo-endurecibles o termofijos que permanecen en estado sólido después de que se haya cumplido su proceso de curado, es decir no pueden volver al estado anterior.

Dentro de las aplicaciones relevantes se puede mencionar a 3Dirigo, se trata de un barco patrulla de la Marina de los Estados Unidos, este es uno de los objetos impresos más grandes ya que mide 7.62 metros y pesa 2268 kg el tiempo de impresión del mismo fue de 72 horas según (The University of Maine, 2019), ante esto se puede decir que la realización de este barco se logró gracias a un buen manejo de todo el proceso de manufactura aditiva y por ende la adherencia entre capas, motivo por el cual llegar a obtener resultados que permitan demostrar cual es el rango de temperatura para una buena adherencia permitirá explotar de mejor manera a más campos industriales este proceso.

Entre las aplicaciones más destacadas dentro del proceso de manufactura FMD está la creación de una prótesis facial creada para Carlito Conceição, ver figura 6, un ciudadano brasileño que sufrió la extirpación de prácticamente la mitad de su rostro, este fue uno de los principales motivos para que sea participe de un proyecto innovador el cual consistió en realizar una fotometría mediante un smartphone para obtener una imagen 3D de la parte faltante del rostro de este paciente y así de esta manera procesar una prótesis que le permita reintegrarse a las actividades de su vida cotidiana según (Rodrigo Salazar-Gamarra, 2016)

Figura 6

Etapas de creación y montaje de prótesis facial (Rodrigo Salazar-Gamarra, 2016)



Nota: La Figura 6 se puede observar un resumen grafico de la implementación de la protesis fasial creada con manufactura FMD.

Como parte de la implementación de mejoras al proceso de manufactura aditiva se pueden encontrar en el mercado equipos de marca MELTIO que tiene dos principios de trabajo:

- Manufactura aditiva para la creación de los prototipos
- Manufactura sustractiva para el acabado superficial de los prototipos que se van desarrollando

Crear un post proceso de impresión después de haber descartado la posibilidad de adquirir una impresora de mejor resolución, es una de las opciones que se plantea para mejorar la calidad de los productos y/o prototipos realizados por medio de la manufactura aditiva donde se puede observar que la rugosidad del prototipo es un factor determinante al momento de la obtención de productos finales (Dr. Cesar Omar Balderrama Armendáriz, 2014)

El acabado ideal es importante según la aplicabilidad del producto por tal motivo según Monar Naranjo (2021) considera adecuado mantener una temperatura ambiente estable y como variables de proceso la velocidad de relleno y la velocidad de avance con la finalidad de mejorar la rugosidad del prototipo, (Monar Naranjo, 2021) adicionalmente de manera global recomienda que la temperatura que se llegue a manejar para cada material sea la recomendada por el fabricante el filamento.

Dra. Anilú Rubio Ríos (2018), Destacan la importancia sobre el conocimiento de los poliméricos con los que se puede llegar a interactuar en la impresión 3d a fin de reducir la generación de desperdicios (Dra. Anilú Rubio Ríos, 2018), planteando un grupo de propiedades que intervienen durante el proceso de manufactura aditiva, así como también

la interpretación de los parámetros antes durante y después de la creación del objeto, mismos que afectaran sobre la eficiencia y disminución de gastos en el proceso, por lo cual este se vuelve más innovador al momento de realizar la producción de estructuras o figuras con contornos complejos.

Yanchapaxi Mera Givaldo Josue (2020) declara la importancia del monitoreo térmico de los materiales que se utilicen dentro del proceso de manufactura aditiva donde el material o filamento requiere condiciones ambientales controladas para mejorar los resultados que se pudiesen llegar a obtener en el proceso de manufactura (Yanchapaxi Mera Givaldo Josue, 2020), los parámetros que se deben tomar en cuenta en primera instancia son la temperatura de la cama de impresión, así como la atmosfera en donde se realizara la fijación del equipo para la creación de los objetos.

G. Reinoso (2020) menciona que la temperatura de impresión está relacionada con el extrusor que un ambiente controlado garantizara el control y monitoreo de las características estructurales de modo que el prototipo o la pieza fabricada sea el prototipo alcanzado y este a su vez cumpla con todas las propiedades requeridos (G. Reinoso, 2020).

Dentro del presente proyecto de investigación se considera el comportamiento de los materiales con base en un punto importante como lo es la temperatura de transición vítrea puesto que se trabaja con plásticos que están dentro de la familia de los polímeros, por lo tanto, se puede mencionar que todos los polímeros que lleguen a esta temperatura disminuyen su densidad dureza y rigidez por tal motivo no se debe confundir con el punto de fusión puesto que la fusión se da cuando se llega a trabajar con polímeros cristalinos mientras que la transición vítrea de da en polímeros amorfos.

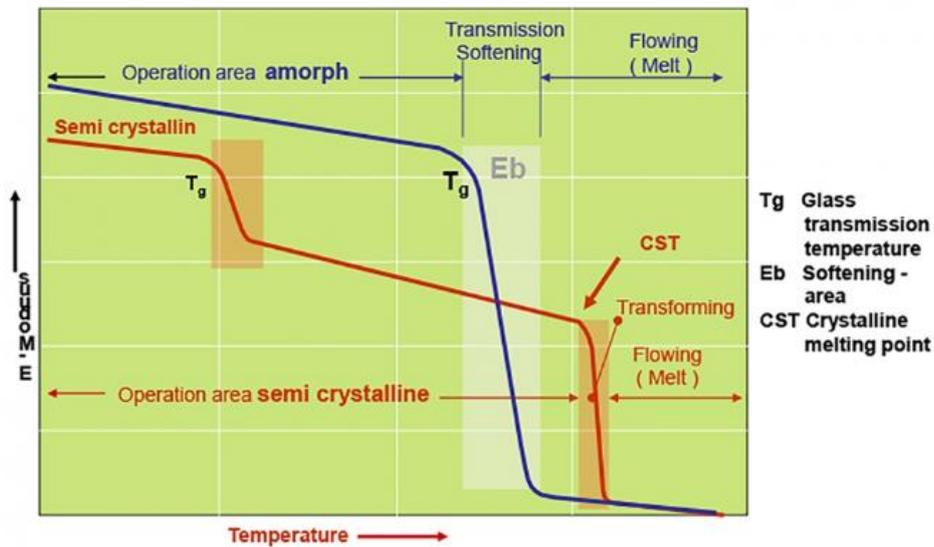
La temperatura de transición vítrea señala un cambio de fase dentro del proceso de fundición de los polímeros, debido a que, si un plástico se encuentra por debajo de esta temperatura el material tiende a caracterizarse por ser frágil y rígido mientras que para el caso de exceder esta temperatura el material se caracterizara por ser elástico y gomoso.

En los polímeros o los llamados plásticos, se presentan varias transiciones térmicas no primarias como la fusión o la ebullición, entre ellas la temperatura de transición vítrea (Tg), la cual es la temperatura en la cual las propiedades de un polímero cambian de las de un material similar al cristal en rigidez y fragilidad a las de un material elástico o gomoso, pero sin alcanzar aun su estado fundido. (Ver figura 7). La temperatura de transición vítrea es función de cada material, de la forma en la que se polimerizo y de los aditivos agregados, por lo cual la formulación de cada fabricante puede modificar la Tg de los materiales o polímeros. Adicional la estructura molecular del material (amorfo o cristalino) es determinante en la temperatura de transición vítrea y a su vez en el comportamiento del material bajo los esfuerzos presentes en el proceso de transformación al que se sometan.

La temperatura de transición vítrea se debe alcanzar durante el enfriamiento en los procesos de transformación de plásticos para que el material recupere las propiedades mecánicas (modulo, rigidez) hasta el punto en que la pieza fabricada pueda ser desmoldeada sin deformarse en caso de un proceso como la inyección o el termoformado, o la pieza sostenga su propio peso y no presente deformaciones como alabeo o tensiones residuales que generen roturas o fallas en la pieza final en el caso de la manufactura aditiva.

Figura 7

Comportamiento de los polímeros según la trayectoria de la Temperatura de Transición Vítrea (Lerma, 2021)



Nota: en la figura 7 se observa la trayectoria creciente de temperatura y como cambia el comportamiento cuando se sobrepasa la temperatura de transición vítrea. (Lerma, 2021)

La temperatura de transición vítrea no está generalmente en las fichas técnicas de los materiales, pero algunas otras propiedades térmicas o de comportamiento frente a la temperatura como Temperatura Vicat o Temperatura de deflexión pueden brindar información sobre el comportamiento del material con la temperatura y ayudar en la parametrización de los procesos.

Las temperaturas de trabajo con las cuales se puede contar en el proceso de manufactura FDM están directamente relacionadas con el equipo de trabajo, para el presente trabajo investigativo el límite superior de temperatura de la Ender 3PRO es de 270 °C, con este valor se llega a la temperatura máxima sugerida por el fabricante del material.

Cabe mencionar que la impresora Ender 3PRO tiene dos límites superiores de temperatura a los que se puede llegar de manera manual 270°C o mediante la

parametrización de la temperatura en el set de la configuración de la temperatura del extrusor 280 °C.

Relleno

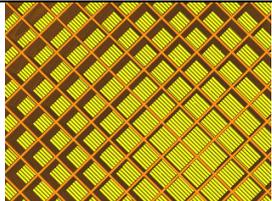
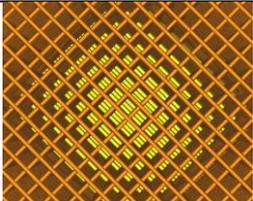
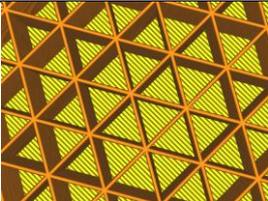
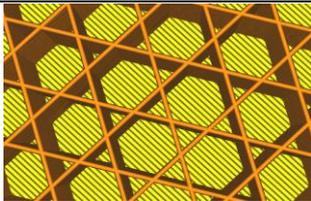
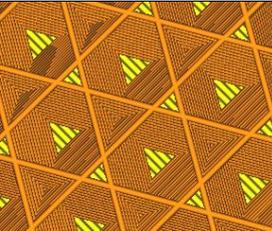
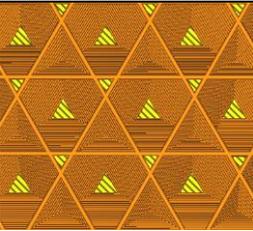
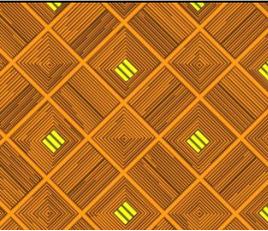
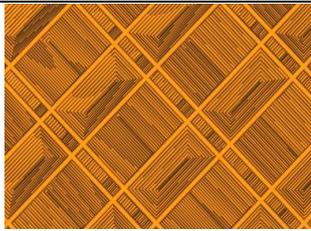
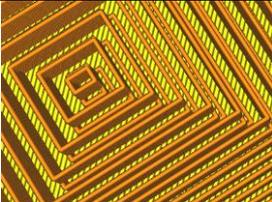
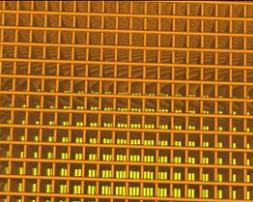
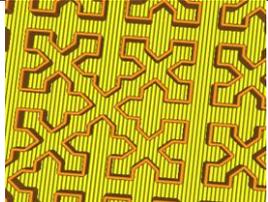
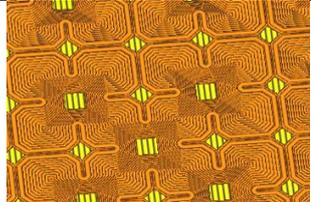
Densidad del relleno: es cantidad de material que se colocar a la interna de la pieza.

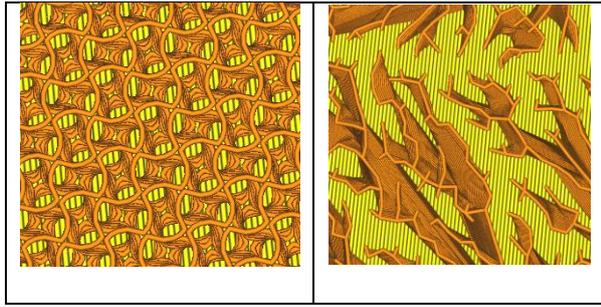
Este valor puede variar desde 0% (pieza hueca) hasta 100% (pieza totalmente maciza)

Existen varios tipos de relleno como se puede observar en la Tabla 1, el uso de estos este dado de acuerdo a la aplicación o utilización de los elementos a imprimir.

Tabla 1

Tipos de patrones de relleno

Rejilla	Lineas	Triangulo	Trihexagonal
			
Cubico	Subdivicion cubica	Octeto	Cubico bitruncado
			
Concentrico	Zig zag	Cruz	Cruz 3D
			
Giroide	Iluminación		



Los patrones de relleno son seleccionados por eficiencia de peso, disponibilidad de recurso y principalmente por resistencia durante el trabajo de los objetos creados.

Boquillas 3D

Las boquillas están dadas de acuerdo al diámetro de la salida del extrusor, tamaño del extrusor y el material con el cual están fabricados, el diámetro tiene relación con el diámetro del material con el cual se llegue a trabajar, para el presente trabajo de investigación se utiliza una boquilla de 0.2 mm debido a que es una boquilla estándar y la más comercial. Cabe mencionar que este diámetro es la directriz para poder determinar la altura de la capa ya que por esta pasa el material. La clasificación de las boquillas es de acuerdo a la longitud de la boquilla de manera global debido a que la presentación de estas se da de la siguiente manera:

Estándar: la dimensión de esta boquilla esta precisada por las dimensiones del bloque de extrusión que miden entre 12 y 13 mm

Volcano: Estas boquillas están creadas para temperaturas elevadas y consecuentemente velocidades más altas normalmente tienen 21mm de longitud lo que ayuda la conducción térmica.

Supervolcano: están fabricadas para mejorar los productos que se fabrican teniendo una relación directa con detalles, velocidades y por ende la calidad

CHT: Son boquillas de triple orificio con la finalidad de acrecentar hasta un 30% el flujo de material, mejorando la capacidad de fusión y de fluides en su interior debido a su recubrimiento de níquel.

CAPITULO II

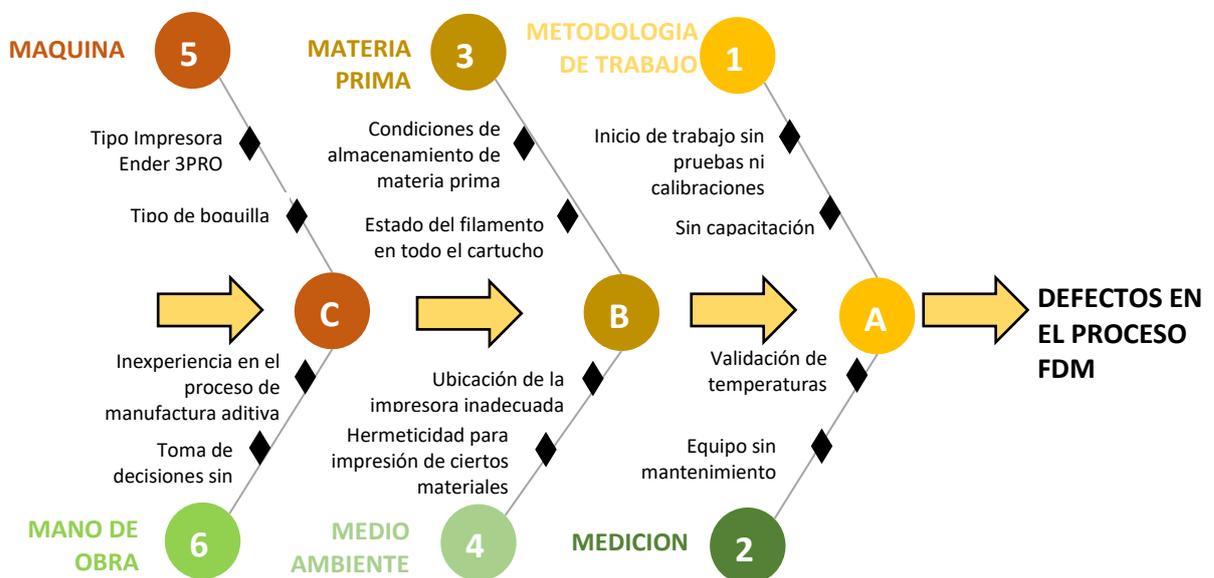
Metodología

Se utilizará el método experimental el cual consiste en manipular variables que permitan observar el comportamiento del objeto estudiado hasta encontrar una buena adherencia, registrando todos los resultados obtenidos de principio a fin con la finalidad de tener un registro de eventos y el comportamiento de cada cambio realizado.

Se inicia con un análisis de Ishicakwa donde se determinan cuáles son las causas que generan los defectos del proceso de manufactura aditiva, el cual se muestra la Figura 8

Figura 8

Diagrama de Causa y efecto del Proceso FDM



Con el análisis de las 6M dentro del diagrama de Causa y efecto del proceso FDM se pueden descartar o aceptar las posibles causas:

Metodología de trabajo: La metodología empleada está enfocada en el uso correcto de los equipos de manufactura aditiva FDM y los materiales con el fin de realizar un proceso adecuado durante la interacción con los equipos.

Medición: Se considera un punto a tomar en cuenta puesto que los valores obtenidos en las mediciones y/o regulaciones del equipo pueden tener una variación y estos a su vez son necesarios para llegar al punto de la fundición del material. Se miden valores como espesores y dimensiones generales de ancho largo y profundidad

Materia Prima: Antes de realizar los prototipos se realiza revisión del estado de los filamentos a utilizar ABS PLA TPU PVA, estos fueron adquiridos de manera puntual para consumo exclusivo durante el desarrollo del proyecto, el nombre del proveedor es SUNLU una marca que es bastante comercializada en el Distrito Metropolitano de Quito y de fácil adquisición tanto en tiendas físicas como en tiendas virtuales.

Medio ambiente: Es necesario asignar un lugar determinado para la realización de los prototipos puesto que se desea tener un proceso controlado en lo que se refiere a la puesta en marcha del equipo sin necesidad de repetir pasos previos.

Maquinaria: Se dispuso de una impresora ENDER 3PRO la cual previamente se realizó un mantenimiento preventivo para la realización de los prototipos y adicionalmente se tomó en consideración el hecho de que los defectos están presentes en los objetos realizados en varias impresoras sin encontrar algún particular de un equipo en especial.

Para todo lo antes descrito se debe tomar en consideración los tiempos de trabajo que arroja el software de laminación para no interrumpir el proceso.

El proceso de creación, fabricación y validación de los prototipos utilizados se da en base a la funcionalidad y la operación de los mismos, esto permite tener una idea del objeto o a su vez lo vistoso que debe llegar a ser, se puede llegar a obtener este tipo de resultados gracias a que

el software Ultimaker Cura permite parametrizar los requerimientos relacionados con aspectos y resistencias, mediante la configuración de los parámetros que también se relacionan con los equipos y la materia prima, posteriormente se determinan los lineamientos que se desean seguir para realizar un análisis del comportamiento antes durante y después del proceso de manufactura FMD, plasmando de esta manera los prototipos de trabajo mediante la configuración de los parámetros de trabajo en el software de laminación para diseño 3D parametrizable acorde a la geometría deseada, donde se genera la codificación, creación y exportación de un código G para que el equipo lamine el prototipo en función al elemento diseñado y finalmente esté se vea materializado en un objeto físico. Para el análisis de este escrito se trabajará con la realización de prototipos existentes en páginas de comunidades cooperativas como THINGIVERSE, Cults, Free3D, MyMiniFactory, Pinshape, etc. donde se encuentra una amplia gama de objetos disponibles y libres para descargar.

El análisis de defectos se realizan mediante técnicas de observación y para el presente proyecto por medio un microscopio de barrido a las probetas obtenidas en el proceso de manufactura aditiva FDM que están relacionadas de manera directa a la temperatura de fusión de trabajo según (Compton, Post, Duty, Love, & Kunc, 2017) quienes en su proceso investigativo presentan el comportamiento térmico del material durante la extrusión de material para elementos o piezas de gran volumen, para mejorar la adherencia el enfoque de su trabajo está basado en la visualización del proceso durante la deposición de material capa por capa y a su vez la relación que existe con la velocidad de impresión de acuerdo al tamaño de las piezas que se realicen.

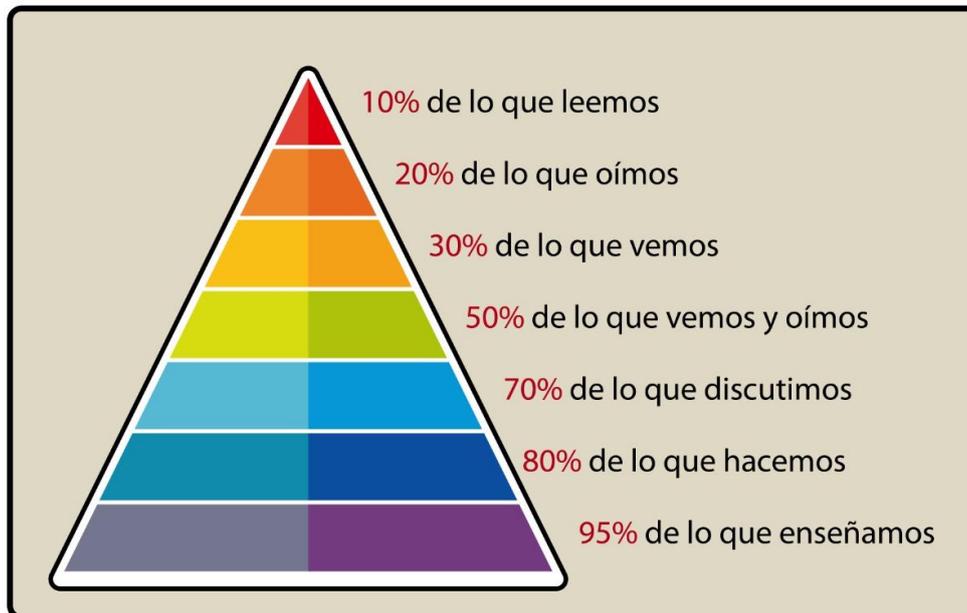
En Ultimaker Cura se presenta un sin número de variables que se toman en cuenta para poder configurar los parámetros de trabajo que están delimitados de manera directa con el tipo de material, tamaño de los elementos a imprimir, adherencia del material a la cama, porcentajes de relleno, entre otros. Sin embargo, el presente

trabajo tiene como enfoque el desarrollo de prototipos con adherencia entre laminas bajo condiciones controladas de trabajo y estas a su vez están directamente relacionadas con la materia prima que se desea utilizar (FILAMENTOS) cabe mencionar que por tratarse de materiales plásticos tienen diversos comportamientos según su origen.

Eduardo Meraz Trejo (2020) en su análisis menciona que si la temperatura de trabajo de un determinado sustrato está por debajo de umbral específico se producen grietas y deformaciones mientras que si la temperatura está por encima del umbral se generaran fallas de adhesión de deformación. Por lo cual dentro del proceso de creación de prototipos se pretende utilizar el rango de temperatura especificado por parte del fabricante del filamento. (Eduardo Meraz Trejo, 2020)

Figura 9

Pirámide de Aprendizaje de Edgar Dale



Al empezar con el presente proyecto investigativo se inició con trabajos de investigación y familiarización del proceso FMD con la finalidad de aprender sobre el proceso de una manera creciente y similar a la que se muestra en la Figura 9, y de esta

manera consecuentemente ingresar a un ciclo PHVA donde se parte con conocimiento obtenido de materia teórica que serán puestos en práctica con la utilización de los equipos de manufactura aditiva.

