



ING. AUTOMOTRIZ

**Trabajo integración Curricular previa a la obtención del título de
Ingeniero en Automotriz.**

AUTORES:

Víctor Anthony Gordón Conza

Jarod Gabriel Herrera Guerrero

Alberto Daniel Peña Jaramillo

TUTOR:

Msc. Gabriela Chavez Ing.

Adecuación, implementación y funcionamiento de
una granja de manufactura aditiva a pequeña escala en la
Escuela de Ingeniería Automotriz sede Matriz de la

Certificado de Autoría

Declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de autoría de Jarod Gabriel Herrera Guerrero, Víctor Anthony Gordón Conza y Alberto Daniel Peña Jaramillo; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada. Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



Jarod Gabriel Herrera Guerrero



Victor Anthony Gordón Conza



Alberto Daniel Peña Jaramillo

Aprobación del Tutor

El trabajo titulado Adecuación e implementación de una granja de manufactura aditiva a pequeña escala en la Escuela de Ingeniería Automotriz sede Matriz de la Universidad Internacional del Ecuador. Realizado por los estudiantes: Jarod Gabriel Herrera Guerrero, Victor Anthony Gordón Conza y Daniel Peña Jaramillo, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple las normas estatutarias establecidas por La Universidad Internacional del Ecuador, en el Reglamento de Estudiantes. Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gabriela Chavez', is written over a horizontal line.

M.Sc. Gabriela Chavez Ing.

Director de proyecto

Dedicatorias

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres Tania Conza y Sixto Gordón por su constante sacrificio económico y emocional durante el trayecto en la universidad y la vida, además de creer en mi a pesar de todos los problemas, y reveses que he tenido. También quiero dedicar este trabajo a mis dos hermanos Jonathan Gordón y Mathyus Gordón quienes a su manera han sido un fuerte motor al momento de estudiar. A todos aquellos que han dejado una huella en mi camino académico, su influencia y enseñanzas han sido invaluable. Este logro es el resultado de mi dedicación y esfuerzo, pero también de la confianza y el apoyo brindados por cada una de estas personas.

Víctor Anthony Gordón Conza

Dedicatoria:

Quiero empezar dedicando este trabajo a Dios quien es el pilar fundamental en mi vida, quien me ha dado las fuerzas y la salud durante todo este proceso. También, quiero dedicarlo a mi madre Diana Guerrero y padre Víctor Herrera, por el duro trabajo y esfuerzo que han hecho conjuntamente para que esta pequeña parte de mis sueños se hagan realidad.

Jarod Gabriel Herrera Guerrero

Dedicatoria

Este proyecto de investigación se lo dedico a mis padres, a mi madre por todas las noches de preocupación, por todos las veces que madrugo a cocinar, por todos los problemas que tuvo que afrontar, a mi padre quien dio hasta el último aliento para que pueda estudiar en tan prestigiosa universidad, a ellos quienes con mucha valentía se han esforzado para que logre avanzar hasta culminar la carrera, a mis hermanos; Ariel quien ha sido mi soporte sentimental en todo momento y Ricardo quien supo soportar mi mal genio, quien me acompañó en todos y cada uno de los proyectos que realice durante toda la carrera, quien con sus preguntas lograba darme más ideas para mejorar los trabajos. Se lo dedico a todas las personas que me alentaron y mediante encomios me impulsaron a seguir adelante y me motivaron a llegar donde estoy. A ti I.R.J.C Por Enseñarme tantas cosas, por darme todos esos momentos que llevare siempre conmigo. dedico este logro a Norma Luzon, Alejandro Jaramillo, Rosa Enriquez, Alberto Peña porque sin saberlo me dieron el mejor regalo del mundo; mis padres.

Alberto Daniel Peña Jaramillo

Agradecimientos

Agradecimiento

Agradezco a todas las personas que han sido parte importante en mi camino hacia la culminación de esta tesis, A mi tía Edilma Gordón que en mis últimos semestres ha sido un gran apoyo en la culminación de mi carrera. A mis compañeros de Tesis Gabriel Y Daniel por ayudarme a culminar la tesis además de mis poco amigos y compañeros que he logrado conseguir durante mis estudios, gracias por su apoyo, colaboración y momentos compartidos, los cuales han enriquecido mi vida y mi experiencia en la universidad. Este logro no habría sido posible sin el apoyo y contribución de todas estas personas. Mi más sincero agradecimiento por formar parte de este importante capítulo en mi vida académica.