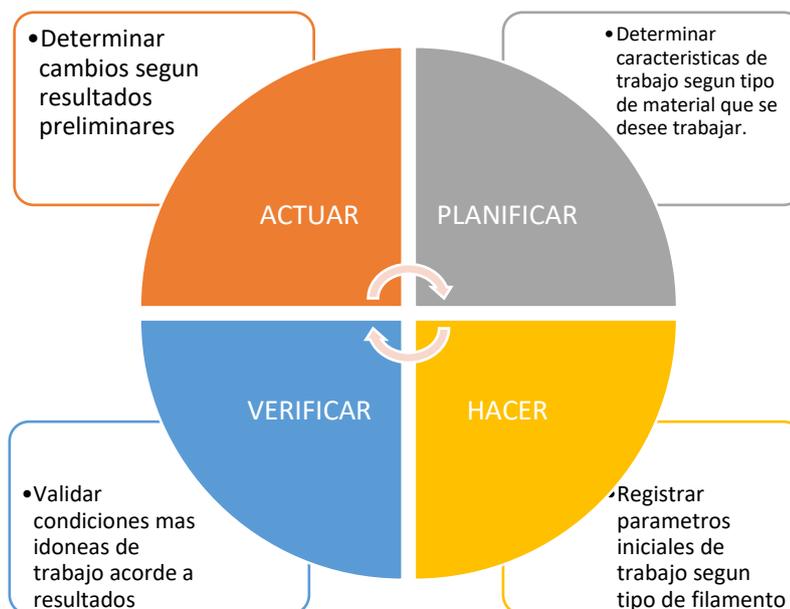
Ciclo de Deming Aplicado al Proceso de Manufactura Aditiva FDM

Se inició con prototipos aleatorios de manera desordenada bajo las condiciones establecidas por el fabricante lo cual generó creación de prototipos con fallas y en mal estado, tomando en cuenta que en principio las configuraciones fueron similares para todos los materiales (Filamentos) puesto a que no se contaba con información puntual para arrancar de la mejor manera con la creación de los prototipos.

El proceso de manufactura aditiva y las causales aceptadas como posibles fallas entran en el CICLO DE DEMING ver Figura 10, para el mejoramiento continuo del mismo.

Figura 10

Ciclo PHVA aplicado al proceso de FDM



Equipos.

Para el desarrollo del presente proyecto investigativo se utilizó una impresora ENDER 3PRO con un sistema de extrusión BOWDEN, aditado de una cama flexible para la impresión de objetos, como se puede observar en la Figura 11

Figura 11

ENDER 3PRO con extrusor tipo BOWDEN



CARACTERISTICAS:

- Modelo: Ender 3 Pro
- Dimensiones: 200 x 220 x 250mm (aproximadas)
- Material: marco de aluminio
- Diámetro: 1.75mm
- Nozzle: 0.4mm
- Temperatura máxima boquilla: 255°C

- Velocidad de impresión: 80 mm/s (velocidad normal) pero puede alcanzar 180 mm/s
- Hotend y extrusor: MK8
- Extrusor tipo: Bowden
- Cama caliente: puede alcanzar hasta 90°C
- Pantalla: LCD
- Dimensiones de la cama caliente: 220 x 220 x 250 mm (22 x 22 x 25 cm)
(medidas aproximadas)
- Materiales que puede imprimir: ABS / PLA / WOOD / TPU (no recomendamos subir el hotend a más de 240 °C).
- Se pueden usar filamentos de cualquier fabricante
- Formato de los archivos: STL, OBJ, G-Code
- Fácil montaje
- Peso: 8.6 Kgs
- Tamaño de la impresora: 440 * 410 * 465 mm (Aproximadamente)
- Marca: Creality 3D

Adicionalmente se utilizó el calibrador pie de rey digital con apreciación de hasta 0.01mm que se observa en la Figura 12 para verificar el cumplimiento de las especificaciones geométricas y los parámetros de configuración del proceso de manufactura aditiva FDM,

Figura 12 Calibrador Pie de Rey Digital



Unos de los equipos más importantes para el desarrollo de la presente es un microscopio de barrido electrónico que será empleado para observar y fotografiar la adherencia entre láminas de impresión, el cual se presenta en la Figura 13

La macrografía tiene como objetivo visualizar y fotografiar una determinada sección de los elementos creados, se debe tomar en cuenta que para visualizar los defectos se debe realizar un corte en las piezas o probetas de manera trasversal a las capas de impresión con la finalidad de observar la adherencia entre capas.

Figura 13

Microscopio AMSCOPE



CARACTERISTICAS:

- Marca: AMSCOPE

- Lente de Aumento: 5X
- Accesorio: Camara digital
- Marca de la Camara: MA500
- Alimentacion: 110 v

De una manera más detallada para encontrar los problemas comúnmente presentados durante el proceso de manufactura aditiva FDM debido a que la capacidad de la vista humana no permite visualizar los detalles que se pretende encontrar para parametrizar el proceso y validar las mejores temperaturas y velocidades para la adherencia de tal manera que una vez realizadas todas las pruebas de adherencia, se pueda validar la ausencia de defectos bajo parámetros adecuados de trabajo.

Materiales

Los materiales a utilizarse son los siguientes

- **Ácido Polilactico o PLA :**

Es un polímero biodegradable derivado del ácido láctico también llamado ACIDO POLILACTICO. Este material es fabricado a partir de productos 100% renovables, como el maíz, la remolacha, el trigo productos que por su alto contenido de almidón son muy valiosos para la industria plástica. Este material es el más utilizado en los procesos de manufactura aditiva, los equipos de impresión traen calibración para este material y el mercado ofrece una gran variedad de colores y texturas aumentando las aplicaciones en las cuales utilizarlo.

Según (Jun Zhang, 2018) dentro de su análisis de utilización de biomateriales menciona que la utilización de estos materiales promueve una conciencia social para reducir el impacto ambiental que actualmente

genera la industria plástica mientras que por otro lado es un desafío para la búsqueda de nuevos y mejores materiales.

Figura 14

Filamento PLA



- **Poliuretano Termoplástico o TPU**

Es un polímero que acorta la brecha entre el caucho y los plásticos. Por tal motivo este material puede llegar a ser tan semejante en las características físicas como un polímero rígido o tan blando como lo es el caucho y por ese motivo se utiliza como alternativa en rigidez y resistencia al impacto de las piezas finales.

Figura 15

Filamento TPU



- **Acrilonitrilo Butadieno Estireno o ABS**

También llamado ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO debido a que su fabricación se deriva de estos tres elementos, es considerado uno de los materiales más complejos para procesarlos debido a su contenido de Poliolefinas (Polietileno y polipropileno) pero junto con el PLA son los materiales más utilizados en la manufactura aditiva y los equipos traen configuración para su trabajo.

Pese a todo esto se debe mencionar que debido a su composición resulta muy complicado el proceso de reciclaje y consecuentemente esto tiene un impacto negativo respecto a su aplicación y uso dentro del mundo del proceso de FMD.

Figura 16 Filamento ABS



Según PAZ, (2022) dentro de su blog de disrupción uno de los problemas de la utilización del ABS como materia prima para el proceso FMD es el alto nivel contaminante puesto que emite un nivel alto de gases tóxicos para el cuerpo humano puesto que estos se depositan en los torrentes sanguíneos y tienen gran afeción sobre todo para las personas que son enfermos de asma. (PAZ, 2022)

Por otra parte, un estudio realizado por La-Tecnología, (2022) nos muestra que el sentido del olfato disminuye en un rango pequeño pero significativo cuando una persona se encuentra expuesta al trabajo con este tipo de filamentos sea cual sea el proceso de manufactura en el cual se hallen trabajando. (La-Tecnología, 2022)

Se debe tener en consideración que este filamento nace de la fusión de tres materiales y estos a su vez resultan complicados de separarlos al momento de pasar por un proceso de reciclaje puesto que ya se requiere de máquinas y equipos de alta gama para este tipo de procesos.

- **Acetato de Polivinilo o PVA**

Es un polímero sintético soluble en agua que se utiliza generalmente para la realización de soportes dentro del proceso de manufactura aditiva puesto que la extracción de este exceso de material es fácil debido a que se debe mantener en agua y este material se disolverá en el agua.

Figura 17 Filamento PVA



Con base en la información obtenida en los anexos 2, 3, 4, 5 por parte de los proveedores y/o fabricantes del filamento se determina los parámetros iniciales de trabajo los que se muestran en la Tabla 2

Tabla 2

Condiciones de trabajo según fabricante y modificaciones.

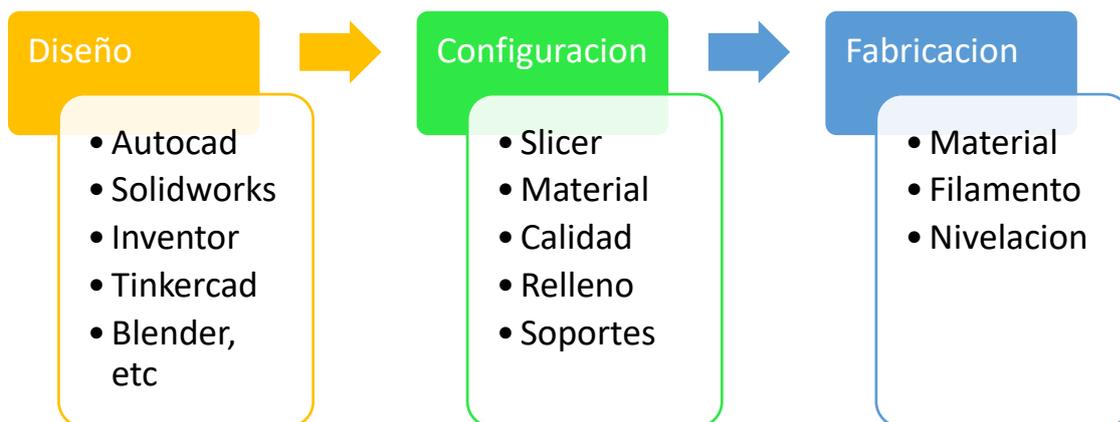
	PLA	TPU	ABS	PVA
Hotend (Extrusor)	195-220 [°C]	220-240 [°C]	230-270 [°C]	190-220 [°C]
Hotend (modificadas)	195-230 [°C]	210-240 [°C]	240-270 [°C]	180-225 [°C]
Bed (cama)	50 °C	40 °C	105 °C	100 °C
Bed (Modificadas)	20 - 60 [°C]	0 - 40 [°C]	90 - 110 [°C]	80 - 100 [°C]

Proceso general de impresión 3D

El proceso general de manufactura aditiva consiste en la realización de un prototipo en el cual se genera una figura 3D virtual, exportable como un archivo .STL consecuentemente este será exportado en un ambiente de laminación como es el caso puntual de ULTIMAKER CURA software donde se trabaja a los prototipos, parametriza y fabrica el prototipo de acuerdo a los requerimientos y se exporta a un archivo .GCODE para ser interpretado y procesado por la impresora. La secuencia del proceso se muestra en la Figura 18.

Figura 18

Secuencia de trabajo FDM



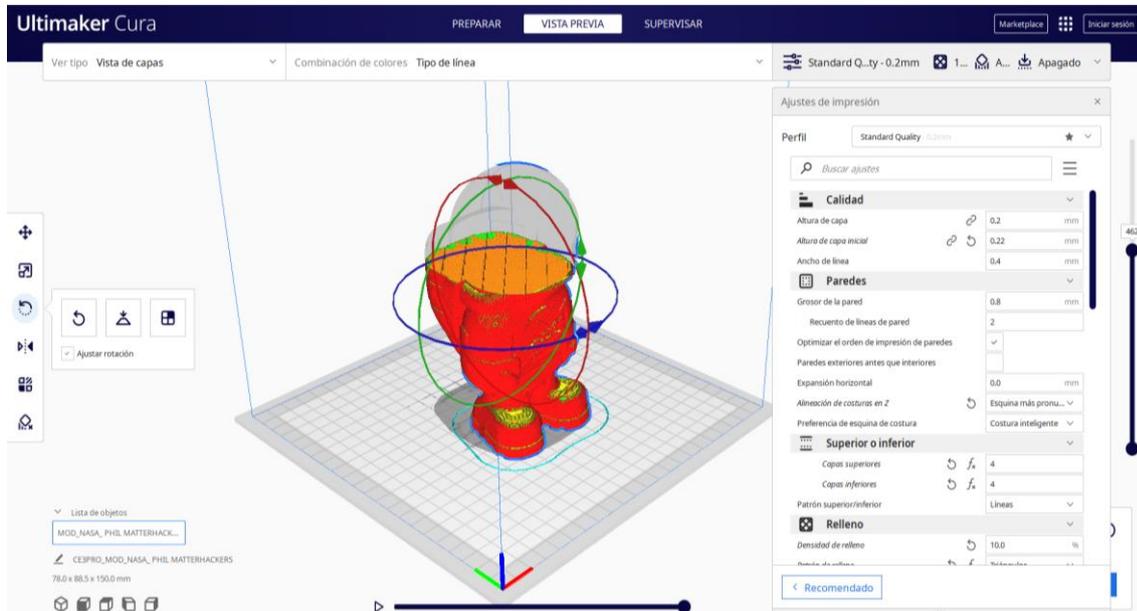
Ambiente de Visualización

Para la visualización de la configuración de los prototipos en el caso del presente proyecto en Ultimaker Cura se puede visualizar el proceso de manufactura FMD capa por capa después de haber realizado las configuraciones mencionadas anteriormente con la finalidad de evaluar y analizar cómo se realizara el proceso de creación de los prototipos planteados por el usuario además de obtener datos referentes a tiempo de fabricación

como se muestra en la Figura 19 donde incluso se puede simular el proceso FMD capa a capa y cuál será la trayectoria de trabajo.

Figura 19

Ambiente de laminación



Ajuste de Pared Preliminar

El proceso de ajuste para la pared y a su vez del flujo de material inicia con la calibración y nivelación de la cama, posterior a este proceso se realiza la configuración de un cubo de 20mm x 20mm x 20 mm sin relleno, sin capas superiores y con el 100% de flujo con la finalidad de medir evaluar y parametrizar el porcentaje de flujo que se requiere para una adecuada impresión. En la Figura 20 se observa el submenú de la calibración de la pared, la cual debe contener las dimensiones que se desea obtener en lo que se refiere a espesores y caracterización del aspecto exterior a fin de mejorar los detalles y acabados del objeto que se realizara (alineación de costura en z y preferencias de esquina de costura) para el ejemplo la pared debe llegar a medir 0.8mm en cada cubo de material impreso.

Figura 20

Calibración de capa y flujo de material

Paredes	
Grosor de la pared	0.8 mm
Recuento de líneas de pared	2
Optimizar el orden de impresión de paredes	<input checked="" type="checkbox"/>
Paredes exteriores antes que interiores	<input type="checkbox"/>
Expansión horizontal	0.0 mm
Alineación de costuras en Z	↻ Esquina más pronu... ▼
Preferencia de esquina de costura	Costura inteligente ▼

Para la calibración del flujo en cada uno de los materiales se realizó un proceso estándar el cual consiste en trabajar bajo condiciones preestablecida por el fabricante en cuanto se refiere a temperatura de material, temperatura de la cama de impresión y velocidad, posterior a esta etapa de parametrización se realiza la calibración del flujo de material que en este caso es el punto que se desea regular para disminuir los defectos visuales que se pueden llegar a presentar debido a la deposición de exceso de material. En la Figura 21 se muestra el submenú en el software donde se configura el flujo de material con el cual se trabajará en el equipo. Se debe analizar ¿que se desea realizar? a fin de poder configurar el cubo previamente descrito, para el caso de prueba no debe tener relleno con la finalidad de evaluar y medir el espesor de la pared y comparar el resultado deseado con el que se pretende obtener, esta configuración se la puede visualizar dentro del submenú paredes donde el usuario puede especificar el espesor de la pared deseada.

Figura 21

Parámetros de temperatura

Material		
Temperatura de impresión	↶ f _x	230.0 °C
Temperatura de impresión de la capa inicial		230.0 °C
Temperatura de la placa de impresión	↻ ↶	40.0 °C
Flujo		100 %

Dentro del menú principal de configuración de parámetros de impresión se encuentra un submenú referente al material donde se encontrará parámetros de temperatura y el Flujo con el cual se desea trabajar para una calibración y evaluación se inicia con un porcentaje al 100% de flujo para una validación posterior de cada material

- **Ajuste de Pared PLA**

Calibración: Flujo 100%

Espesor de pared deseada en PLA =0.8

Espesor obtenido 0.85mm

Figura 22

Medición pared PLA flujo al 100%



Una vez realizada la configuración inicial se obtiene un resultado de 0.85mm como se muestra en la Figura 22 donde se observa que el espesor de la pared del cubo impreso en PLA fue superior esto quiere decir que el porcentaje de flujo fue elevado por lo

tanto al realizar un cálculo proporcional para encontrar el porcentaje de flujo adecuado se determina que:

Porcentaje de Flujo adecuado es de 94.11%

- **Ajuste de Pared ABS**

Calibración: Flujo 100%

Espesor de pared deseada en ABS =0.8

Espesor obtenido 0.84mm

Figura 23

Medición pared ABS flujo al 100%



Una vez realizada la configuración inicial se obtiene un resultado de 0.84mm como se muestra en la Figura 23 donde se observa que el espesor de la pared del cubo impreso en ABS fue superior esto quiere decir que el porcentaje de flujo fue elevado por lo tanto al realizar un cálculo proporcional para encontrar el porcentaje de flujo adecuado se determina que:

Porcentaje de Flujo adecuado es de 95.23%

- **Ajuste de Capa TPU**

Calibración: Flujo 100%

Espesor de pared deseada en TPU =0.8

Espesor obtenido 0.86mm

Figura 24

Medición pared TPU flujo al 100%



Una vez realizada la configuración inicial se obtiene un resultado de 0.86mm como se muestra en la Figura 24 donde se observa que el espesor de la pared del cubo impreso en TPU fue superior esto quiere decir que el porcentaje de flujo fue elevado por lo tanto al realizar un cálculo proporcional para encontrar el porcentaje de flujo a adecuado se determina que:

Porcentaje de Flujo adecuado es de 93.02%

- **Ajuste de Capa PVA**

Calibración: Flujo 100%

Espesor de pared deseada en PVA =0.8

Espesor obtenido 0.91m

Figura 25

Medición pared PVA flujo al 100%



Una vez realizada la configuración inicial se obtiene un resultado de 0.91mm como se muestra en la Figura 25 donde se observa que el espesor de la pared del cubo impreso fue superior esto quiere decir que el porcentaje de flujo fue elevado por lo tanto al realizar un cálculo proporcional para encontrar el porcentaje de flujo adecuado se determina que:

Porcentaje de Flujo adecuado es de 87.91

Calidad de Impresión Preliminar

La calidad de la impresión está dada en su gran mayoría por la altura de la capa con la cual se desea trabajar, su parametrización se va a ver reflejado también en el tiempo que dure la impresión ya que este a su vez es proporcional, como se puede observar en la Tabla 3 donde se relaciona de manera sencilla la relación que tiene la altura de la capa y la calidad de impresión que dan como resultado un tiempo directamente relacionado con los dos aspectos para la obtención de los objetos diseñados

Tabla 3

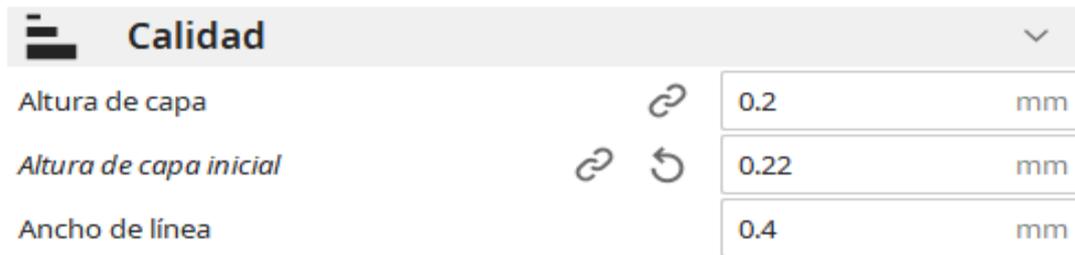
Espesor de capa, calidad de impresión y tiempo de impresión

Calidad baja	Calidad alta
0.3 mm o mas	0.2mm o menos
Menor tiempo de impresión	Del 30% al 50% de aumento en el tiempo de impresión

Dentro del submenú calidad se encuentran disponibles los parámetros de calibración referentes a la altura de capa como se puede observar en la Figura 26, donde se puede llegar a visualizar la altura de la capa y el ancho de la línea parámetros con los cuales se puede llegar a mejorar la definición del objeto que se imprime

Figura 26

Parametrización de altura de capas.



Uno de los resultados de imprimir bajo estas condiciones de Calidad es la obtención de una figura de ajedrez con el rostro de un caballo la cual tiene una definición bastante agradable y llamativa a la vista como se observa en la Figura 27 donde se tiene detalles complejos como los ojos y la nariz.

Figura 27

Resolución del equipo



Para iniciar los trabajos de calibración y configuración de los equipos de trabajo, se debe seguir las especificaciones de los proveedores tanto de la maquina como de los filamentos, todo esto como pre requisito para obtener buenos prototipos iniciales y para el caso una probeta adecuada para el análisis

- Nivelación cama caliente
- Revisión del estado de la boquilla y caracterización de la misma
- Determinar el tipo de cama a utilizar
- Ambiente de laminación adecuado y compatible con el equipo.
- Filamento en buenas condiciones
- Calibración del área de trabajo
- Utilización de pegamento según especificaciones
- Validación de temperaturas y estabilidad.
- Nivelación boquilla cama caliente

Posterior a la etapa prerequisite se determinarán los prototipos o tests que se desean imprimir acorde a las necesidades investigativas del presente trabajo investigativo y bajo las condiciones de trabajo sugeridas por el fabricante del filamento y del equipo de trabajo.

Desarrollo experimental.

Para la caracterización del esquema de configuración del ambiente de trabajo para los materiales ABS, PLA, TPU, PVA partiendo en establecer condiciones de trabajo preliminares basadas en las especificaciones de los proveedores de los filamentos las cuales tendrán directa relación con el objeto a imprimir para el proceso inicial de trabajo se realizaron cubos de calibración de 20mm x 20mm x 20mm y el patrón de relleno fue triángulos tomando en cuenta la optimización de recursos (filamento) y resistencia geométrica para la creación de diferentes prototipos de iguales características a los que se observa en la Figura 28 con la finalidad de poder visualizar una mayor superficie de contacto entre capa y capa.

Figura 28 Relleno de impresión tipo Triángulos



Se realizaron prototipos iniciales bajo las especificaciones indicadas por el fabricante con intervalos de 5°C, como es el caso del PLA material con el cual se trabajó bajo las condiciones de temperatura del fabricante de 195°C a

220°C para este caso puntual se excedió el rango de trabajo, hasta 230°C y así observar el comportamiento y desempeño del material antes durante y después del proceso de trabajo a una velocidad de 40mm/s, esta velocidad según el fabricante es la más adecuada para las características del producto que se desea producir, este valor adicionalmente se lo obtuvo de la realización de los diversos prototipos con los cuales se trabajó a velocidades altas medias y bajas donde se obtuvo que para mantener la mejor definición se debe trabajar en rangos de 20mm/s, 40mm/s o 60mm/s de acuerdo a las características del producto . En la Figura 29 se pueden observar los diversos prototipos creados a diversas temperaturas.

Figura 29

Prototipos para análisis PLA



En el caso del ABS se determinó durante el proceso que la velocidad más adecuada y que presenta menos complicaciones al momento de imprimir los prototipos planteados con la menor cantidad de defectos, es de 60mm/s puesto que a menor velocidad no existe adherencia entre capas o cracking y para velocidades superiores el inconveniente que se presenta es la contracción del material o warping por tal motivo el rango de trabajo es exclusivamente el planteado por el fabricante, 230°C a 270°C. Se debe tomar muy en cuenta las limitantes existentes respecto al equipo con el cual se realizaron los prototipos puesto que para el caso puntual del ABS no se logró

exceder la temperatura de impresión a más de los 270°C debido a restricciones del sistema operativo. En la Figura 30 se observan los prototipos para el análisis

Figura 30

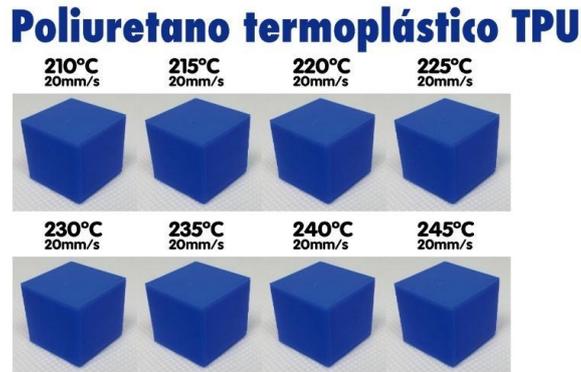
Prototipos para análisis ABS



En lo que se refiere a la realización de los prototipos de TPU se lograron obtener prototipos por debajo de la temperatura recomendada y también prototipos con 5°C por encima del rango sugerido sin embargo no fue posible aumentar en mayor número la temperatura debido a que durante el proceso de impresión se empezó a generar mayor número de grumos y filamentos ver tabla 3 test TPU que son característicos de los polímeros cuando entran o están cerca de la Temperatura Vitrea. Para el análisis se obtienen muestras de 210°C a 245°C como se observa en la Figura 31 Con una velocidad de 20mm/s debido a las características flexibles de este material

Figura 31

Prototipos para análisis TPU



Finalmente se trabajó con el PVA material que después de realizar las pruebas de trabajo se observó que tiene características muy similares al TPU por tal motivo la configuración que permitió trabajar de manera adecuada en lo que se refiere a velocidad es de 25mm/s debido a la flexibilidad que este presenta tanto durante la impresión como en la interacción con el prototipo terminado además si se llegase a exceder la velocidad se pierde adherencia en la cama caliente. En la Figura 32 se pueden observar los prototipos impresos con el rango de temperaturas sugerido por el fabricante 190°C a 220°C excediendo los límites superior e inferior de temperatura en 10°C.

Figura 32

Prototipos para análisis PVA

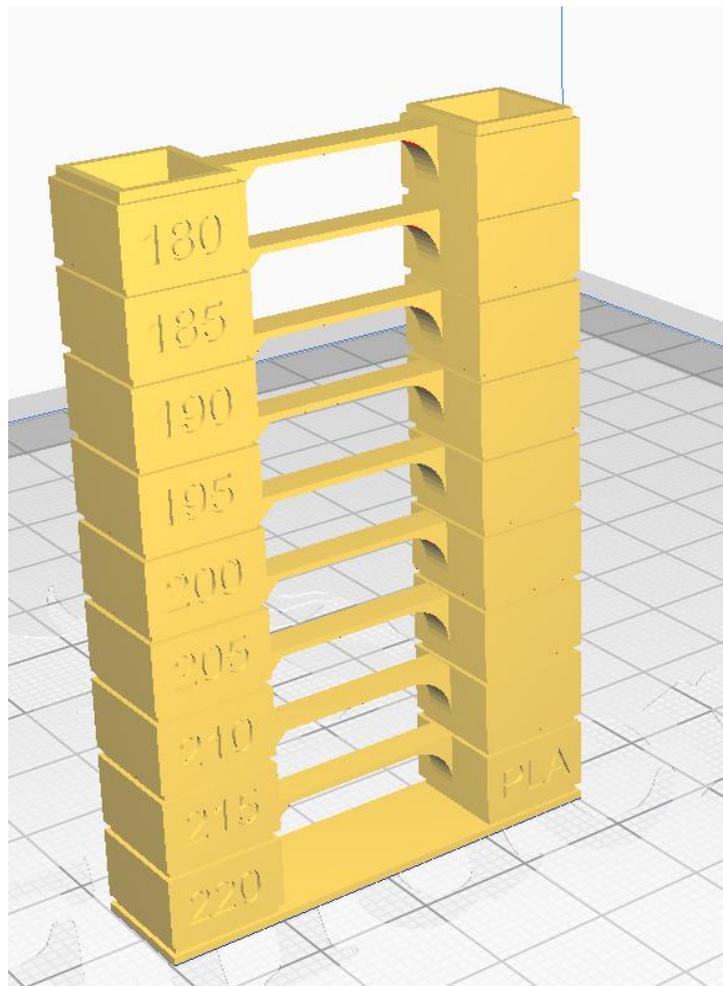


Test PLA – TPU – ABS - PVA

La realización de test bajo condiciones de trabajo preestablecidas por parte del fabricante es la base la validación del comportamiento del material sin embargo se excedió de 10 a 20 grados de temperatura en los dos límites de trabajo según la disponibilidad, tomando en cuenta los rangos de trabajo como se muestra en la Figura 33 para la creación de los prototipos fue necesario interactuar con el ambiente experimental que dispone CURA, donde se configuro los parámetros de trabajo de manera decreciente y de acuerdo al nivel de impresión es decir a la capa impresa.

Figura 33

Figura Test de temperatura para procesos FDM

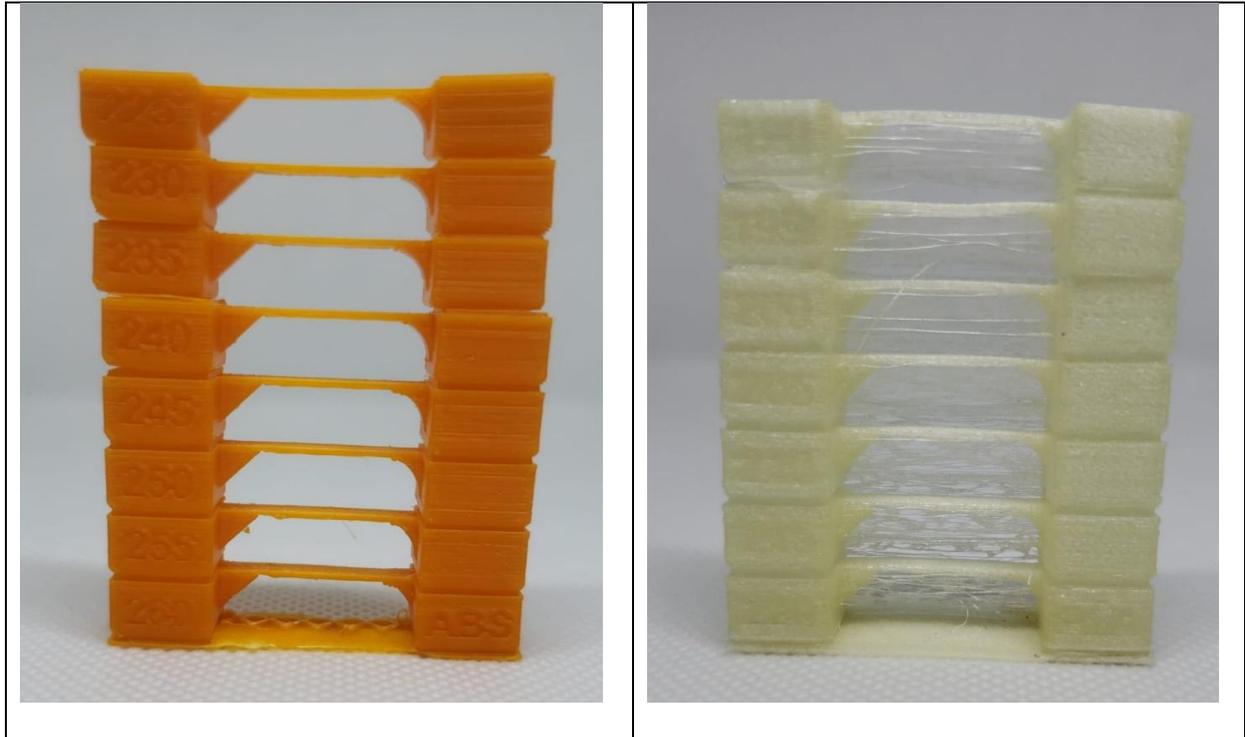


La realización de los test fue bajo las condiciones de trabajo preestablecidas por parte del fabricante tomando en cuenta los rangos de trabajo. El resultado de la calibración del g-code con respecto a los niveles de impresión y la temperatura que se desea visualizar en los Test son los que se muestran en la Tabla 4 donde se puede observar los cambios que se pueden presentar con el cambio de temperatura y a su vez la calidad de impresión que se puede llegar a obtener según la temperatura del extrusor. Para una mejor apreciación de los defectos generados por los cambios de temperatura se realizan cambios de 5° C en creciente desde el límite inferior de los rangos de cada material.

Tabla 4

Test de temperatura obtenidos

Test de temperatura TPU de 205°C a 245°C	Test de temperatura PLA de 180°C a 220°C
	
Test de temperatura ABS de 260°C a 225°C	Test de temperatura PVA de 190°C a 220°C



Los Test permiten determinar y validar cuál es el verdadero rango de temperatura al cual debería trabajar cada filamento incluso en caso de no tener información puntual de ciertos filamentos, tomando en cuenta que con esto también se delimitara el rango de temperatura de trabajo en caso de no disponer de un proceso previo de validación de temperaturas.

Una vez obtenidos los test de temperatura se evalúa la caracterización de los Test tomando en cuenta que estos se excedieron en más y menos temperatura que la sugerida por el proveedor con la finalidad de poder observar que sucede para caso que se salgan del rango.

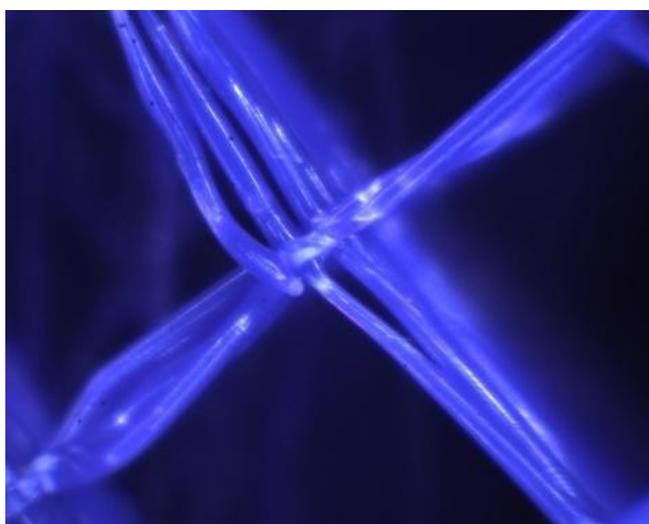
Patrones de Relleno

Los patrones de relleno son muy importantes ya que para el caso propuesto se desea obtener una buena adherencia con lo cual se pudo observar que no se debe utilizar relleno de líneas debido a que la superficie de contacto disminuye

y la adherencia entre capas es mucho menor como se puede observar en la Figura 34, esto debido a que se realiza trayectos de impresión aleatorios y se observa que entre capas solo existen puntos de contacto mas no de capas completas de contacto. Para Tuan D. Ngoa (2018) mientras mayor sea el área de contacto entre elementos mayor será la adherencia que se genere entre capas durante el proceso de manufactura aditiva (Tuan D. Ngoa, 2018).

Figura 34

Relleno LINEAS



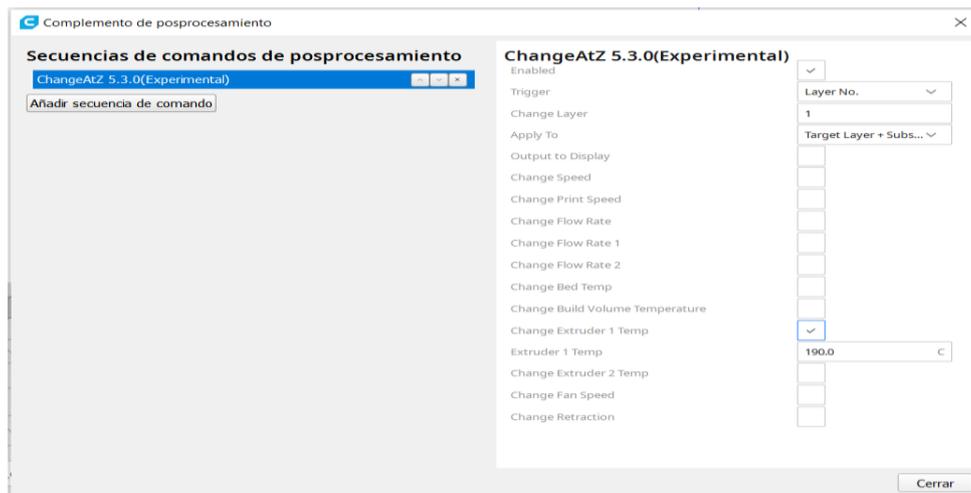
El operador del software debe analizar el uso y la aplicación del objeto a fabricar para plantear un relleno adecuado, sin embargo, se si trata de piezas o elementos mecánicos que van a estar bajo condiciones de trabajo altas se puede llegar a trabajar con patrones de relleno superiores al 60% e incluso con relleno del 100% para obtener piezas macizas que sean aptas para resistir las fuerzas a las que pueden ser sometidas según el campo de aplicación. El porcentaje de relleno también puede resultar beneficioso al momento de optimizar recursos como materia prima debido a que se puede llegar a bajar el peso del objeto y consecuentemente el costo por material de uso.

Parametrización de Probetas

Durante el proceso del diseño experimental se elaboraron Test de Temperatura con los cuales se pueda plasmar el comportamiento de los filamentos bajo condiciones de temperatura variable en el mismo elemento y para efecto se modificará el g-code para diseño experimental con la finalidad de poder delimitar el cambio de temperaturas según el número de capa, en la Figura 35 se puede observar el submenú para la configuración del G-CODE, para el caso de la presente se realizaran ajustes de temperatura según el nivel de prototipo o en otras palabras el número de capa a la cual se realizar el cambio de temperatura.

Figura 35

Parametrización del G-CODE



La parametrización de las probetas está basada en la configuración del número de capa a imprimir puesto que debido a los rangos de temperatura sugeridos por el proveedor del filamento se determinó realizar un test con varios niveles de temperatura bajo condiciones temperatura controlada con una diferencia de 5°C en decreciente desde la base según el material que se imprima.

Calibración de Velocidades:

Para la calibración de velocidades se inició con velocidad promedio entre la velocidad que sugiere el software y la velocidad promedio recomendada en diferentes blogs de impresión 3D, el proveedor también recomienda las velocidades de impresión que también fueron analizadas y promediadas con las velocidades anteriormente mencionadas, se debe mencionar que la velocidad de impresión es subjetiva según el tamaño de la pieza a realizar y el cuerpo de la misma. En la tabla 5 se puede observar las velocidades óptimas para trabajar en el proceso

Tabla 5

Velocidad de impresión según material

CARACTERISTICA CALIBRACION	MATERIAL			
	PLA	ABS	TPU	PVA
Velocidades de impresión	60mm/s	40mm/s	20mm/s	30mm/s

Sin embargo, se encontraron ciertas complicaciones durante el proceso de creación de los prototipos con los cuales se llegó a trabajar.

Velocidad según dimensión

Esto quiere decir que los valores obtenidos en la tabla anterior están referenciados para figuras promedio de impresión en lo referente a tamaños, puesto que al momento de realizar figuras pequeñas se observó que se tenía complicaciones como se muestra en la figura 35 donde se puede observar que debido a la velocidad de impresión la superficie de contacto del elemento se despegó (wrapping) y consecuentemente el proceso de impresión se vio afectado debido a

que la pieza a imprimir se movió y se perdió todo el prototipo como se visualizan la Figura 36

Figura 36

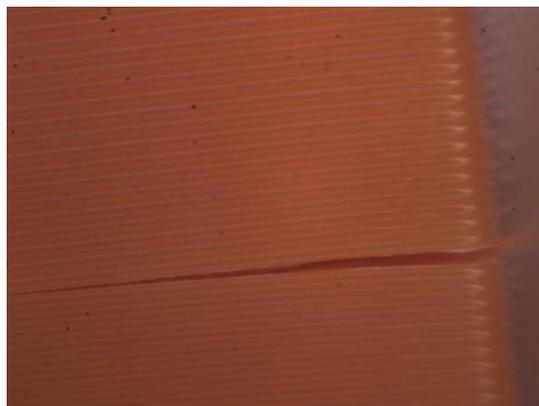
Problemas relacionados con velocidades



Para el caso de figuras consideradas grandes se observaron inconvenientes como poca adherencia como se muestra en la Figura 37

Figura 37

Problema velocidad muy baja



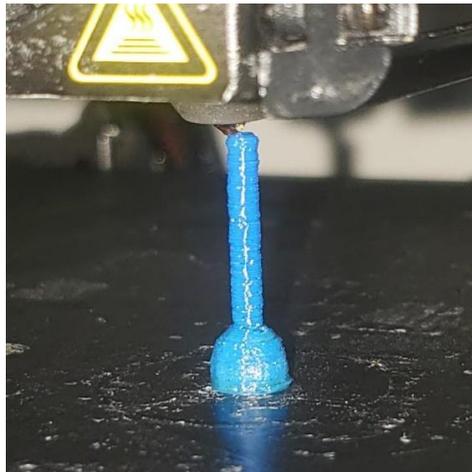
Estos patrones de comportamiento se presentaron de manera constante en cada material con lo cual se decido trabajar con tamaños de objetos o prototipos de igual dimensión, para cada material. A todo esto, se puede decir que la velocidad es directamente proporcional al tamaño del objeto a imprimir.

Velocidad según Material

Durante el proceso de impresión de objetos se pudo observar que al momento de utilizar materiales no rígidos como el TPU y el PVA fue necesario bajar las velocidades para evitar que el cuerpo a imprimir se mueva o tambalee durante el proceso, debido a que los cuerpos a imprimir son flexibles, en la Figura 38 se observa la impresión de una rótula flexible pequeña de características sencillas pero susceptible de que se mueva durante el proceso.

Figura 38

Impresión en TPU con velocidad baja



Mallado Interno

Para la creación de figuras y prototipos de prueba se utilizó 2 tipos diferentes de mallado interno, con porcentajes distintos de relleno distintos según el material que se llegue a utilizar, cabe mencionar que tanto las 4 primeras capas y las 4 últimas capas de impresión para el caso del proyecto son sólidas debido a la configuración realizada mientras que el resto de capas intermedias contienen relleno según la configuración.

Para el desarrollo experimental se realizó figuras sin mallado interno (huecas-vacías) por lo tanto el porcentaje de relleno fue calibrado en 0%, para el análisis micrográfico se realizaron cubos de 20*20*20[mm] con un porcentaje de relleno del 60% con un patrón de relleno triangular con la finalidad de disponer de un relleno considerable para el análisis micrográfico y posterior al análisis se realizaron probetas de tracción con un relleno al 100% como se puede observar en la Figura 39 en la cual se realizan las probetas de validación de adherencia y el relleno es de 100%

Figura 39

Impresión de probetas con relleno al 100%



CAPITULO III

Resultados

Los datos obtenidos se analizan con $\pm 2\%$ de contracción debido al comportamiento usual de los polímeros ya que se encuentran en un proceso de enfriamiento en el proceso de manufactura aditiva FMD.

Resultados de calibración de Flujo una vez encontrados los parámetros de flujo adecuados se procede a realizar la validación de la pared del cubo impreso con la finalidad de poder obtener el espesor de la pared configurada inicialmente que es de 0.8mm para lo cual se presentan los siguientes datos según cada filamento.

PLA: 94.11 % de flujo

Resultado: espesor de pared PLA 0.8mm ver Figura 40

Figura 40

Resultado flujo PLA



Adicionalmente se toman medidas de todos los cubos realizados puesto que los mismos se los realiza con el porcentaje de flujo obtenido y para esto se obtienen los resultados que se visualizan en la Tabla 6 donde se presentan

también los valores mínimos máximos y el promedio de comportamiento de las medidas obtenidas.

Tabla 6

Medidas básicas de los cubos en PLA

PLA cubos de 20*20*20 [cm]	LARGO [cm]	ANCHO [cm]	ALTO [cm]
M195	20,00	20,00	20,00
M200	19,99	20,01	19,99
M205	20,01	19,98	20,01
M210	19,99	19,98	19,98
M215	20,01	19,99	19,99
M220	19,99	20,01	20,00
M225	20,02	20,00	20,02
M230	20,02	20,01	20,01
Mmin	19,99	19,98	19,98
Mmax	20,02	20,01	20,02
Mprom	20,00	20,00	20,00

En las Figuras 41 y 42 se observa el comportamiento obtenido de las muestras realizadas con lo cual se puede ver una creciente en las medidas a mayor temperatura, así como también la dispersión que se obtuvo tomando en cuenta las tolerancias de trabajo permisibles, además con esto se puede validar el porcentaje de flujo al cual fue calibrado el proceso ya que las medidas obtenidas se encuentran dentro de los límites de control, ver Anexo 7

Figura 41

Control de Comportamiento PLA

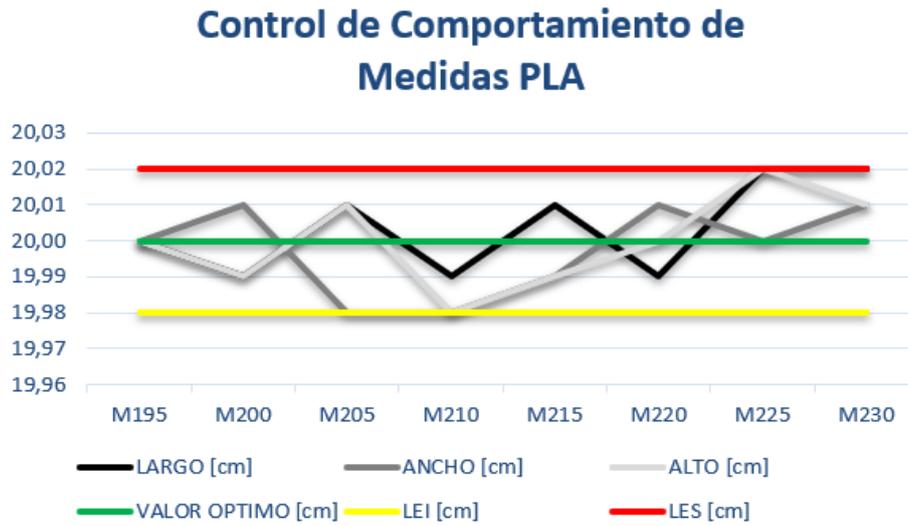
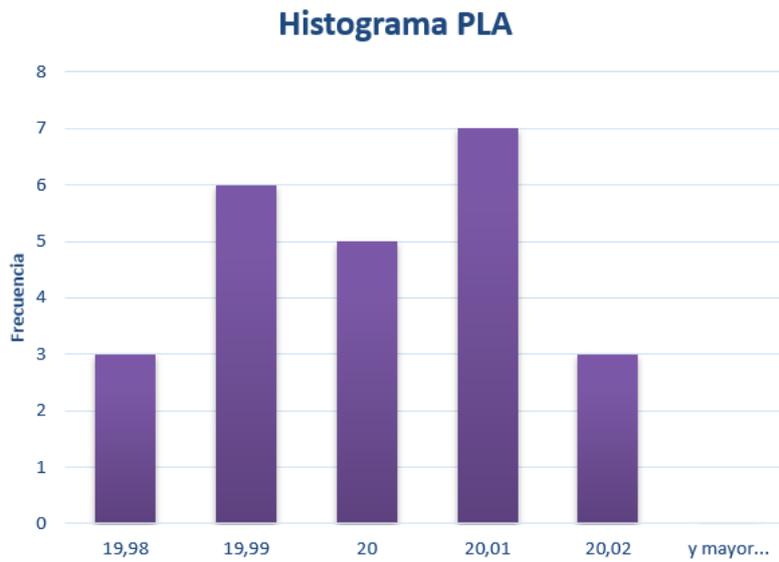


Figura 42

Histograma del comportamiento del PLA



ABS: 95.23 % de flujo

Resultado: espesor de pared ABS0.8mm ver Figura 43

Figura 43

Resultado Flujo ABS



Después de realizar el ajuste de flujo se procede a tomar las medidas de los cubos que se realizaron y para esto se muestra la Tabla 7 donde se puede observar los datos referentes a las tres medidas básicas de un cubo además de los valores mínimos máximos y el promedio de las medidas obtenidas

Tabla 7

Medidas básicas de los cubos en ABS

ABS cubos de 20*20*20 [cm]	LARGO [cm]	ANCHO [cm]	ALTO [cm]
M240	20,00	19,99	20,00
M245	20,01	20,00	19,99
M250	19,99	20,00	19,98
M255	19,98	19,99	20,02
M260	20,00	19,98	20,01
M265	20,02	19,99	20,01
M270	20,00	20,00	19,98
Mmin	19,98	19,98	19,98
Mmax	20,02	20,00	20,02
Mprom	20,00	19,99	20,00

En la Figura 44 y 45 se puede ver un comportamiento irregular con tendencia creciente en las temperaturas más altas, con una dispersión adecuada y

marcada en el valor optimo deseado, sin embargo, todos estos comportamientos se encuentran dentro de los limites estadísticos con los cuales se llega a validar la calibración del porcentaje de flujo, revisar Anexo 7.

Figura 44

Control de Comportamiento ABS

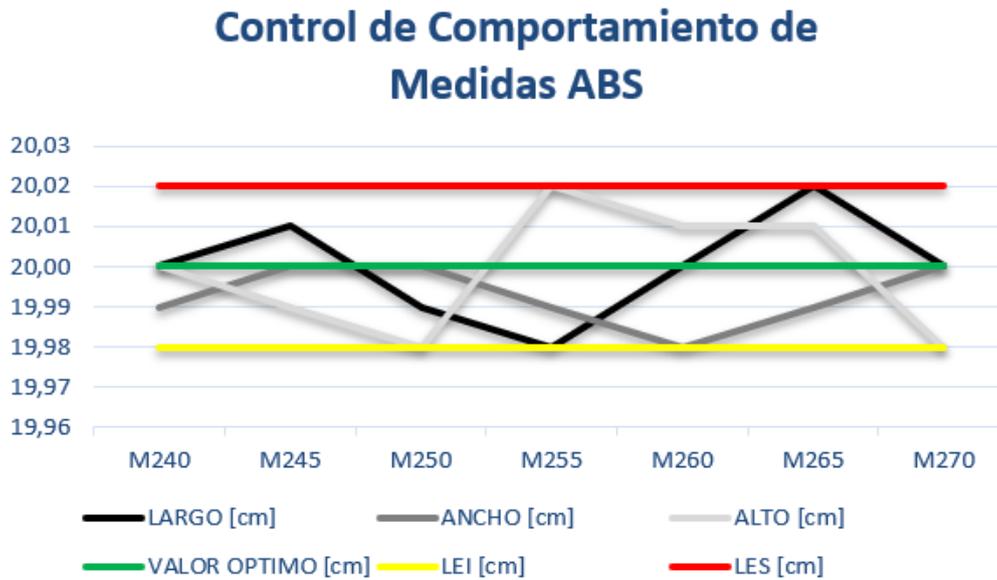
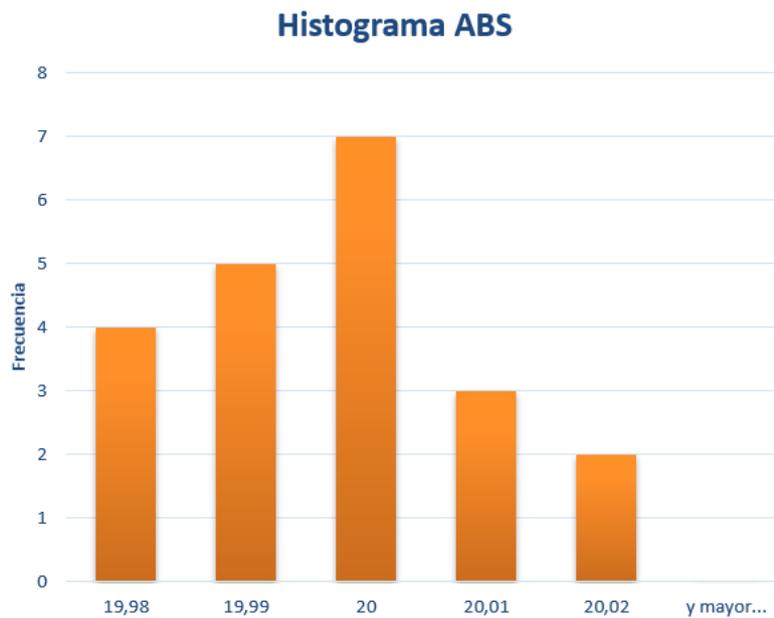


Figura 45

Histograma del comportamiento del ABS



TPU: 93.02 % de flujo

Resultado: espesor de pared TPU 0.8mm ver Figura 46

Figura 46

Resultado Flujo TPU



La calibración de flujo para el TPU se lo realizo durante todo el proceso de creación de los prototipos con lo cual se llegó a validad las dimensiones referentes a largo ancho y alto de un cubo para lo cual se presenta la Tabla 8 donde se muestra las medidas obtenidas.

Tabla 8

Medidas básicas de los cubos en TPU

TPU cubos de 20*20*20 [cm]	LARGO [cm]	ANCHO [cm]	ALTO [cm]
M210	19,99	20,01	19,98
M215	20,00	20,00	19,99
M220	19,98	20,02	19,99
M225	20,01	19,99	20,00
M230	19,99	19,99	20,00
M235	20,02	20,00	19,99
M240	20,01	20,01	20,00
M245	20,00	20,01	20,01
Mmin	19,98	19,99	19,98
Mmax	20,02	20,02	20,01
Mprom	20,00	20,00	20,00

En la Figura 47 y 48 se observa que el comportamiento de las medidas obtenidas de los cubos realizados es adecuado ya que no salen de los límites estadísticos y una dispersión favorable y acertada en el valor óptimo requerido establecidos para referencia revisar el Anexo 7.

Figura 47

Control de Comportamiento de TPU

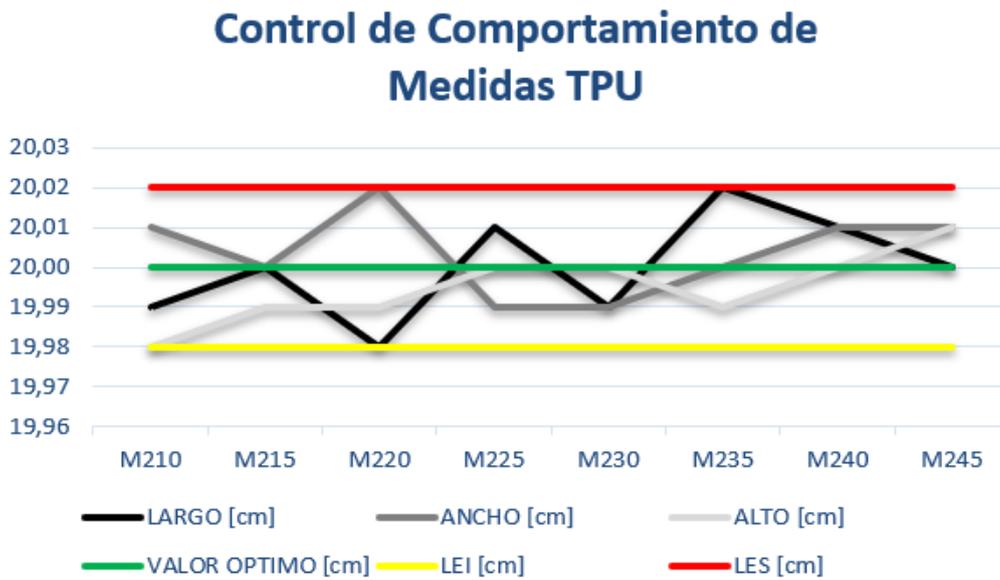
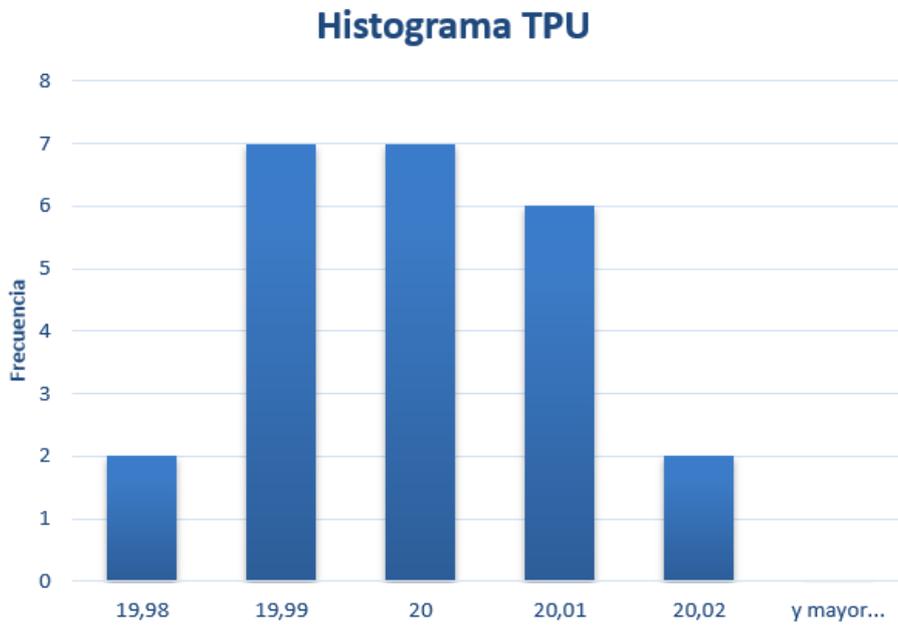


Figura 48

Histograma del comportamiento del TPU



PVA: 87.91 % de flujo

Resultado: espesor de pared PVA 0.8mm ver Figura 49

Figura 49

Resultado Flujo PVA



Posterior a la calibración de flujo para el PVA se realizó la creación de los prototipos que serían analizados para lo cual se tomaron medidas referentes a largo, ancho y altura para validar el resultado obtenido y estos resultados se

presentan en la Tabla 9 que se muestra a continuación seguida de los valores mínimos máximos y el promedio que nos arrojan estos datos.

Tabla 9

Medidas básicas de los cubos en PVA

PVA cubos de 20*20*20 [cm]	LARGO [cm]	ANCHO [cm]	ALTO [cm]
M180	19,98	20,00	19,98
M185	19,99	19,99	20,01
M190	19,99	19,98	20,01
M195	19,98	19,98	20,00
M200	20,01	20,02	19,99
M205	20,01	20,01	20,01
M210	20,00	20,01	19,99
M215	19,99	20,00	20,00
M220	20,01	20,01	20,02
M225	20,02	20,02	20,01
Mmin	19,98	19,98	19,98
Mmax	20,02	20,02	20,02
Mprom	20,00	20,00	20,00

En la Figura 50 y 51 se observa que los datos obtenidos se encuentran dentro de los límites de control, así como también un histograma con una dispersión favorable y marcada a la derecha del valor optimo sin salir de los límites, para muestra se puede revisar el anexo 7, con los cual se puede validar la calibración referente al porcentaje de flujo.

Figura 50

Control de Comportamiento

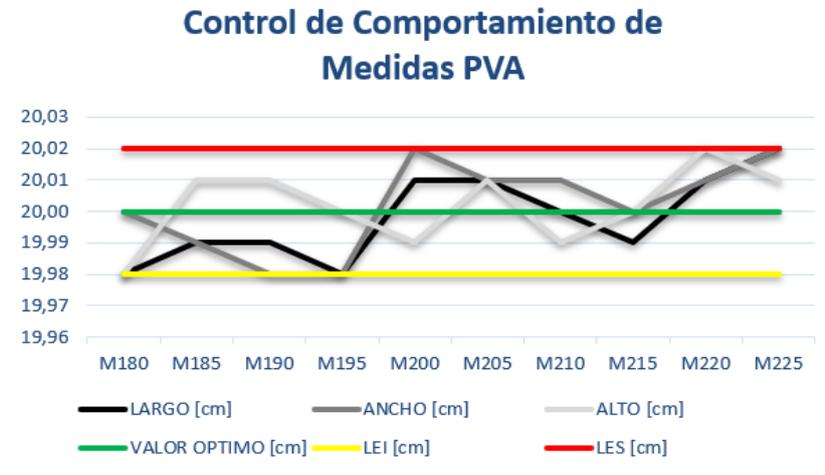
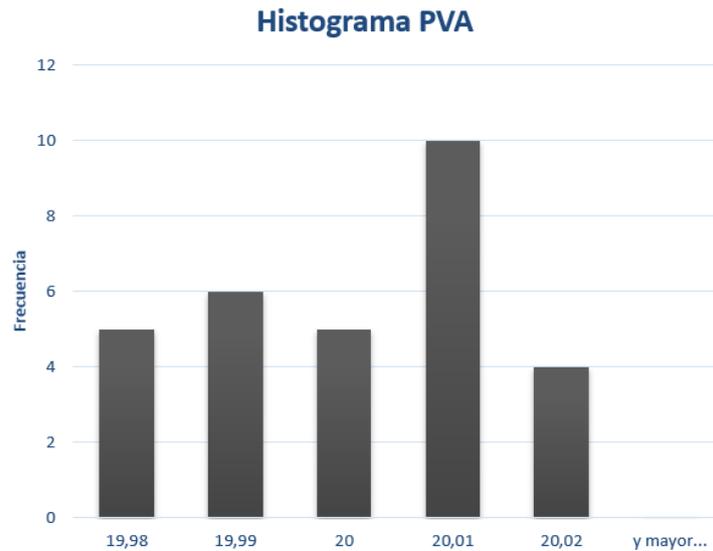


Figura 51

Histograma del comportamiento del PVA



En la Tabla 10 se muestra un resumen de los resultados obtenidos después de la parametrización según el cálculo de flujo tomado en cuenta que el flujo es proporcional según dada persona.

Tabla 10

Resultados de Flujo

	MATERIAL
--	-----------------

CARACTERISTICA CALIBRACION	PLA	ABS	TPU	PVA
Calibración de flujo (%)	100	100	100	100
Espesor de pared deseada (mm)	0.8	0.8	0.8	0.8
Espesor obtenido (mm)	0.85	0.84	0.86	0.91
Porcentaje de Flujo adecuado (%)	94.11	95.23	93.02	87.91

Con estos resultados se realizó la configuración de posteriores elementos que se crearan durante el desarrollo del análisis.

Análisis de Adherencia.

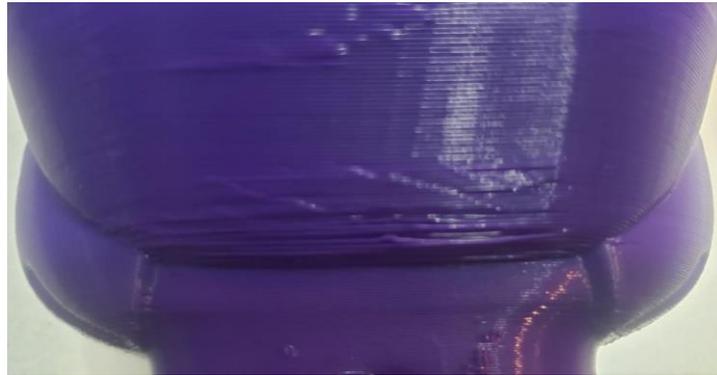
Dentro para la obtención de resultados de este proceso fue necesario realizar cortes transversales a las capas de impresión para verificar mediante el uso de microscopio la adherencia existente en la parte interna de los sólidos creados y así de esta manera poder validar los rangos de trabajo establecidos por el proveedor en lo que se refiere a temperaturas del extrusor.

Adherencia PLA.

Durante la visualización de resultados para este material se pudo observar en primera instancia que el rango de trabajo es el adecuado debido a que al trabajar con temperaturas inferiores a 195 se observa que los prototipos son vulnerables a la delaminación capa por capa como se puede observar en la Figura 52, o incluso se podría llegar a observar que el material no logra llegar al punto de fusión para poder ser extruido.

Figura 52

Impresión PLA con mala adherencia

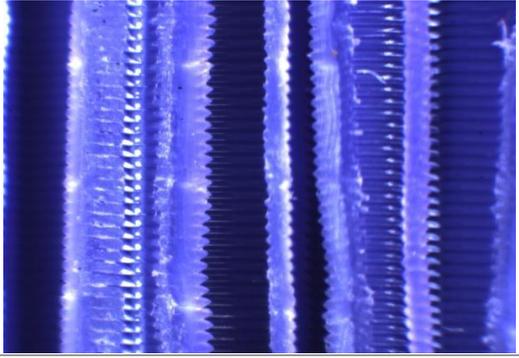
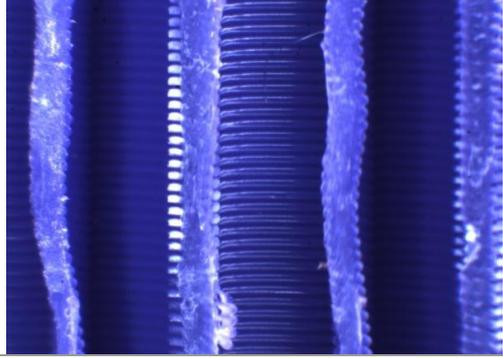
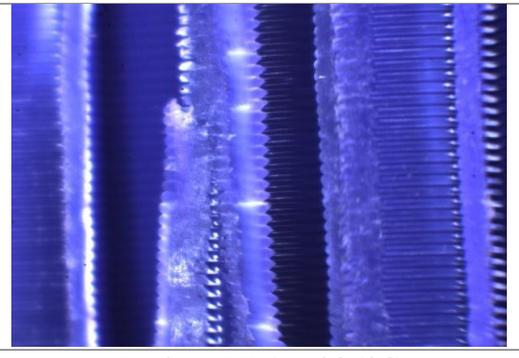
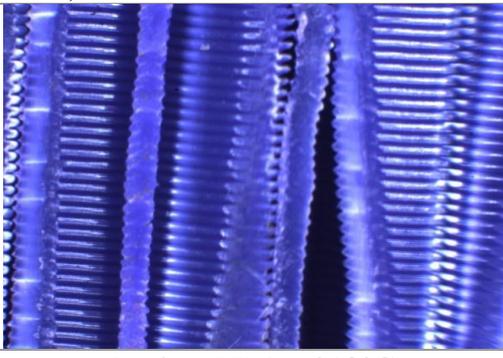
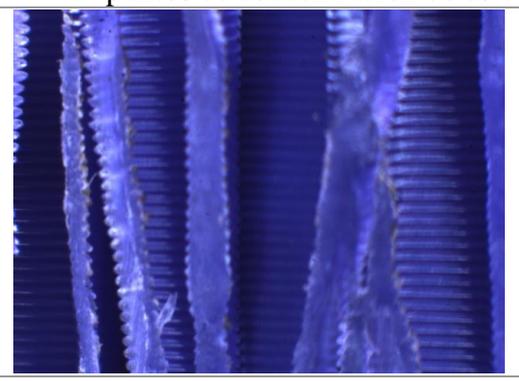
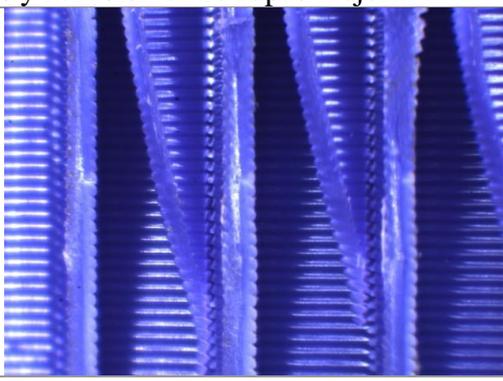


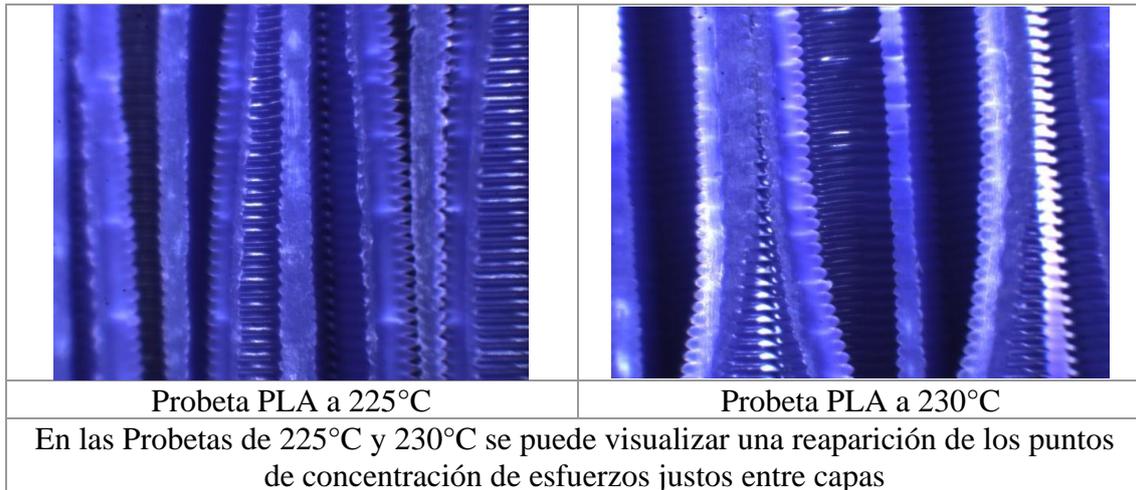
Por lo tanto, los resultados que entraron al análisis son los que se encuentran en el rango de trabajo sugerido por el fabricante y superados en 10 °C para validar posibles hipótesis donde a mayor temperatura mayor adherencia.

En la Tabla 11 se puede observar la adherencia que existe según la temperatura que se utilizó en el extrusor.

Tabla 11

Resultados PLA

	
Probeta PLA a 195°C	Probeta PLA a 200°C
Entre las probetas de 195°C y 200°C se puede observar una diferencia de puntos de concentración de esfuerzos generados durante el seccionamiento de las probetas, a mayor temperatura los puntos de concentración de esfuerzos disminuyen (puntos o destellos blancos).	
	
Probeta PLA a 205°C	Probeta PLA a 210°C
Entre las Probetas de 205°C y 210°C se puede observar la pérdida de la línea de fusión entre capas (altura de capa 0.2 mm), puesto que existen paredes que no tiene puntos de concentración de esfuerzos y la fusión entre capas mejora	
	
Probeta PLA a 215°C	Probeta PLA a 220°C
En las probetas 215°C y 220°C se observan muy pocos defectos referentes a concentración de esfuerzos generados a causa del seccionamiento de las probetas, las paredes se muestran con mayor solidificación.	



Según la tabla se puede observar que la adherencia crece progresivamente hasta 220°C cabe mencionar que la altura de cada capa es de 0.2mm, a partir de las imágenes correspondientes a 225°C y 230°C que existe una pérdida de adherencia puesto que por una parte se supera el rango de temperatura preestablecido por el fabricante, mientras que las temperaturas ubicadas entre 205°C a 220°C son las que mejor adherencia según imagen ya que se pueden observar rellenos bastante sólidos incluso a pesar de los cortes no se observan mayores rasgos de fracturación entre capas. Para validar esta primera etapa se realizarán 4 probetas adicionales con valores de impresión de 205°C a 220°C con porcentajes de relleno de al 100%.

Adherencia ABS.

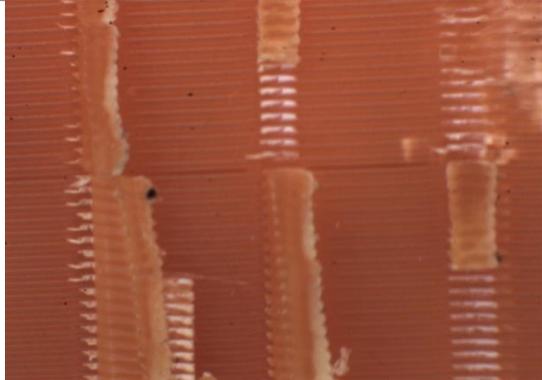
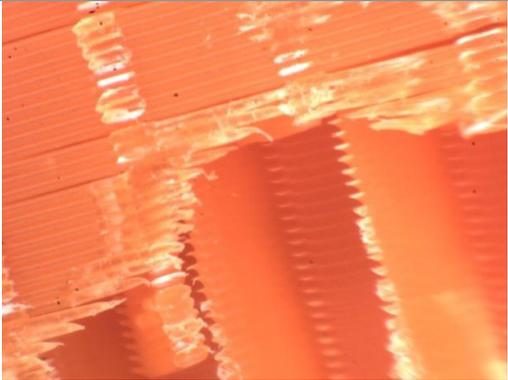
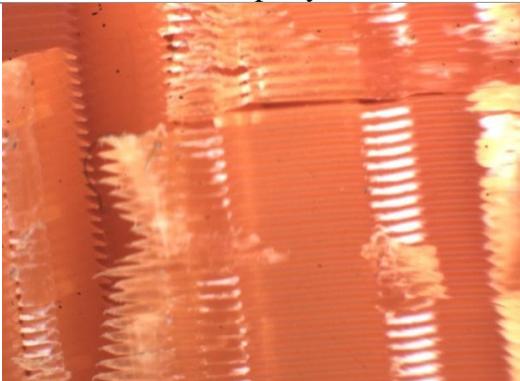
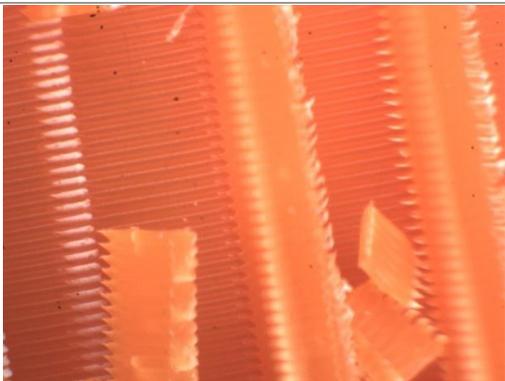
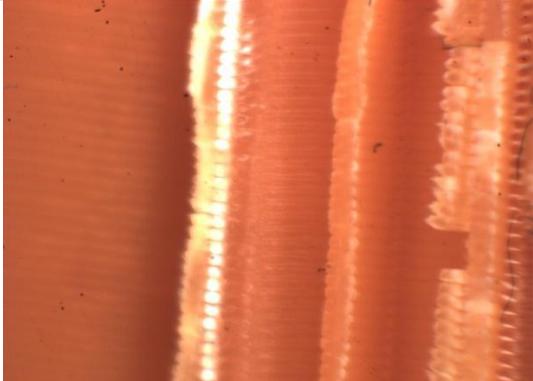
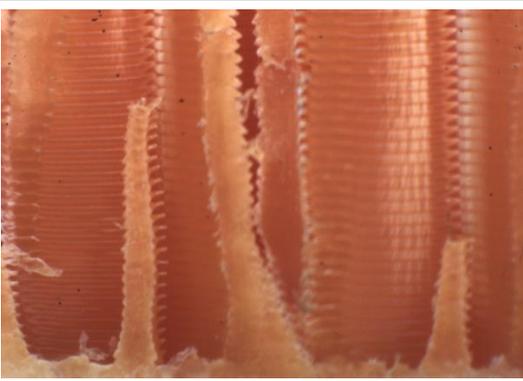
Durante el proceso de calibración de parámetros de trabajo referentes a temperatura inicialmente se pretendía llegar a temperaturas de hasta 280°C es decir 10°C por encima de los recomendados por el fabricante, sin embargo al momento de realizar las impresiones desde la Ender 3PRO se observó que al llegar a temperaturas superiores a 270°C en el extrusor, la impresora generaba un error por lo cual no permite elevar más la temperatura, adicionalmente desde el control

solo se puede elevar la temperatura hasta 255°C es decir que cuando se trata de una regulación manual de la temperatura no se podrá exceder el límite mencionado anteriormente.

En la tabla 12 se puede observar la adherencia del material sin embargo se trabajó tan solo con el rango sugerido por el fabricante puesto que después de haber realizado los test de temperatura se observó que a temperaturas inferiores a 240°C existe delaminación de las capas y temperaturas inferiores fueren descartadas.

Tabla 12

Resultados ABS

	
Probeta ABS a 240°C	Probeta ABS a 245°C
Las probetas correspondientes a 240°C y 245° presentan delaminaciones entre ciertas capas y es notorio las capas en la sección cortada.	
	
Probeta ABS a 250°C	Probeta ABS a 255°C
Para el caso de las Probetas de 250°C y 255°C se puede observar una mejor adherencia a comparación de las dos probetas anteriores, donde se puede observar que posterior al corte las secciones analizadas presentan cierta resistencia lo cual se ve en las fotografías debido a que existen esfuerzos.	
	
Probeta ABS a 260°C	Probeta ABS a 265°C
En las Probetas de 260°C y 265°C los esfuerzos aumentan mientras que por otra parte la sección analizada se muestra más sólida y se llegan a perder las líneas entre capas.	



Probeta ABS a 270°C

En esta probeta puntualmente ya se puede observar una solidificación mayor debido a que la sección analizada presenta pequeños esfuerzos y escasas líneas entre capas.

Según la Tabla 12 se puede observar que la adherencia está presente en los prototipos que fueron realizados bajo condiciones de temperatura superiores o iguales a 255°C puesto que son imágenes que contienen menor número de fallas, además se pueden observar rellenos más sólidos, se debe tomar en cuenta que el proceso de corte que se realizó puede interferir en los resultados por tal motivo en la siguiente etapa se desarrollarán probetas sólidas con relleno al 100% con temperaturas desde 255°C hasta 270°C en intervalos de 5°C

Adherencia TPU

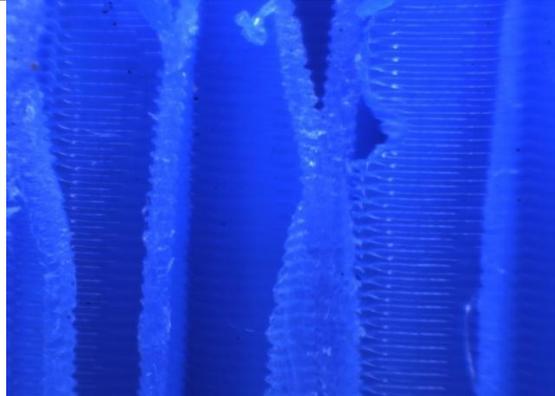
Para la fabricación de los prototipos de prueba con este material fue necesario regular la velocidad tomando en cuenta que se trataba de un objeto sólido el cual no se veía afectado en gran manera por la velocidad de impresión, llegando así de esta manera para el caso puntual de un cubo de 20*20*20 [mm] a una velocidad de 20mm/s

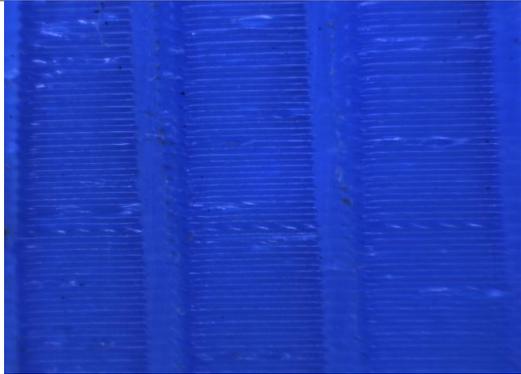
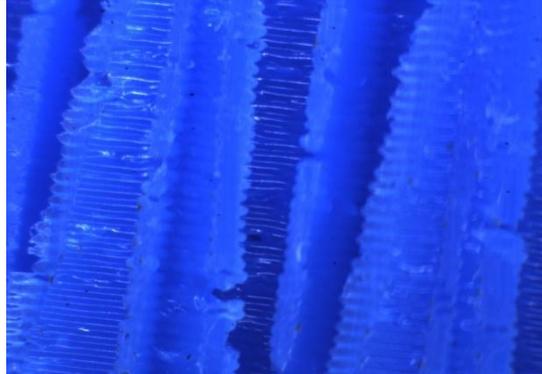
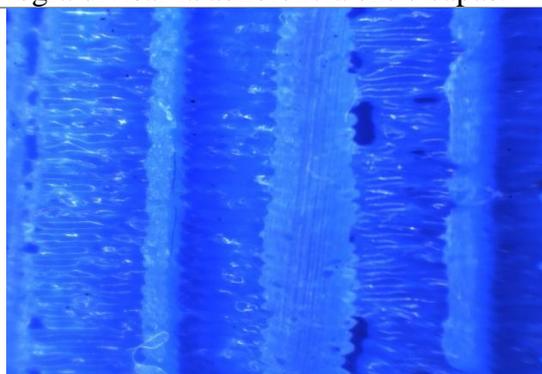
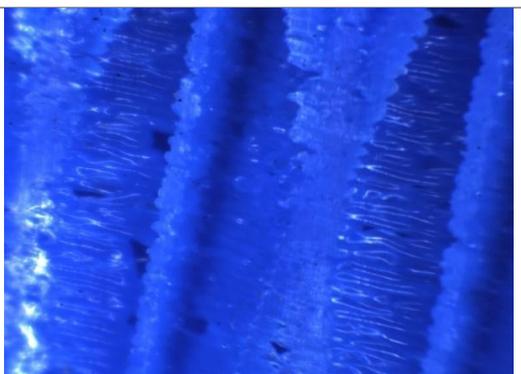
Durante la realización de los prototipos se observó también que este material por tener un valor bajo de shore es decir que la dureza del

material no es tan alta a comparación de materiales como el ABS y el PLA es necesario trabajar con velocidades bajas puesto que si el prototipo a realizar tiene como característica ser alargado y de espesores bajos es necesario llegar a trabajar incluso con velocidades inferiores a 10 mm/s para amortiguar el movimiento de impresión con la finalidad de reducir las vibraciones generadas por el proceso propio de impresión durante la creación de prototipos.

Temperaturas superiores a 245° C fueron complicadas de imprimir puesto que el material pierde propiedades como el cambio de color debido a que el material se empieza a quemar, consecuentemente este tiende a generar una impresión mala o no se puede imprimir

Tabla 13
Resultados TPU

	
<p>Probeta TPU a 210°C</p>	<p>Probeta TPU a 215°C</p>
<p>Las secciones que se pueden observar en las Probetas correspondientes a 210°C y 215°C muestran pequeñas porosidades sin embargo se puede observar una solidificación entre capas.</p>	

	
Probeta TPU a 220°C	Probeta TPU a 225°C
En las probetas correspondientes a 220°C y 225°C en los contornos de las secciones analizadas se empieza a divisar las capas y los poros presentes en el interior de las secciones.	
	
Probeta TPU a 230°C	Probeta TPU a 235°C
En el caso de las probetas de 230 y 235°C se puede llegar a decir que a medida que aumenta la temperatura las porosidades entre capas aumentan sin embargo también se logra divisar la adherencia entre capas.	
	
Probeta TPU a 240°C	Probeta TPU a 245°C
Para el caso de las probetas de 240° y 245°C la solidificación entre capas existe sin embargo se pueden llegar a ver ciertas porosidades entre capas en los contornos externos	

De los resultados obtenidos en la tabla 13, se puede observar que la adherencia en este material que los valores entre 225°C y 240°C son aquellos que mejor adherencia presentan sin embargo uno de los defectos que se puede observar en las temperaturas

entre 235°C y 245°C es que la definición de cada capa es baja y con más irregularidades en los bordes y las paredes externas. Para validación de las temperaturas que se consideran mejores en adherencia se realizaron impresiones de probetas solidas con rellenos de 100% en temperaturas de 225° a 240°C y a una velocidad de 20% manteniendo así la calidad de impresión anterior.

Adherencia PVA

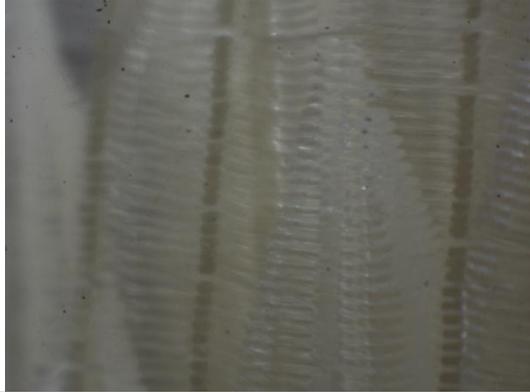
Durante el proceso de creación de los sólidos con material PVA se pudo observar de manera gradual que a mayor temperatura mayor conflictos de impresión incluso al superar ciertas condiciones terminas el material tiende a hervir por lo cual presenta imperfecciones y dificultades para mantener la creación de un sólido.

Para el caso puntual de este material se debe considerar que es un material de aporte para realizar soportes de los prototipos a imprimir por lo cual no debe afectar la parte de adherencia sino más bien temperaturas con adherencia baja y de buen comportamiento durante el proceso por lo cual se observó que las características de trabajo de este material tienden a ser similares al TPU en lo que se refiere a la velocidad de impresión ya que se trata de un material flexible el cual necesita mantenerse fijo durante la impresión para evitar de inconvenientes referentes a deformaciones por vibraciones. Mientras que en lo referente a la temperatura de la cama de impresión preferiblemente esta debe superar los 50°C de temperatura o a su vez tiene que ser trabajada con material de aporte para adherencia.

Tabla 14

Resultados PVA

Para las probetas de PVA se puede llegar a decir que a mayor temperatura el material presenta ciertas imperfecciones lo cual puede tener afección con los prototipos finales, a medida que se aumenta la temperatura del extrusos para el trabajo con PVA el material pierde propiedades ya que este presenta un comportamiento poco controlable durante su extrusion.



Probeta PVA a 185°C



Probeta PVA a 190°C



Probeta PVA a 195°C



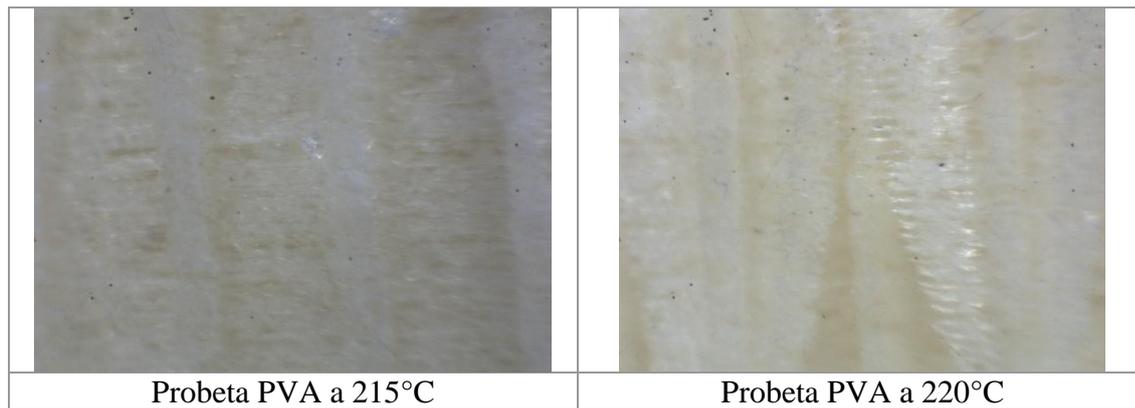
Probeta PVA a 200°C



Probeta PVA a 205°C



Probeta PVA a 210°C



Después de obtener los resultados que se observaron en la tabla 14 se encuentra que el PVA al contrario del resto de materiales analizados se comporta de mejor manera en los límites inferiores de los rangos preestablecidos debido a que al análisis micrográfico muestra menos espacios vacíos entre cada capa debido a que el material al superar temperaturas de 210 empezó a hervir y consecuentemente el material almaceno burbujas de vapor se puede llegar a decir que el material hervía debido al sonido de trabajo inusual ya que se podía escuchar pequeños barbuquejos provenientes del extrusor, por tal motivo el flanco menor que consiste en temperaturas de 190°C a 200°C contiene menor número de imperfecciones en el análisis incluso el control de trabajo es mucho mejor ya que no se emitirían sustancias que pueden llegar a ser consideradas toxicas.

Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos antes, durante y después de pasar por la curva de aprendizaje durante la puesta en marcha del equipo fueron favorables puesto que como se muestra en la siguiente Figura 53

Figura 53

Prototipos iniciales con fallas visuales



En proceso se determinaron puntos críticos que se relacionan con el comportamiento de cada material utilizado como por ejemplo la velocidad, la temperatura de extrusión como la temperatura de la cama, parámetros que son planteados dentro del análisis del presente trabajo. Además, para lo cual también se llegó a caracterizar el nivel de dificultad de impresión mediante la representación de la siguiente Tabla 15

Tabla 15

Evaluación de dificultad según materiales

DIFICULTAD MATERIAL	BAJO	MEDIO	ALTO
PLA	✓		
ABS			✓
TPU		✓	

PVA		✓	
-----	--	---	--

En la Tabla 15 se observa la caracterización de dificultad que presentó la impresión de los 4 materiales utilizados para el presente trabajo donde se determinó que el PLA es el material considerado más fácil para realizar el proceso FDM y a su vez se encuentra el motivo por el cual este material es el más comercializado en el mercado en diversos colores mientras que el resto de materiales presenta ciertas limitaciones respecto a la gama de colores y presentaciones.

De manera general se realizan probetas solidas (relleno al 100%) con variaciones de temperaturas en incrementos de 5 grados tomando como datos referenciales los valores obtenidos en las tablas de resultados de cada material y la velocidad constante para cada material tomando en cuenta las dimensiones de la figura a realizar.

Para el análisis de resultados se realiza la creación de probetas basadas en la normativa ASTM D638-14 , pese a que el presente trabajo no tiene dentro de sus objetivos el análisis de tensión en las probeta, estas facilitan la realización del seccionamiento de las mismas para su posterior análisis ya que se las realiza con un porcentaje de relleno del 100% con la finalidad de poder visualizar la adherencia en toda la superficie que se realice el corte.

Como resultado se tiene las variables dependientes e independientes del proceso de manufactura aditiva

Variables Dependientes

- Velocidad
- Temperatura
- Programación
- Temperatura
- Protocolos de comunicación
- Refrigeración
- Tiempo
- Tamaño

Variables independientes

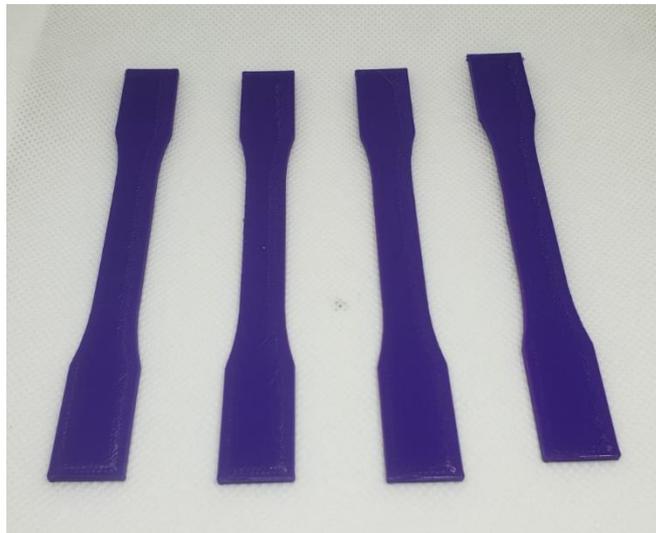
- Equipo
- Controladores
- Resistencia calefactora
- Sensores
- Extrusores

Análisis de Resultados PLA:

El proceso de impresión con PLA debe ser tomado en cuenta como uno de los primeros materiales a utilizar durante la impresión 3D para lo cual es necesario tan solo basarse en los parámetros sugeridos por el fabricante debido a que con esto se puede dar un punto de inicio para el trabajo con este material.

Figura 54

Probetas para validación de resultados PLA de 205°C a 220°C



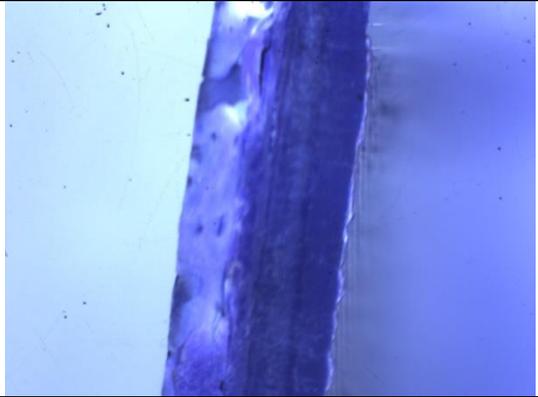
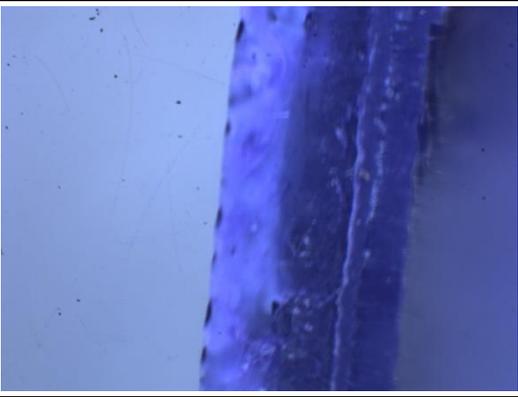
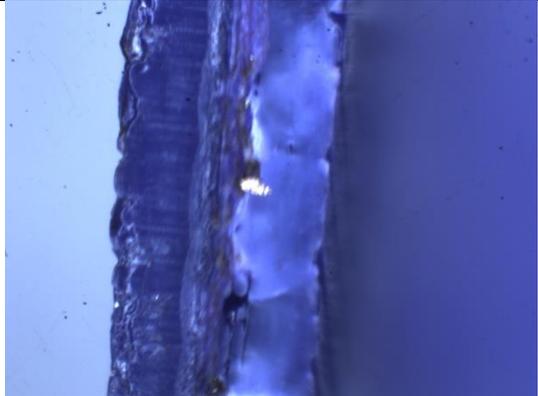
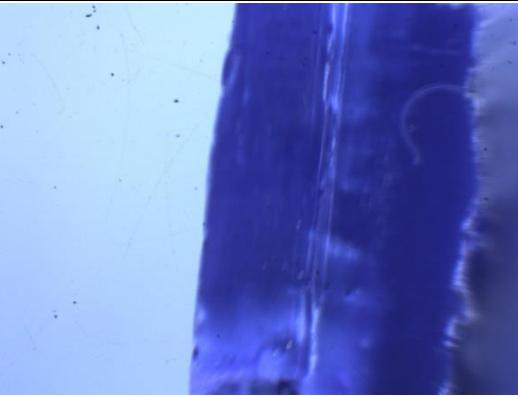
En la Figura 54 se puede observar las probetas realizadas para validar los resultados obtenidos previamente durante el análisis en lo que se refiere a temperaturas tomando en cuenta las mejores temperaturas de los resultados encontrados en la tabla 5.

En las figuras correspondientes a las temperaturas entre 210°C y 220° de la Tabla 16 se puede observar que se ha logrado definir el rango de trabajo para el material PLA

ya que mediante el uso del microscopio no se logra divisar imperfecciones relacionadas con la adherencia del material.

Tabla 16

Validación de resultados PLA al 100% de relleno

	
Probeta al 100% relleno 205°C PLA	Probeta al 100% relleno 210°C PLA
	
Probetas al 100% relleno 215°C PLA	Probetas al 100% relleno 220°C PLA

Después de verificar las temperaturas del fabricante y validarlas por medio de un test de temperatura se determinó que el rango de temperatura que establece el fabricante está relacionado directamente con la resolución y la adherencia de manera creciente como se puede observar en la Tabla 16

Tabla 17

Evaluación de Temperaturas PLA

Característica	Resolución	Adherencia
----------------	------------	------------

Temperatura		
195	✓	
200	✓	
205	✓	✓
210	✓	✓
215		✓
220		✓

Analizando los resultados obtenidos en la Tabla 17 se determina que a menor temperatura mayor resolución, mientras que a mayor temperatura mayor adherencia, se puede llegar a un punto medio de trabajo donde se puede tener resolución y adherencia en este caso puntualmente se puede decir que la temperatura de trabajo para adherencia fluctúa de 210°C a 220°C dependiendo del material que se utilice y en lo referente a velocidad se trabajó 40mm/s evitando así la separación entre capas, para respaldo de lo mencionado anteriormente se muestra en la Figura 55 una definición exterior de un contorno complejo bajo condiciones de temperatura y velocidad sugerida tomando en cuenta que se requiere seguir un patrón para que la deposición de materia sea capa a capa y estas se puedan fundir logrando de esta manera una adherencia adecuada.

Figura 55

Contornos complejos



Análisis De Resultados ABS:

El proceso de FDM mediante el uso de filamento ABS es uno de los más complicados tomando en cuenta que para la creación de prototipos con este material se requiere de soluciones que permitan mejorar la adherencia de la capa inicial con la superficie de impresión, así como también se debe considerar la temperatura de la superficie de impresión la cual fluctúa de 90°C a 105°C según los resultados obtenidos y con base en el tamaño de los objetos, el presente trabajo se desarrolló mediante el uso de goma en barra sobre la superficie de la cama caliente.

Figura 56

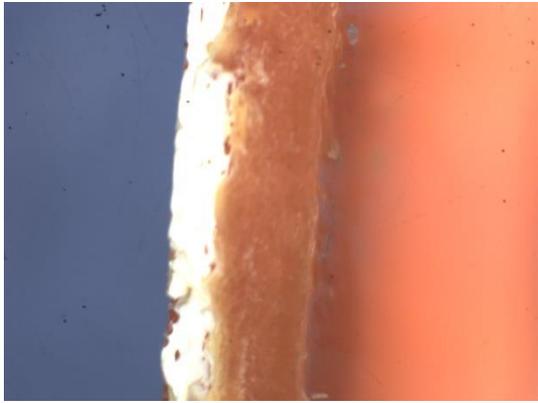
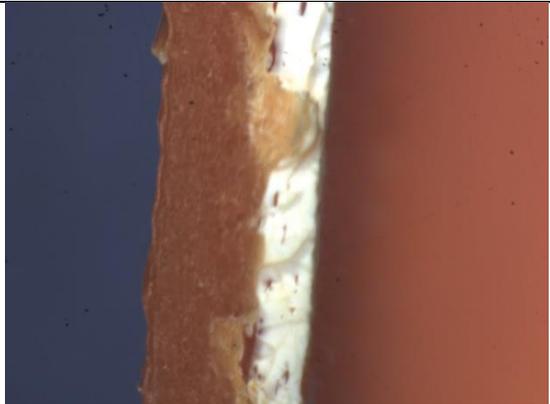
Probetas para validación de resultados ABS de 260°C a 270°C



En la Figura 56 se puede visualizar las probetas realizadas para el análisis tomando en cuenta como resultado previo los valores obtenidos, donde se puede observar menor número de imperfecciones en lo referente a adherencia, por otra parte, las temperaturas a las cuales se trabajó fueron de 260°C a 270°C con intervalos de 5°C. En la tabla 18 se podrá visualizar en análisis micrográfico de las probetas realizadas al 100% de relleno con una velocidad de impresión de 60mm/s.

Tabla 18

Validación de resultados ABS al 100% de relleno

	
Probeta al 100% relleno 260°C ABS	Probeta al 100% relleno 265°C ABS
	
Probeta al 100% relleno 270°C ABS	

En la tabla 18 se puede observar que la adherencia en las probetas realizadas si existe, sin embargo, también se puede visualizar una concentración de esfuerzos en parte de la sección cortada puesto que debido a la robustez de las probetas no se logró obtener un corte totalmente limpio sin embargo esto también nos puede indicar que el material esta adherido. La adherencia está presente más en las probetas que presentaron dificultad al cortar es decir las probetas que corresponden a 265°C y 270°C.

Durante la realización de prototipos con este material se observó que la variación de temperatura en los test genera inconvenientes netamente de adherencia puesto que los test se vieron afectados durante las capas de cambio de temperatura. Con base en las

temperaturas recomendadas por el fabricante se obtuvo los siguientes resultados que se presentan a continuación en la Tabla 19

Tabla 19

Caracterización de Temperaturas ABS

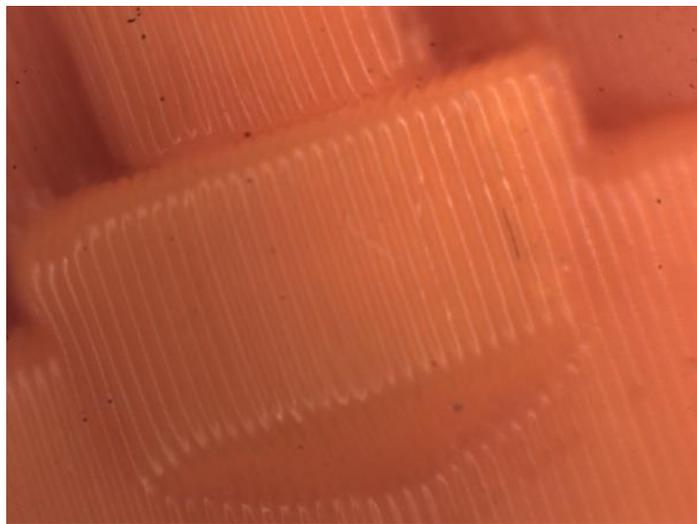
Característica Temperatura	Resolución	Adherencia
230		
235		
240	✓	
245	✓	
250	✓	✓
255	✓	✓
260	✓	✓
265		✓
270		✓

Después de observar los datos obtenidos se puede llegar a decir que se encuentra un mejor desempeño en el ABS a temperaturas que llegan al límite superior recomendado por el fabricante debido a que el test de temperatura presento inconvenientes de impresión a partir del nivel en el cual se empezó a imprimir con temperaturas inferiores a 240°C por tal motivo se llega a determinar que referente a la adherencia el ABS trabaja mejor en condiciones de alta temperatura y puntualmente

para mejorar adherencia en temperaturas iguales o superiores a 265°C la velocidad fluctua de 40 mm/s a 60mm/s según el tamaño de la impresión y en caso de exceder la velocidad de impresión se debe considerar que la calidad de la resolución de impresión bajara notablemente incluso se presentaran inconvenientes como la separación entre capas, para respaldo de lo mencionado anteriormente se muestra la Figura 57 donde se puede observar la adherencia exterior de un contorno complejo bajo condiciones de temperatura y velocidad sugerida.

Figura 57

Contornos complejos ABS



Análisis de Resultados TPU

Para la creación de prototipos con este material se inició con velocidades de impresión de similares características al PLA Y ABS motivo por el cual se observaron fallas que están relacionadas de manera directa con el tipo de material que es flexible y este a su vez esta relacionado directamente con la velocidad puesto que al realizar la deposición de material a velocidades superiores a 30 mm/s el cuerpo impreso después de una determinada altura empieza a vibrar con lo cual las características visuales del objeto se ven afectadas.

Figura 58

Impresión con TPU bajo condiciones inadecuadas de trabajo



Adicionalmente se encontró que es mucho más difícil crear objetos con bajos porcentajes de relleno debido a que se está utilizando un material flexible y este a su vez requiere de superficies de apoyo para mantenerse en el sitio que se desea durante el proceso para respaldo de lo antes mencionado se muestra la Figura 58 donde observamos que el objeto no se pudo imprimir debido a que él porcentaje de relleno fue inferior a 20% y con una velocidad de impresión de 40mm/s.

Figura 59

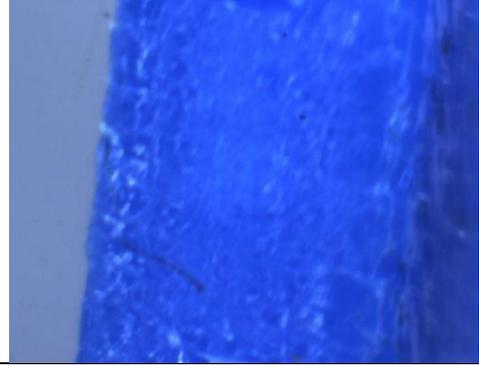
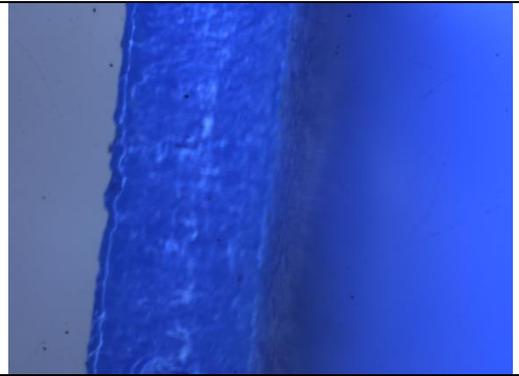
Probetas para validación de resultados TPU de 230°C a 240°C



En la Figura 59 se pueden visualizar las probetas realizadas para el análisis de resultados con base en la Tabla 20 seleccionando las temperaturas que presentaron mejor rendimiento en lo referente a la adherencia entre las capas.

Tabla 20

Validación de resultados TPU al 100% de relleno

	
Probeta al 100% relleno 230°C TPU	Probeta al 100% relleno 235°C TPU
	
Probeta al 100% relleno 240°C TPU	

Cabe mencionar que el comportamiento de este material para espesores de baja altura tiende a ser bueno, tomando en cuenta que las vibraciones generadas en proceso no afectan a la estabilidad de la pieza, sin embargo, las vibraciones generadas por proceso se ven reflejadas en cuerpos de características puntuales como cuerpos delgados y de alturas considerables.

La evaluación de temperaturas de que se muestra en la Tabla 21, se presentan temperaturas que tienen afecciones considerables para resolución y adherencia tomando en cuenta de que se trata de un material flexible y este debe ser evaluado como tal sin embargo encuentra un punto medio de trabajo que es 230°C puesto que resiste a la manipulación y no tiene grietas en sus contornos.

Tabla 21

Evaluación de Temperaturas TPU

Característica Temperatura	Resolución	Adherencia
220	✓	
225	✓	
230	✓	✓
235		✓
240		✓

La evaluación del TPU se puede decir que las características de trabajo referentes a velocidad de impresión deben ser iguales o inferiores a 30mm/s mientras que las temperaturas más adecuadas para obtener mejores resultados de adherencia fluctúan de 235°C a 240°C ya que se puede observar la adherencia en la parte interna de las probetas realizadas en condiciones de temperatura y velocidad sugerida.

Análisis PVA

Al tratarse de un material que comúnmente se utiliza como material exceso para la creación de prototipos con inclinaciones pronunciadas, no se obtuvo mayor información que nutra el proceso de fabricación de objetos para validar temperaturas y velocidades motivo por el cual se inició con el test de temperatura donde se encontró los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 22 y adicionalmente se observó

que el comportamiento de los objetos impresos en este material es muy similar al TPU motivo por el cual los parámetros de calibración referentes a velocidad resultaron siendo similares ya que se lograron realizar prototipos con velocidades iguales o inferiores a 30mm/s, además para el trabajo con este material es necesario utilizar temperaturas de la superficie de impresión similares a la temperatura de la superficie de impresión del ABS y de igual manera es necesario ayuda en la adherencia con pegamento en barra, caso contrario la adherencia entre la superficie y la capa inicial se verá afectada y se obtendrán objetos como los que se muestra en la Figura 60 donde se puede observar exceso de material en un solo punto ya que antes de terminar el proceso FDM el objeto se desprendió de la superficie de impresión, además de problemas relacionados con exceso de temperatura.

Figura 60

Objeto con defectos relacionados con la adherencia

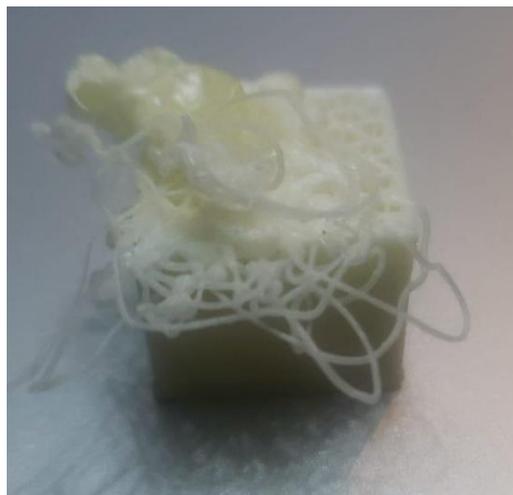


Tabla 22

Evaluación de Temperaturas PVA

Característica	Resolución	Adherencia
----------------	------------	------------

Temperatura		
190	✓	
195	✓	
200	✓	✓
205	✓	✓
210		✓
215		✓
220		✓

Los datos de temperatura que se observan nos muestran que a partir de los 200°C en adelante tanto la resolución como la adherencia es aceptable ya que con valores inferiores se tiene las dos afecciones.

Para este caso se puede llegar a determinar que en pro de la adherencia se debe utilizar temperaturas superiores a 215°C y constantes debido a que con temperaturas cambiantes e inferiores los defectos aumentarían ejemplo de ello se observó la separación en las capas de cambio de temperatura. Sin embargo, se debe tener claro que el PVA es un material de aporte para la realización de soportes que no son parte de las figuras que se realicen y lo que se desea obtener con la utilización de este material es un fácil desprendimiento del material de aporte de las figuras que se muestran en la tabla 18 obtenida, para muestra de ello podemos observar la Tabla 23

donde se observa un antes, durante y después de la utilización del material para la reacción de una caricatura que requiere soportes.

Tabla 23

Remoción de material de soporte PVA

	<p>Impresión de prototipos y figuras con material de aporte para soportes PVA, se realiza la creación de una figura animada con voladisos para la utilización de material de Soporte</p>
	<p>Proceso de Limpieza del material excedente mediante inmersión en agua, el proceso de limpieza de la figura consiste en sumergir a la figura por completo al agua con la finalidad de disolver el material de aporte en el agua y ayudar con la remoción de material de soporte.</p>
	<p>Prototipo final limpio</p>

En la Tabla 24 se puede observar un resumen comparativo de los resultados que se obtuvieron después de la creación de cada elemento impreso y los análisis respectivos.

Tabla 24

Resumen comparativo de Resultados

Característica	MATERIAL			
	PLA	ABS	TPU	PVA
Dificultad para impresión (Considerado como el comportamiento de cada material, velocidad, temperatura de extrusión, temperatura de la cama y trabajo en general)	BAJO	ALTO	MEDIO	MEDIO
Rango de temperatura establecido por fabricantes	Adecuado	Mejor a mayores temperaturas o cercanas al límite superior	Adecuado	Adecuado
Rango de temperatura de trabajo determinada en este trabajo	210°C-220°C	265°C-270°C	235°C-240°C	200 °C
Temperatura de superficie de impresión	40°C – 60°C	90°C -105°C	20°C – 40°C	90°C -105°C
Velocidad de impresión	40 mm/s	60 mm/s	< =30 mm/s	< =30 mm/s
% de relleno Utilizado	100%	100%	100%	100%
Defectos encontrados / Condiciones aptas de trabajo	*En una figura con contorno complejo se requiere seguir un patrón para que la deposición de material sea capa a capa y estas se puedan fundir logrando una adherencia adecuada.	*Baja adhesión de la capa inicial con la superficie de impresión / Requiere de soluciones que permitan mejorar la adherencia entre estas superficies. *Concentración de esfuerzos altos en piezas robustas. * Cambio de temperaturas genera inconvenientes de adherencia muy marcados * Excesos de velocidad de impresión hace que la calidad de la resolución de impresión baje notablemente hasta separación entre capas	*El cuerpo impreso después de una determinada altura empieza a vibrar y las características visuales se ven afectadas a velocidades superiores a 30 mm/s *Las vibraciones generadas por proceso se ven reflejadas en cuerpos delgados y de alturas considerables. *Para crear objetos con bajos porcentajes de relleno debido a que se está utilizando un material flexible y este a su vez	Baja adhesión de la capa inicial con la superficie de impresión y se observó exceso de material en un solo punto y antes de terminar el proceso FDM el objeto se desprendió de la superficie de impresión. / Requiere de soluciones que permitan mejorar la adherencia entre estas superficies * Separación entre capas a temperaturas cambiantes e inferiores a las sugeridas
Aditamentos adicionales o necesarios		*Uso de goma en barra sobre la superficie * Cama caliente	*Requiere de superficies de apoyo para mantener la pieza en el sitio que se necesita durante el proceso	*Uso de goma en barra sobre la superficie * Cama caliente
Ventajas	*Más comercializado entre los materiales disponibles *Gama amplia de colores *Diferente presentación		*Para espesores de baja altura tiende a ser bueno, tomando en cuenta que las vibraciones generadas en proceso no afectan a la estabilidad de la pieza	*Se utiliza como material exceso para la creación de prototipos con inclinaciones pronunciadas * Fácil desprendimiento del material de aporte de la figura obtenida

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los ensayos para identificar fallas en el proceso de manufactura aditiva FDM permiten realizar correcciones y mejoras constantes a los prototipos con el fin de alargar el tiempo de vida útil del objeto producido.

Seguir un orden lógico y ordenado de pasos de trabajo (SOP) ayuda a establecer las condiciones de trabajo adecuadas y obtener así objetos resistentes y a su vez repetibles dentro de trabajos para la industria. La implementación de un SOP permite estandarizar el proceso de manufactura aditiva FDM ya que se asegura el mejor trabajo posible con base en parámetros de regulación estándar como se puede ver en el ANEXO 1.

La estricta parametrización referente a la velocidad y temperatura del extrusor permite obtener una mejor adherencia y consecuentemente mejorar la calidad en resolución de los objetos creados, velocidades con mejor comportamiento según el material

- TPU \leq 30 mm/s
- PLA \leq 40 mm/s
- ABS \leq 50 mm/s
- PVA \leq 35 mm/s

Cada material tiene un rango de temperatura y velocidad de trabajo de acuerdo a la composición química de cada uno y se hace necesario determinar las condiciones de trabajo propias (temperatura ambiente, tipo de material, dimensiones de objeto a imprimir, características del equipo, etc.) debido a la

influencia que estas tienen durante el proceso. Las condiciones sugerencias por los proveedores de cada material pueden ser un buen inicio en esta búsqueda, pero dentro de los rangos propuestos por el proveedor se encuentran las temperaturas de adherencia.

- TPU 230 – 240 [°C]
- PLA 205 – 220 [°C]
- ABS 260 – 270 [°C]

La temperatura de trabajo del PVA a diferencia de los otros materiales está en el rango inferior es decir entre 190 y 200 °C por motivos de disminuir la adherencia y liberar la pieza creada con más facilidad.

La temperatura máxima recomendada por el fabricante debe ser respetada ya que el exceso de temperatura puede llegar a ser perjudicial afectando la parte visual o cambiando el tono del material, incluso para algunos casos como el PVA el material empieza a “hervir” cuando se excede el límite de temperatura.

La velocidad de impresión es función de la dimensión de la pieza final (Directamente proporcional), por lo cual es importante establecer esa relación desde la planeación del trabajo. La velocidad de impresión en materiales flexibles debe ser inferior a 40 mm/s según dimensiones del objeto, para evitar el movimiento de la pieza durante la impresión.

La velocidad de impresión en primera instancia se asigna de acuerdo a la dureza del material y la complejidad del contorno a imprimir, salvaguardando la calidad y definición de los prototipos. Si se excede la velocidad apropiada de impresión se disminuye la calidad de la impresión (menor resolución)

Una mala calibración inicial puede verse reflejada en el resultado de los prototipos principalmente en la base de las mismas CRAKING, WRAPING.

Los valores referentes a temperatura son susceptibles de cambio de acuerdo con la impresora utilizada puesto que estos valores dependen de la calibración del equipo y las condiciones operacionales en las que se encuentren, sin embargo, se puede llegar a decir que las mejores condiciones de trabajo para adherencia, son aquellas que están por encima del promedio de temperatura de trabajo sugerido por el fabricante del material es decir entre 15 a 20 grados menos del límite superior de cada material.

La adherencia del material en una pieza es función del patrón de impresión que se siga, puesto que si se imprime de manera aleatoria (relleno de Líneas) solo se tiene puntos que entran en contacto y la adherencia no se verá reflejada al momento de un análisis o incluso si se parametrizan porcentajes inferiores al 20% de relleno la pieza no resistirá. Los elementos o partes mecánicas deben de tener patrones de relleno superiores al 60%

RECOMENDACIONES

Antes de realizar el proceso de manufactura aditiva se debe verificar el estado del equipo en el cual se realizarán los prototipos y de ser el caso realizar un mantenimiento preventivo a fin de asegurar el correcto estado del equipo incluido la limpieza del equipo en general.

Imprimir probetas de prueba para obtener los objetos deseados tanto en espesores como en temperaturas, ya que para el caso de las temperaturas el valor real al cual se está extruyendo el material puede variar según la configuración del equipo.

Para validar parte del proceso antes de la impresión de los objetos es recomendable visualizar la simulación del trayecto del extrusor a fin de revisar configuraciones puntuales o que ayudan a mejorar el aspecto superficial de los objetos.

En caso de realizar una pieza con soportes estos dentro de la configuración deben ser calibrados con el menor porcentaje de material posible ya que gracias a esto el soporte se desprendería con más facilidad.

En caso de observar que la velocidad de impresión no es la adecuada se recomienda regular desde la perilla para que el porcentaje de trabajo aumente o disminuya según necesidades de esta manera se puede aprovechar el trabajo que está realizando el equipo sin detenerlo y echar a perder las capas ya impresas

Mantener una fuente de energía estable para reducir al máximo cualquier evento que resulte contraproducente para la fabricación de las piezas.

Es recomendable parametrizar cada prototipo a imprimir no solo por los valores referentes a temperatura y velocidad sino también por la funcionalidad del mismo para validar los porcentajes de relleno

La implementación de un SOP permite realizar una secuencia lógica y ordenada en pro del proceso de manufactura aditiva FMD.

Bibliografía

- La-Tecnología. (08 de 09 de 2022). *La Tecnología*. Obtenido de <https://la-tecnologia.com/columnas-la-tecnologia/impresion-3d-donde-el-abs-es-peligroso/>
- Bethany C. Gross, J. L. (2014). Evaluation of 3D Printing and Its Potential Impact on Biotechnology. *Analytical Chemistry*, 13.
- Calzado, M. J., & Galán, J. P. (22 de Noviembre de 2013). *La fabricación aditiva. La evidencia de una necesidad*. Obtenido de Canales Sectoriales: <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/116342-La-fabricacion-aditiva-La-evidencia-de-una-necesidad.html>
- Carpio, G. I. (2019). *Análisis de tracción de probetas impresas en 3d mediante deposición de hilo fundido de PLA, ABS y PLA MLO*. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana sede Cuenca.
- Collado, C. F. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Mc Graw Hill Education.
- Compton, B. G., Post, B. K., Duty, C. E., Love, L., & Kunc, V. (2017). Thermal analysis of additive manufacturing of large-scale thermoplastic polymer composites. *Additive Manufacturing*, 30.
- Dr. Cesar Omar Balderrama Armendáriz, D. S. (2014). Mejora de la superficie en objetos 3D impresos por inyección de aglutinante. *Academia Journals*, 6.
- Dr. Diogo José Horst, D. C. (2018). Additive Manufacturing at Industry 4.0: a Review. *International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)* , 6.
- Dra. Anilú Rubio Ríos, D. L. (2018). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de materiales poliméricos para re-uso en impresiones 3D. *Universidad Autónoma de Coahuila.*, 13.
- Edgar Absalón Torres Barahona, V. X. (2012). SISTEMA DE POSICIONAMIENTO APLICADO A LA TÉCNICA DE IMPRESIÓN 3D . *ResearchGate*, 9.
- Eduardo Meraz Trejo, X. J. (2020). Compressive deformation analysis of large area pellet-f, ed material extrusion 3D printed parts in relation to in situ thermal imaging. *ELSEVIER*, 11.
- Fernando Bordignon, A. A. (2018). *Diseño e Impresión de Objetos 3D*. Buenos aires: Unipe Editorial Universitaria.
- G. Reinoso. (2020). «Determinación del límite de resistencia a la tracción y compresión del material ácido poliláctico manufacturado mediante impresión 3d. *Repositorio Universidad Politécnica Salesiana*.
- Gipuzkoa, G. (2008). Fabricación Aditiva. *Red Gipuzkoa 4.0 de Fabricación Avanzada*, 12.
- GUARDIA-Puebla, Y., MÁRQUEZ-Delgado, J., SÁNCHEZ-Girón, V., LLANES-Cedeño, E. A., ROCHA-Hoyos, J. C., & PERALTA-Zurita, D. B. (2018). Mejoras a la asignatura Diseño Estadístico de Experimentos para estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica. *Espacios*, 10.
- Hernandez, K. V. (2012). A Review of Additive Manufacturing. 11.

- I. John Solomon, P. S. (2020). *Materials Today: Proceedings*. ELSEVIER, 6.
- joelfrax. (23 de Agosto de 2015). *Impresoras 3D*. Obtenido de frax3d:
<https://www.frax3d.com/impresora-3d>
- Jun Zhang, B. J.-G. (2018). 3D printing of silk particle-reinforced chitosan hydrogel structures and their properties. y *Gothenburg University Library*, 28.
- Kenn, y. L. (2016). Influencia del porcentaje de relleno en la resistencia mecánica en impresión 3D,. *Revista chilena de ingeniería*, 8.
- Lerma, J. R. (12 de 07 de 2021). *Interempresas*. Obtenido de Plastico:
<https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/355460-relacion-entre-Temperatura-transicion-vitrea-Tg-temperatura-cristalizacion-presion.html>
- López, J. M. (19 de Abril de 2019). *La primera impresora 3D: convirtiendo píxeles en materia*. Obtenido de hipertextual: <https://hipertextual.com/2019/04/primer-impresora-3d>
- Monar Naranjo, M. B. (2021). Parámetros en impresión 3D (FMD) y su influencia sobre la sugosidad superficial de polimeros. *Inclusiones*, 18.
- Osejos, J. V. (2016). *Caracterización de materiales termoplásticos de ABS y PLA semi rígido impresos en 3d con cinco mallados internos diferentes*. Quito: Universidad Politécnica Nacional.
- PAZ, E. (08 de 09 de 2022). *Eduardo Paz blog de disrupciones*. Obtenido de eduardopaz.com/10-problemas-o-peligros-de-las-impresoras-3d/
- Pérez Mendoza, E. (2018). *USO DE IMPRESIÓN 3D BICOMPONENTE*. Valladolid: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.
- Reyes, L. G. (2017). ANÁLISIS DOCUMENTAL DE LOS INCONVENIENTES DE LA IMPRESIÓN 3D. *3C Tecnología*, 6.
- Rodrigo Salazar-Gamarra, R. S. (2016). Monoscopic photogrammetry to obtain 3D models by a mobile device: a method for making facial prostheses. *Journal of Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 13.
- Rodríguez, B. M. (2017). *ESTUDIO SOBRE LA OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN EN UNA IMPRESORA 3D CON TECNOLOGÍA FMD*. Barcelona: Universidad Politecnica de Catalunya.
- S.M. Hosseinia, H. A. (2020). A novel layer by layer heterogeneous cation exchange membrane for heavy metal ions removal from water. *Journal of Hazardous Materials*, 10.
- Samuel Clark Ligon, R. L. (2017). *Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing*. Chemical Reviews.
- Sarah Romero. (21 de 03 de 2022). *El Confidencial*. Obtenido de El futuro sostenible de las casas de lujo impresas en 3D:

https://www.elconfidencial.com/medioambiente/empresa/2022-03-21/house-zero-casas-de-lujo-impresas-en-3d_3393899/

- Shweta Agarwala, G. L. (2017). Development of Bendable Strain Sensor with Embedded Microchannels using 3D Printing. *Sensors and Actuators A*, 21.
- The University of Maine. (10 de 2019). *The University of Maine*. Obtenido de UMaine Composites Center receives three Guinness World Records related to largest 3D printer: <https://umaine.edu/news/blog/2019/10/10/umaine-composites-center-receives-three-guinness-world-records-related-to-largest-3d-printer/>
- Thierry Rayna, L. S. (2015). From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business. *ELSEVIER*, 11.
- Tuan D. Ngoa, A. K. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods,. *ELSEVIER*, 25.
- Using Additives to Enhance Functionality of Thermoplastics. (2019). *Proto Labs*, 4.
- Valentina Mazzanti, L. M. (2019). FDM 3D Printing of Polymers Containing Natural Fillers: A Review of their Mechanical Properties. *Department of Engineering, Università degli Studi di Ferrara polymers*, 22.
- Voss, I. (2021). 3D Printing & Injection Molding:. *Xcentricmold*, 3.
- W. J. Sames, F. A. (2016). The metallurgy and processing science of metal. *nternational Materials Reviews*, 47.
- XCENTRIC Mold and Engineering. (2000). Injection Molding Best Practices . *Bayer Corporation*, 2.
- Yanchapaxi Mera Givaldo Josue, T. V. (2020). Determinación del límite de resistencia a la tracción y compresión del material ácido poliláctico manufacturado mediante impresión 3D. *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*.
- Ying Yang, S. Y. (2016). Anti-infective efficacy, cytocompatibility and biocompatibility of a 3D-printed osteoconductive composite scaffold functionalized with quaternized chitosan. *Acta Biomaterialia*, 46.

ANEXOS

ANEXO 1 PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACIÓN

IMPRESIÓN PIEZAS POR METODO FDM



PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACIÓN IMPRESIÓN PIEZAS POR METODO FDM

1. OBJETIVO

Establecer la secuencia de pasos para realizar la correcta impresión por el método FDM, asegurando el mejor trabajo posible.

2. DEFINICIONES

2.1 Filamento:

2.2 Cama de vidrio:

2.3 Cama Flexible:

2.4 Material de Soporte:

2.5 Test temperatura:

2.6 Test flujo:

3. CONDICIONES GENERALES

3.1 Peligros para Personas y/o Medioambiente

- ✓ Quemaduras
- ✓ Aspiración de vapores tóxicos (Función del material a utilizar y la temperatura de trabajo)

3.2 Precauciones Ambientales

- ✓ Mala disposición de desechos

3.3 Recursos Materiales Necesarios

- ✓ Calibrador con rango necesario según la pieza a imprimir

- ✓ Impresora 3D (Ender 3PRO)
- ✓ Cama Flexible (Preferible)
- ✓ Materiales para imprimir en 3D
- ✓ Goma en barra (Tipo resina vinílica)
- ✓ Software para imprimir en 3D

3.4 Precondiciones

- ✓ La cama de impresión debe estar fija y limpia. Para una correcta limpieza realizarla la remoción de la misma y limpiar la superficie con cualquier articulo de limpieza, secarla y sacudirla bien de cualquier tipo de partículas.
- ✓ La impresora funciona a 110 voltios.
- ✓ Las fichas técnicas de los materiales a utilizar deben estar disponibles y analizadas para establecer
- ✓ El Usuario/operador debe tener en cuenta el sitio donde se esté realizando la impresión ya que puede haber corrientes de aire que afecten el proceso de fundido y pegado de la impresión

4. ACTIVIDADES A REALIZAR

1. Nivelar la cama
2. Verificar materiales a utilizar
3. Realizar test de temperatura
4. Realizar test de Flujo
5. Parametrizar software
6. Imprimir

5. DESCRIPCION DE ACTIVIDADES

1. Nivelar la cama	
Actividad	Consecuencia de no hacer /Peligro
1.1 Coloque el extrusor en posición inicial “Home” o en posición 0,0,0 (x,y,z)	Daño de la cama o de la boquilla del extrusor.
1.2 Deshabilite motores	Daño del equipo. Golpe en manos.
1.3 Regule cama en cada esquina con la técnica de la hoja	Imperfecciones en producto final.
Nota: Realice mínimo 4 mediciones por cada esquina en la regulación de la cama.	
2. Verificar Materiales a utilizar	
Actividad	Consecuencia de no hacer /Peligro
2.1 Revise la ficha técnica de cada material y asegure conocer los rangos de temperaturas sugeridos por los proveedores	

2.2 Establezca las condiciones medias y los límites de trabajo	Pérdida de tiempo y material en el proceso
2.3 Revise condiciones físicas del material a utilizar (filamentos rotos, manchas, humedad)	Impresión fallida
3. Hacer test de temperatura	
Actividad	Consecuencia de no hacer /Peligro
3.1 Parametrice según la actividad 2.2 la temperatura del material, la velocidad y el G code para niveles de temperatura según el número de capas y la temperatura	
3.2 Imprima test	
3.3 Analice el resultado obtenido	Temperaturas erróneas Impresiones fallidas Falla en producto
3.4 Seleccione temperatura adecuada según requerimiento de funcionalidad	
Nota: Supervise el comportamiento de la impresión durante todo el proceso.	
4. Hacer test de flujo	
Actividad	Consecuencia de no hacer /Peligro
4.1 Imprima test de flujo (Cubo de 20 mm hueco) a la temperatura seleccionada en actividad 3.4	Mal acabado superficial de la pieza
4.2 valide prototipos impresos según medidas deseadas	
3.3 Establezca flujo adecuado	
5. Parametrizar Software	
Actividad	Consecuencia de no hacer /Peligro
5.1 Parametrice software con temperatura y flujo establecidos en actividades 3 y 4	Mal acabado superficial de la pieza
5.2 Establezca parámetros de laminación según objeto a imprimir	
6. Imprimir	
Actividad	Consecuencia de no hacer /Peligro
6.1 Encienda la impresora y precaliente el extrusor hasta temperatura seleccionada en actividad 3.4	
6.2 Alimente material	
6.3 Cargue objeto a imprimir	
6.4 Imprima	
6.4 Retire objetos y apague los equipos	Recalentamiento de equipos o daño
6.5 Inspeccione objeto y limpie área de trabajo antes de terminar las actividades	
Nota: No imprima por más de 15 h de trabajo puede presentarse daño del equipo. Permita que el tiempo total establecido por la impresora se agote, no quiera terminar el proceso antes o de manera acelerada	
Nota: cuando se realice impresiones de figura con materiales de aporte tomar en consideración que este material está adherido a la figura por lo tanto retirar el material	

excedente de una manera adecuado para evitar roturas

Nota: En caso de utilizar en la impresión material ABS utilice la goma en barra para adherir la pieza a la cama flexible o de vidrio y no exceder la temperatura del extrusor a más de 270°C en la impresora Ender 3PRO puesto que genera errores de trabajo y no imprime

Ficha de datos técnicos ABS

Ultimaker

Denominación química	Acilonitrilo butadieno estireno
Descripción	El ABS se utiliza en diversos sectores en todo el mundo y es conocido por sus excepcionales propiedades mecánicas. Nuestro ABS se ha formulado específicamente para minimizar las deformaciones y garantizar una adhesión uniforme entre capas.
Características principales	Excelentes propiedades mecánicas y adhesión entre capas (especialmente al utilizar el accesorio de compuerta frontal), buena estética, deformación mínima y adhesión fiable al lecho.
Aplicaciones	Prototipado visual y funcional y fabricación en series cortas.
No adecuado para	Aplicaciones en contacto con alimentos e in vivo. La exposición prolongada a radiación UV puede afectar negativamente a las propiedades de una impresión ABS. Aplicaciones en las cuales la parte impresa está expuesta a temperaturas superiores a 85 °C.

Especificaciones del filamento

	<u>Valor</u>	<u>Método</u>
Diámetro	2,85 ± 0,10 mm	-
Desviación de redondez máxima	0,10 mm	-
Peso neto del filamento	750 g	-
Longitud del filamento	~107 m	-

Información sobre el color

<u>Color</u>	<u>Código de color</u>
ABS negro	RAL 9017
ABS blanco	RAL 9003
ABS rojo	RAL 3020
ABS azul	RAL 5002
ABS plata	RAL 9006
ABS oro perlado	RAL 1036
ABS verde	RAL 6018
ABS naranja	RAL 2008
ABS amarillo	RAL 1023
ABS gris	RAL 7011

Propiedades mecánicas (*)

Moldeo por inyección

Impresión 3D

	<u>Valor típico</u>	<u>Método de ensayo</u>	<u>Valor típico</u>	<u>Método de ensayo</u>
Módulo de elasticidad a la tracción	2030 MPa	ISO 527 (1 mm/min)	1681,5 MPa	ISO 527 (1 mm/min)
Esfuerzo de tracción a la deformación	43,6 MPa	ISO 527 (50 mm/min)	39,0 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Esfuerzo de tracción a la rotura	-	-	33,9 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Alargamiento a la deformación	4,8 %	ISO 527 (50 mm/min)	3,5 %	ISO 527 (50 mm/min)
Alargamiento a la rotura	34 %	ISO 527 (50 mm/min)	4,8 %	ISO 527 (50 mm/min)
Resistencia a la flexión	-	-	70,5 MPa	ISO 178
Módulo de flexión	-	-	2070,0 MPa	ISO 178
Resistencia a la prueba de impacto Izod, con mella (a 23 °C)	-	-	10,5 kJ/m ²	ISO 180
Resistencia a la prueba de impacto Charpy (a 23 °C)	58 kJ/m ²	ISO 179	-	-
Dureza	-	-	76 (Shore D)	Durómetro

Propiedades térmicas

Valor típico

Método de ensayo

Índice de fluidez (MFR)	41 g/10 min	ISO 1133 (260 °C, 5 kg)
Deformación térmica (HDT) a 0,455 MPa	-	-
Deformación térmica (HDT) a 1,82 MPa	-	-
Temperatura de reblandecimiento Vicat a 10 N	97 °C	ISO 306
Transición vítrea	-	-
Coefficiente de expansión térmica	-	-
Temperatura de fusión	225-245 °C	ISO 294
Contracción térmica	-	-

Otras propiedades

Valor típico

Método de ensayo

Gravedad específica	1,10	ISO 1183
Clasificación de llama	-	-

(*) Ver las notas.

Notas

Las propiedades indicadas corresponden a los valores promedio de un lote típico. Las muestras de prueba impresas en 3D se imprimieron en el plano XY, utilizando el perfil de calidad normal en Cura 2.1, una Ultimaker 2+, una tobera de 0,4 mm, relleno del 90 %, una temperatura de tobera de 250 °C y una temperatura de la placa de impresión de 80 °C. Los valores son la media de 5 muestras blancas y 5 negras para los ensayos de tracción, flexión e impacto. La dureza Shore D se midió en un recuadro de 7 mm de grosor impreso en el plano XY, utilizando el perfil de calidad normal en Cura 2.5, una Ultimaker 3, un núcleo de impresión de 0,4 mm y relleno del 100 %. Ultimaker trabaja constantemente para ampliar la información de las fichas de datos técnicos.

Descargo de responsabilidad

La información o asistencia técnica proporcionadas en esta ficha se facilitan y aceptan por su cuenta y riesgo y Ultimaker y sus filiales no ofrecen ninguna garantía relativa o debida a ellas. Ultimaker y sus filiales no asumen ninguna responsabilidad por el uso de esta información o de ningún producto, método o aparato mencionado y deberá determinar personalmente su idoneidad e integridad para su propio uso, para la protección del medio ambiente y para la salud y la seguridad de sus empleados y los compradores de sus productos. No se ofrece ninguna garantía sobre la capacidad para el comercio o la idoneidad de ningún producto y nada de lo aquí estipulado constituye una renuncia a ninguna de las condiciones de venta de Ultimaker. Las especificaciones están sujetas a modificación sin previo aviso.

Versión

Versión 3.011

Fecha

16/05/2017

Ultimaker

Ficha de datos técnicos PLA

Ultimaker

Denominación química

Ácido poliláctico

Descripción

El filamento de PLA Ultimaker ofrece una experiencia de impresión 3D sencilla gracias a su fiabilidad y buena calidad superficial. Nuestro PLA está fabricado con materiales orgánicos y renovables. Es seguro, fácil de utilizar en la impresión y se adecua a una amplia gama de aplicaciones para usuarios nuevos y experimentados.

Características principales

El PLA ofrece una buena resistencia a la tracción y calidad superficial, facilita el trabajo a altas velocidades de impresión, simplifica el uso en entornos domésticos y de oficina y permite la creación de piezas de alta resolución. Existe una amplia gama de opciones de color disponibles.

Aplicaciones

Herramientas domésticas, juguetes, proyectos educativos, objetos de exposición, prototipado, modelos arquitectónicos y también métodos de fundición a la cera perdida para crear piezas de metal.

No adecuado para

Aplicaciones en contacto con alimentos e in vivo. Uso prolongado en exteriores o aplicaciones en las cuales la parte impresa está expuesta a temperaturas superiores a 50 °C.

Especificaciones del filamento

Diámetro

2,85 ± 0,10 mm

-

Desviación de redondez máxima

0,10 mm

-

Peso neto del filamento

350 g / 750 g

-

Longitud del filamento

~44 m / ~95 m

-

Información sobre el color

Color

Código de color

PLA verde

RAL 6018

PLA negro

RAL 9005

PLA plata metalizado

RAL 9006

PLA blanco

RAL 9010

PLA transparente

n.p.

PLA naranja

RAL 2008

PLA azul

RAL 5002

PLA magenta

RAL 4010

PLA rojo

RAL 3020

PLA amarillo

RAL 1003

PLA blanco nacarado

RAL 1013

Propiedades mecánicas (*)

Moldeo por inyección

Impresión 3D

	<u>Valor típico</u>	<u>Método de ensayo</u>	<u>Valor típico</u>	<u>Método de ensayo</u>
Módulo de elasticidad a la tracción	-	-	2346,5 MPa	ISO 527 (1 mm/min)
Esfuerzo de tracción a la deformación	-	-	49,5 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Esfuerzo de tracción a la rotura	-	-	45,6 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Alargamiento a la deformación	-	-	3,3 %	ISO 527 (50 mm/min)
Alargamiento a la rotura	-	-	5,2 %	ISO 527 (50 mm/min)
Resistencia a la flexión	-	-	103,0 MPa	ISO 178
Módulo de flexión	-	-	3150,0 MPa	ISO 178
Resistencia a la prueba de impacto Izod, con mella (a 23 °C)	-	-	5,1 kJ/m ²	ISO 180
Resistencia a la prueba de impacto Charpy (a 23 °C)	-	-	-	-
Dureza	-	-	83 (Shore D)	Durómetro

Propiedades térmicas

Valor típico

Método de ensayo

Índice de fluidez (MFR)	6,09 g/10 min	ISO 1133 (210 °C, 2,16 kg)
Deformación térmica (HDT) a 0,455 MPa	-	-
Deformación térmica (HDT) a 1,82 MPa	-	-
Transición vítrea	~80 °C	ISO 11357
Coefficiente de expansión térmica	-	-
Temperatura de fusión	145-160 °C	ISO 11357
Contracción térmica	-	-

Otras propiedades

Valor típico

Método de ensayo

Gravedad específica	1,24	ASTM D1505
Clasificación de llama	-	-

(*) Ver las notas.

Notas

Las propiedades indicadas corresponden a los valores promedio de un lote típico. Las muestras de prueba impresas en 3D se imprimieron en el plano XY, utilizando el perfil de calidad normal en Cura 2.1, una Ultimaker 2+, una tobera de 0,4 mm, relleno del 90 %, una temperatura de tobera de 210 °C y una temperatura de la placa de impresión de 60 °C. Los valores son la media de 5 muestras blancas y 5 negras para los ensayos de tracción, flexión e impacto. La dureza Shore D se midió en un recuadro de 7 mm de grosor impreso en el plano XY, utilizando el perfil de calidad normal en Cura 2.5, una Ultimaker 3, un núcleo de impresión de 0,4 mm y relleno del 100 %. Ultimaker trabaja constantemente para ampliar la información de las fichas de datos técnicos.

Descargo de responsabilidad

La información o asistencia técnica proporcionadas en esta ficha se facilitan y aceptan por su cuenta y riesgo y Ultimaker y sus filiales no ofrecen ninguna garantía relativa o debida a ellas. Ultimaker y sus filiales no asumen ninguna responsabilidad por el uso de esta información o de ningún producto, método o aparato mencionado y deberá determinar personalmente su idoneidad e integridad para su propio uso, para la protección del medio ambiente y para la salud y la seguridad de sus empleados y los compradores de sus productos. No se ofrece ninguna garantía sobre la capacidad para el comercio o la idoneidad de ningún producto y nada de lo aquí estipulado constituye una renuncia a ninguna de las condiciones de venta de Ultimaker. Las especificaciones están sujetas a modificación sin previo aviso.

Versión Versión 3.011

Fecha 16/05/2017

Ultimaker

ANEXO 4 FICHA TECNICA PVA

Ultimaker PVA



FILAMENTO PVA

El PVA (alcohol polivinílico) es un material de soporte soluble en agua para la impresión 3D por extrusión múltiple. Con una buena estabilidad térmica, Ultimaker PVA es ideal para imprimir modelos complejos que requieren soportes para voladizos grandes, cavidades internas profundas y geometrías intrincadas.

Diseñado para una experiencia de impresión 3D sin problemas, nuestro PVA proporciona una buena adhesión tanto al PLA como al Nylon

Info Técnica:

- Temperatura impresión: 163 C
- Velocidad impresión: 50 mm/s
- Cama impresión: 50 C
- Módulo de tracción: 3860 MPa
- Tensión de tracción: 78 MPa
- Elongación en el descanso: 9.90 %

Modulo tracción:

78 MPa

Gravedad:

123

Diámetro:

2.85 mm

Calidad:

Industrial

- Derretir la tasa de flujo de masa: 17-21 g/10 min
- Temperatura de reblandecimiento Vicat: 60.2 C
- Longitud del filamento: ~45 m / ~96 m

☎ 01 800 0046 733

www.3dmarket.mx

✉ ventas@3dmarket.mx

Ficha de datos técnicos TPU 95A

Ultimaker

Denominación química	Poliuretano termoplástico
Descripción	El filamento de TPU 95A es muy versátil para aplicaciones industriales y es la opción idónea para una amplia gama de proyectos de fabricación que requieren tanto las cualidades del caucho como las del plástico. El TPU 95A se ha diseñado para ofrecer homogeneidad en la impresión 3D y es un filamento semiflexible y resistente a los productos químicos con una fuerte adhesión entre capas. Además, es más fácil y rápido de imprimir que otros filamentos de TPU.
Características principales	Resistencia excepcional al deterioro por uso, alta resistencia a los impactos, dureza Shore A de 95, hasta un 580 % de alargamiento a la rotura y buena resistencia a la corrosión causada por muchos productos químicos y aceites industriales habituales.
Aplicaciones	Prototipado funcional, empuñaduras, guías, bisagras, manguitos, piezas de encaje a presión y carcasas protectoras.
No adecuado para	Aplicaciones en contacto con alimentos e in vivo. Inmersión prolongada en radiación UV y/o humedad y aplicaciones en las que la parte impresa está expuesta a temperaturas superiores a 100 °C.

Especificaciones del filamento

	<u>Valor</u>	<u>Método</u>
Diámetro	2,90 ± 0,13 mm	Medidor láser de 2 ejes
Desviación de redondez máxima	0,07 mm	Medidor láser de 2 ejes
Peso neto del filamento	750 g	-
Longitud del filamento	~96 m	-

Información sobre el color

<u>Color</u>	<u>Código de color</u>
TPU 95A blanco	RAL 9010
TPU 95A negro	RAL 9005
TPU 95A rojo	RAL 3031
TPU 95A azul	RAL 5002

Propiedades mecánicas (*)

Moldeo por inyección

Impresión 3D

	<u>Valor típico</u>	<u>Método de ensayo</u>	<u>Valor típico</u>	<u>Método de ensayo</u>
Módulo de elasticidad a la tracción	-	-	26,0 MPa	ASTM D638
Esfuerzo de tracción a la deformación	-	-	8,6 MPa	ASTM D638
Esfuerzo de tracción a la rotura	-	-	39,0 MPa	ASTM D638
Alargamiento a la deformación	-	-	55,0 %	ASTM D638
Alargamiento a la rotura	-	-	580,0 %	ASTM D638
Resistencia a la flexión	-	-	4,3 MPa	ISO 179
Módulo de flexión	-	-	78,7 MPa	ISO 179
Resistencia a la prueba de impacto Izod, con mella (a 23 °C)	-	-	34,4 kJ/m ²	ISO 180
Resistencia a la prueba de impacto Charpy (a 23 °C)	-	-	-	-
Dureza	-	-	95 (Shore A) 46 (Shore D)	ASTM D2240 Durómetro
Resistencia a la abrasión	-	-	0,06 g	ASTM D4060 (pérdida de masa, 10 000 ciclos)

Propiedades térmicas

Valor típico

Método de ensayo

Índice de fluidez (MFR)	15,9 g/10 min	ISO 1133 (225 °C, 1,2 kg)
Deformación térmica (HDT) a 0,455 MPa	74 °C	ASTM D648
Deformación térmica (HDT) a 1,82 MPa	49 °C	ASTM D648
Transición vítrea	-24 °C	DSC
Coefficiente de expansión térmica	100·10 ⁻⁶ °C ⁻¹	ASTM E693
Temperatura de fusión	220 °C	DSC
Contracción térmica	-	-

Propiedades eléctricas

Valor típico

Método de ensayo

Resistividad de volumen	10 ¹¹ Ω·m	IEC 60093
Resistencia superficial	2·10 ¹⁴ Ω	IEC 60093

(*) Ver las notas.

Otras propiedades

Gravedad específica

Valor típico

1,22

Método de ensayo

ASTM D782

Clasificación de llama

Clase HB

ICE 60695-11-10

Absorción de humedad

0,18 %

ASTM D570 (24 h)

Notas

Las propiedades indicadas corresponden a los valores promedio de un lote típico. Las barras para los ensayos de tracción se imprimieron con 2 armazones, flujo de material del 107 %, temperatura de tobera de 260 °C, temperatura del lecho de 45 °C, diámetro de tobera de 0,8 mm, velocidad de relleno de 40 mm/s, velocidad de impresión de 30 mm/s y altura de capa de 0,3 mm. Las barras para los ensayos de flexión e impacto se imprimieron en el plano XY, utilizando el perfil de calidad normal en Cura 2.1, una Ultimaker 2+, una tobera de 0,4 mm, relleno del 90 %, una temperatura de tobera de 235 °C y una temperatura de la placa de impresión de 70 °C. Los valores son la media de 5 muestras blancas y 5 negras para los ensayos de flexión e impacto. La dureza Shore D se midió en un recuadro de 7 mm de grosor impreso en el plano XY, utilizando el perfil de calidad normal en Cura 2.5, una Ultimaker 3, un núcleo de impresión de 0,4 mm y relleno del 100 %. Ultimaker trabaja constantemente para ampliar la información de las fichas de datos técnicos.

Descargo de responsabilidad

La información o asistencia técnica proporcionadas en esta ficha se facilitan y aceptan por su cuenta y riesgo y Ultimaker y sus filiales no ofrecen ninguna garantía relativa o debida a ellas. Ultimaker y sus filiales no asumen ninguna responsabilidad por el uso de esta información o de ningún producto, método o aparato mencionado y deberá determinar personalmente su idoneidad e integridad para su propio uso, para la protección del medio ambiente y para la salud y la seguridad de sus empleados y los compradores de sus productos. No se ofrece ninguna garantía sobre la capacidad para el comercio o la idoneidad de ningún producto y nada de lo aquí estipulado constituye una renuncia a ninguna de las condiciones de venta de Ultimaker. Las especificaciones están sujetas a modificación sin previo aviso.

Versión

Versión 3.010

Fecha

16/05/2017

Ultimaker

ANEXO 6 GUIA DE USUARIO ENDER-3 PRO SERIES 3D PRINTER



To be the Chief Evangelist

Ender-3 Pro Series 3D Printer

Guide Book

[To make Top-quality 3D printer]

- ◆ This guide is for the Ender-3 Pro Series of 3D printers.
- ◆ Select the correct input voltage to match your local mains (230V or 115V)
- ◆ Because of software/hardware upgrades and model differences, new revisions may not be listed in this guide.
- ◆ Please plug the power cord into a three-hole power jack.
- ◆ Detailed instructions for use are available in the TF card.



V. 2. 2

Notes

1. Do not use the Printer in any way other than described herein to avoid personal injury or property damage.
2. Do not place the Printer near flammables, explosives or heat sources. It is best to place it in a well-ventilated, low-dust environment.
3. Do not expose the Printer to violent vibration or any unstable environment. This will cause poor print quality.
4. The filaments recommended by the manufacturer are preferred as to avoid clogging in the hot end and/or Printer damage.
5. Do not use any other power cable than the one supplied. Use a grounded three-prong power outlet.
6. Do not touch the nozzle or hot bed during printing. Keep hands away from machine while in use to avoid burns or personal injury.
7. Do not wear gloves or loose clothing when operating the Printer. These loose articles can become caught in moving parts and cause personal injury or Printer damage.
8. Clean off filament from the nozzle tip with the provided pliers before the nozzle cools. Do not touch the nozzle directly. This can cause personal injury.
9. Clean the Printer frequently. With the machine powered off, clean the printer body with a dry cloth to remove dust, adhered printing materials and foreign objects on guide rails. Use glass cleaner or isopropyl Alcohol to clean the print surface before every print for consistent results.
10. Children under 10 years of age should not use the Printer without supervision.

Contents

1. Introduction	1	5. Software Installation	5
2. Screen Information.....	2	6. Preparing to Print.....	6
3. Loading Filament.....	3	7. Trouble-shooting	7
4. Bed Levelling.....	4		

Preface

Dear consumers,

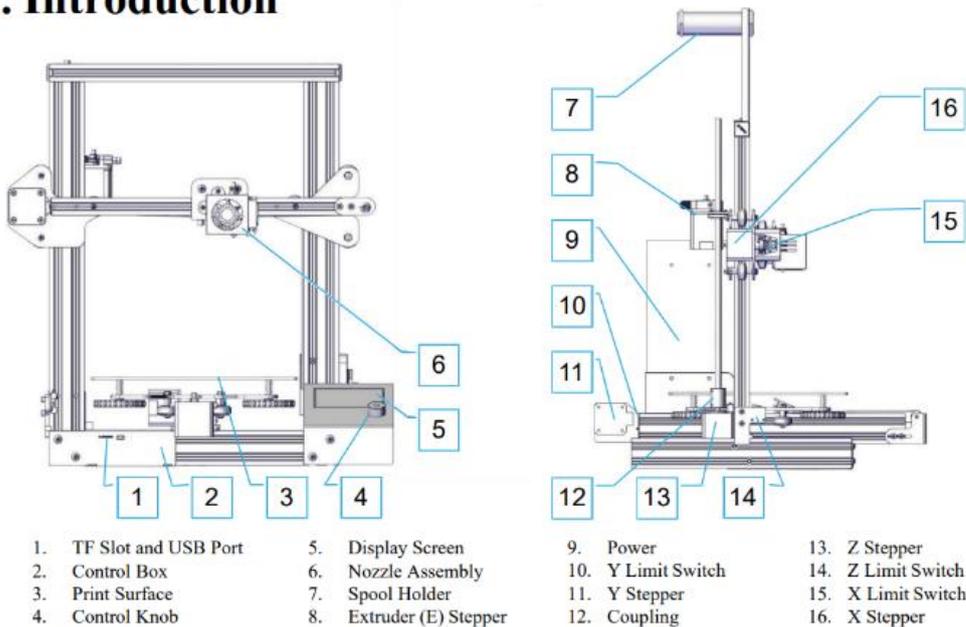
Thank you for choosing our products. For the best experience, please read the instructions before operating the Printer. Our 3D team is always ready to provide you with assistance. Please contact us via the phone number or e-mail address provided at the end when you encounter any problem with the Printer.

For a better experience in using our product, you may learn how to use the Printer in the following ways:

1. View the accompanied instructions and videos in the TF card.
2. Visit our official website www.creality3d.cn You will find relevant software/hardware information, contact details and operation and maintenance instructions on the website.

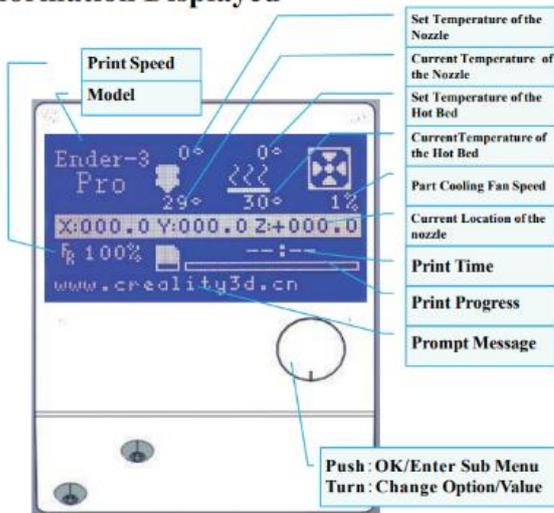
CREALITY Shenzhen Creality 3D Technology CO.,LTD.

1. Introduction



2. Screen Information

Information Displayed



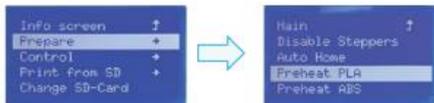
Screen Options		
Menu	Sub Menu	Explanation
↑ Info Screen ↑	↑ main ↑	Return
Prepare →	Disable Steppers	Moving X Y Z axis by your hands
	Auto Home	return to the origin
	Preheat PLA	
	Preheat ABS	
	Cooldown	Close and cool down the nozzle
Control →	Move Axis →	Moving X Y Z axis or Extruder by given value.
	Temperature →	Heat the nozzle and the bed or change fan speed by given value
No card /Print from SD Init. SD-Card /Change SD-Card	Restore Failsafe	Restore factory setting
		Select the printing model
Printing		
Tune →	Speed	Change Printing Speed by given value
	Nozzle	Change the temperature by given value.
	Bed	Change the temperature by given value.
	Fan Speed	Change Fan Speed by given value
	Flow	Change filament flow by given value
Pause Print		
Stop Print		

2

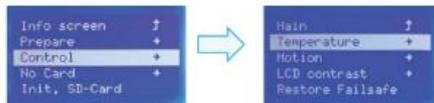
3. Loading Filament

1. Preheat

Method 1



Method 2



2. Feeding



Press and hold the extruder lever then insert 1.75mm filament through the small hole of the extruder. Continue feeding until you see filament come out the nozzle.

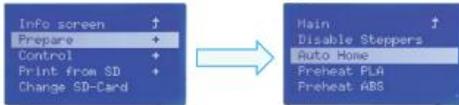
Tip: How to Replace the Filament?

1s Cutting filament near the Extruder and slowly feed new filament until they are fed into the new filament.

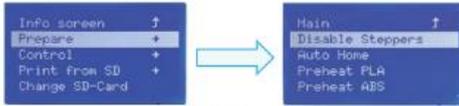
2s Preheating the nozzle and withdraw the filament quickly and feed the new filament.

3

4. Bed Levelling



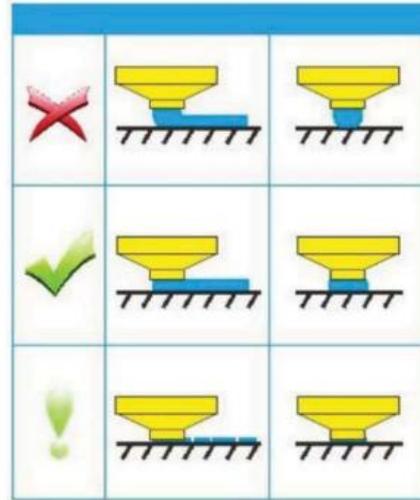
1. Prepare <Auto Home. Wait for the nozzle to move to the left/front of the platform.



2. Prepare <Disable Steppers (Close stepper drive, release motor)



3. Move the nozzle the front/left leveling screw and adjust the platform height by turning the knob underneath. Use a piece of A4 paper (standard printer paper) to assist with the adjustment, making sure that the nozzle lightly scratches the paper.
4. Complete the adjustment of the screw on all 4 corners.
5. Repeat above steps 1-2 times if necessary.



4

5. Software Installation



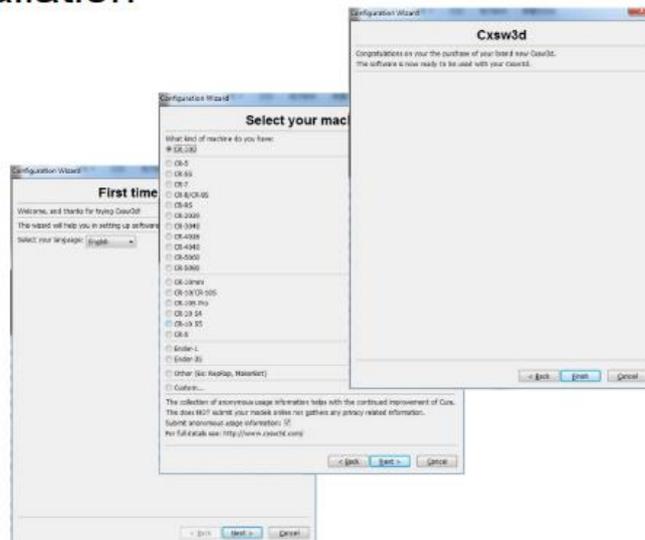
Creality Slicer_1.2.3

1. Double click to install the software.



Creality Slicer

2. Double click to open the software.



3. Select language-->Next-->Select your machine-->Next-->Finish.

5

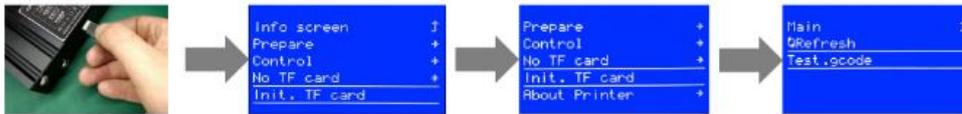
6. For the first Printing

1. Slicing



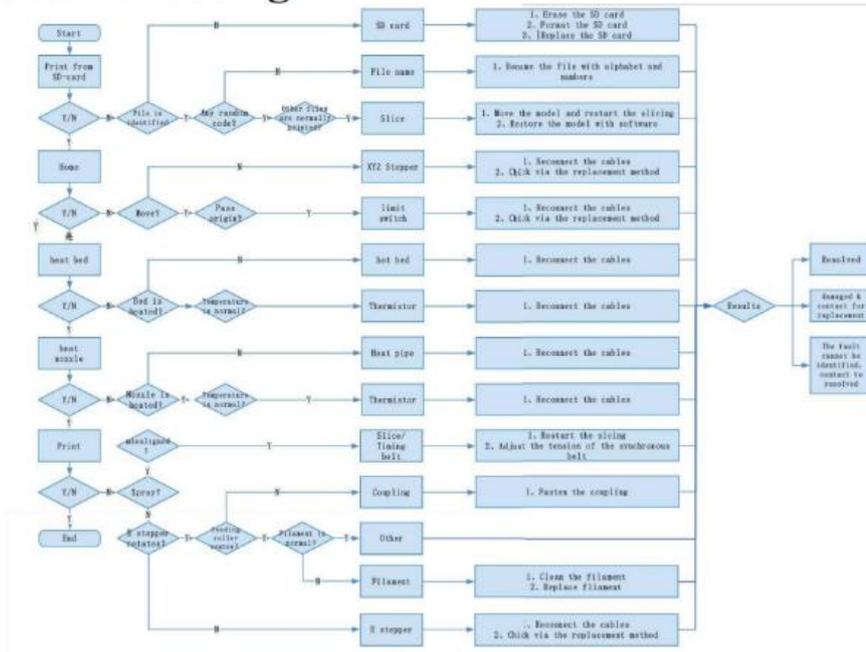
Open the software→Load→Select the file→Wait for slicing to finish ,and save the gcode file to TF card.

2. Printing



Insert the TF card→ Print → Select the file to be printed.

7. Trouble shooting



After- Sales Service

Service

1. The printer can be returned within seven days, 15 days replacement, one year warranty, lifetime maintenance.

Replacement requirement

1. The appearance of the product is intact, without damage, scratches, smudges, cracks, deformation, etc.;
2. Machine parts, tools and others are complete;
3. Provide a complete and valid purchase invoice and warranty, product number should be the same.

Warranty coverage

1. The following accessories are not included in the warranty coverage if they are not damaged by transportation: platform sticker, platform forming plate; acrylic cover; card reader and TF card; platform glass; USB cable; filament; rack and tools, etc.
2. Profile: Before we deliver the goods, we will do the machine test, so maybe there will be light scratch, or due to long-distance transportation, which scratch the profile a little bit. In the premise of not affecting the normal use, in principle, not within the scope of warranty;
3. Nozzle assembly (nozzle, heating block, throat pipe, heat sink, Teflon tube, etc.) warranty period is 3 months, if it is damage after the warranty expires, you need to purchase another one;
4. Motherboard, LCD display, power supply, hot bed, warranty period is 12 months, if there are quality problems, you can get free maintenance; over the warranty period, can be sent back to the original factory maintenance, the users need to bear the return shipping and maintenance costs;
5. Not included in warranty coverage:
 - (1) It is not possible to provide an effective after-sales service card or serial number;
 - (2) The whole machine and components exceed the warranty period;

- (3) Equipment failure or damage caused by unauthorized modification of the equipment (private modification includes: 1. modification of the nozzle assembly; 2. modification of the machine structure; 3. use of third-party components; 4. use of third-party firmware procedures or change the original Factory firmware program, etc.);
- (4) Equipment failure or damage due to incorrect installation and use;
- (5) Equipment failure or damage caused by the use of the equipment in a working environment not specified by the product;
- (6) Equipment failure or damage due improper use (beyond workload, etc.) or maintenance (moisture, etc.);
- (7) Equipment failure or damage due to the use of other branded components or low quality consumables.

Statement:

For better highlighting the function and effectiveness of 3d printer and promoting the development of global market economic, strengthening the user self-discipline of 3d industry and establishing a good image of 3d printing, since Creality 3d printer have passed all kinds of authorized product certificates and quality management system, hereby we declare that it is strictly forbidden to use our printer to print any products or equipment that are in violation of the specific country and regions legislation.

The revision date: May 20, 2019



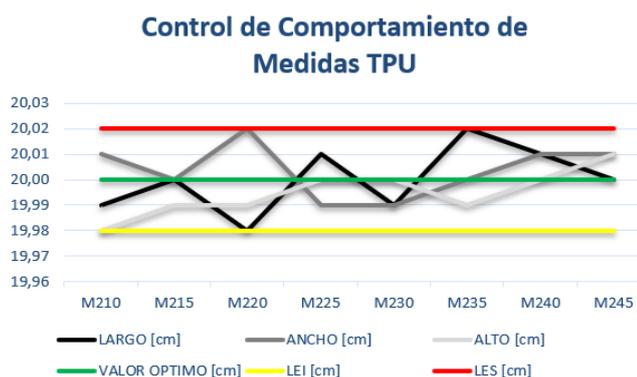
SHENZHEN CREALITY 3D TECHNOLOGY CO.,LTD.
11F & Room 1201,Block 3,JinChengYuan,Tongsheng Community,Dalan
g,Longhua District,Shenzhen,China,518109
Official Website: www.creality3d.cn
Tel: +86 755-85234585
E-mail: info@creality3d.cn cs@creality3d.cn



ANEXO 7 TABLAS DE RESULTADOS Y COMPORTAMIENTO ESTADISTICO DE CADA MATERIAL.

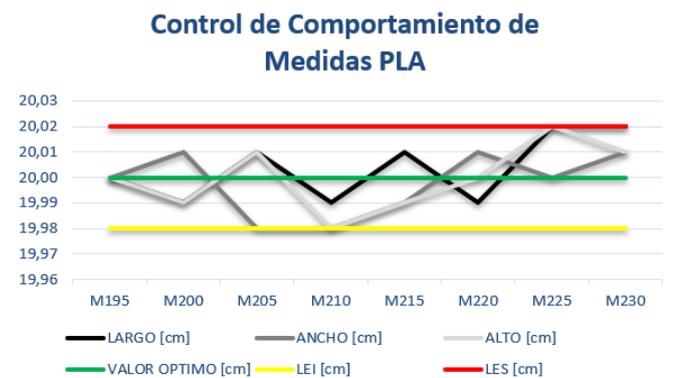
TPU cubos de 20*20*20 [cm]	LARGO [cm]	ANCHO [cm]	ALTO [cm]	
M210	19,99	20,01	19,98	
M215	20,00	20,00	19,99	
M220	19,98	20,02	19,99	
M225	20,01	19,99	20,00	
M230	19,99	19,99	20,00	
M235	20,02	20,00	19,99	
M240	20,01	20,01	20,00	
M245	20,00	20,01	20,01	Promedio
Mmin	19,98	19,99	19,98	19,98
Mmax	20,02	20,02	20,01	20,02
Mprom	20,00	20,00	20,00	20,00
Rango	0,04	0,03	0,03	0,03
LSC	20,0046833	20,0046833	20,0046833	
LIC	20,0046833	20,0046833	20,0046833	
LSCrango	0,05136667	0,05136667	0,05136667	
LICrango promedio	0,0153	0,0153	0,0153	
Promedio del Rango	0,03	0,03	0,03	

valor optimo	20,00
Lei	19,98
Les	20,02
desviacion estandar	0,01
media	20,00
mediana	20,00
moda	19,99
varianza de la muestra	0,00
minimo	19,98
maximo	20,02
rango	0,04
cuenta	24,00
clase	4,90
anchura	0,01



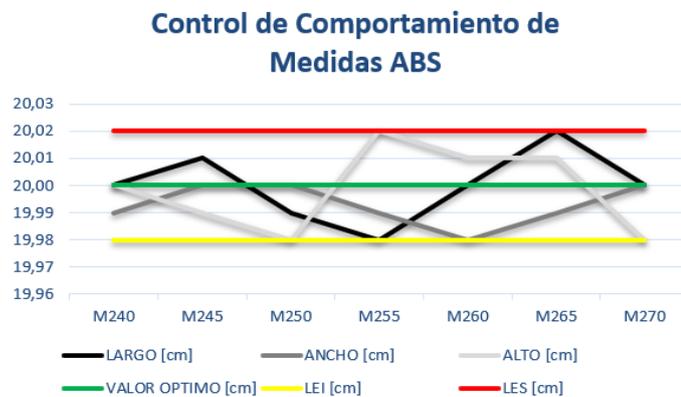
PLA cubos de 20*20*20 [cm]	LARGO [cm]	ANCHO [cm]	ALTO [cm]	
M195	20,00	20,00	20,00	
M200	19,99	20,01	19,99	
M205	20,01	19,98	20,01	
M210	19,99	19,98	19,98	
M215	20,01	19,99	19,99	
M220	19,99	20,01	20,00	
M225	20,02	20,00	20,02	
M230	20,02	20,01	20,01	Promedio
Mmin	19,99	19,98	19,98	19,98
Mmax	20,02	20,01	20,02	20,02
Mprom	20,00	20,00	20,00	20,00
Rango	0,03	0,03	0,04	0,03
LSC	20,0055167	20,0055167	20,0055167	
LIC	19,9953167	19,9953167	19,9953167	
LSCrango	0,05136667	0,05136667	0,05136667	
LICrango	0,0153	0,0153	0,0153	
promedio	20,00	20,00	20,00	
Promedio del Rango	0,03	0,03	0,03	

valor optimo	20,00
Lei	19,98
Les	20,02
desviacion estandar	0,01
media	20,00
mediana	20,00
moda	20,01
varianza de la muestra	0,00
minimo	19,98
maximo	20,02
rango	0,04
cuenta	24,00
clase	4,90
anchura	0,01



ABS cubos de 20*20*20 [cm]	LARGO [cm]	ANCHO [cm]	ALTO [cm]	
M240	20,00	19,99	20,00	
M245	20,01	20,00	19,99	
M250	19,99	20,00	19,98	
M255	19,98	19,99	20,02	
M260	20,00	19,98	20,01	
M265	20,02	19,99	20,01	
M270	20,00	20,00	19,98	
M275				Promedio
Mmin	19,98	19,98	19,98	19,98
Mmax	20,02	20,00	20,02	20,01
Mprom	20,00	19,99	20,00	20,00
Rango	0,04	0,02	0,04	0,03
LSC	20,0022429	20,0022429	20,0022429	
LIC	20,0022429	20,0022429	20,0022429	
LSCrango	0,05136667	0,05136667	0,05136667	
LICrango	0,0153	0,0153	0,0153	
promedio	20,00	20,00	20,00	
Promedio del Rango	0,03	0,03	0,03	

valor optimo	20,00
Lei	19,98
Les	20,02
desviacion estandar	0,01
media	20,00
mediana	20,00
moda	20,00
varianza de la muestra	0,00
minimo	19,98
maximo	20,02
rango	0,04
cuenta	21,00
clase	4,58
anchura	0,01



PVA cubos de 20*20*20 [cm]	LARGO [cm]	ANCHO [cm]	ALTO [cm]	
M180	19,98	20,00	19,98	
M185	19,99	19,99	20,01	
M190	19,99	19,98	20,01	
M195	19,98	19,98	20,00	
M200	20,01	20,02	19,99	
M205	20,01	20,01	20,01	
M210	20,00	20,01	19,99	
M215	19,99	20,00	20,00	
M220	20,01	20,01	20,02	
M225	20,02	20,02	20,01	Promedio
Mmin	19,98	19,98	19,98	19,98
Mmax	20,02	20,02	20,02	20,02
Mprom	20,00	20,00	20,00	20,00
Rango	0,04	0,04	0,04	0,04
LSC	20,0067867	20,0067867	20,0067867	
LIC	20,0067867	20,0067867	20,0067867	
LSCrango	0,06164	0,06164	0,06164	
LICrango	0,01836	0,01836	0,01836	
promedio	20,00	20,00	20,00	
Promedio del Rango	0,04	0,04	0,04	

valor optimo	20,00
Lei	19,98
Les	20,02
desviacion estandar	0,01
media	20,00
mediana	20,01
moda	20,01
varianza de la muestra	0,00
minimo	19,98
maximo	20,02
rango	0,04
cuenta	30,00
clase	5,48
anchura	0,01

Control de Comportamiento de Medidas PVA