Víctor Anthony Gordón Conza

Agradecimiento

Agradezco a mis compañeros de titulación por su esfuerzo entregado durante todo el trabajo. También, quiero agradecer a mis padres por su apoyo económico e incondicional en todo este proceso universitario. Por último, agradezco a Ángel Guerrero, Robinson Guerrero, Tirsa Burbano y María José Zambrano por apoyarme emocionalmente y brindar parte de su conocimiento en esta instancia final de mi carrera.

Jarod Gabriel Herrera Guerrero

Agradecimiento

No hay palabras ni tiempo suficientes para lograr expresar el inmenso agradecimiento que siento hacia las personas que me ayudaron cuando lo necesite en esta etapa de mi vida, agradezco a mis amigos que aunque sean pocos la universidad me dio a los mejores amigos que algún momento imagine, te agradezco Osler por los momentos increíbles, las risas más inolvidables nos las diste tú, te agradezco Lenin por todo el apoyo en los malos momentos y sobre todo te agradezco Víctor ya que sin ti esto sería imposible, gracias amigo por presionarme a ser mejor en todo momento, te aseguro que retribuiré toda la ayuda que me has dado. Si tuviera la oportunidad de repetir esta etapa de mi vida, cambiaría todos los errores que cometí, pero no cambiaría ninguno de los momentos que viví a su lado y los volvería a escoger a ustedes como mis amigos. Agradezco a toda la familia Jaramillo, mi persona se completa con pequeños trozos de todo lo que he aprendido de cada uno de ustedes, aun si escribiera un libro para poder impregnar todos los recuerdos que tengo a su lado estoy seguro de que una enciclopedia no tendría espacio suficiente para dejar claro todo el amor que les tengo; Agradezco a mi mentor en esta pasión por los motores Juan Pablo Jaramillo. Agradezco al Ing Samuel Torres a su familia, por todo el apoyo. A todos los profesores que han ayudado a mejorar mis conocimientos. No hay manera de poder recompensar todo el esfuerzo que mis padres han hecho para que pueda llegar hasta el lugar donde estoy, sin embargo, les agradezco y con total certeza les digo que la vida no pudo haberme dado mejores padres que ustedes, agradezco a dios por tenerlos, los amo. mi carrera es por ustedes y para ustedes.

Alberto Daniel Peña Jaramillo

Índice General

Certificado de Autoría.....	2
Aprobación del Tutor	3
Dedicatorias	4
Agradecimientos	7
Índice General.....	10
Índice de Figuras.....	14
Índice de Tablas	16
Resumen.....	17
Abstract.....	18
Capítulo I	19
Marco Referencial.....	19
1.1 Planteamiento del Problema	19
1.2 Formulación del Problema.....	20
1.3 Objetivos de la investigación.....	21
1.4.1 Objetivo General.....	21
1.4.2 Objetivos Específicos.....	21
1.4 Justificación de Delimitación de la Investigación	21
1.5.1 Justificación de la Investigación	21
1.5.2 Delimitación de la Investigación	22

Capítulo II	24
2.1 Antecedentes	24
2.2 Marco conceptual.....	28
2.2.1 Manufactura Aditiva	28
2.2.2 Principios de funcionamiento de la Manufactura Aditiva	29
2.2.3 Tipos de tecnologías de Manufactura Aditiva	31
Tabla 1	31
Tabla 2	32
2.2.3.1 Materiales aplicados en la tecnología FDM.....	33
2.2.4 La Manufactura Aditiva en el sector Automotriz	36
2.2.4.1 Ventajas y beneficios de la manufactura aditiva en la Industria Automotriz ...	36
2.2.4.2 Prototipado Rápido	37
2.2.5 Desafíos y limitaciones de la manufactura aditiva en la industria automotriz	38
2.3 Marco Teórico.....	39
2.3.1 Implementación de una granja de manufactura aditiva	39
2.3.2 Factores a considerar en la adecuación de la granja de manufactura aditiva:	43
2.3.2.1 Análisis de necesidades y requerimientos de la Escuela de Ingeniería Automotriz:	
.....	43
2.3.2.2 Selección de tecnologías de impresión 3D	44
2.3.2.3 Evaluación de costos de implementación de la granja.....	46

Tabla 3	47
2.3.2.4 Manual de uso para el personal docente y estudiantil.....	48
2.3.3 Integración de la manufactura aditiva en el currículo educativo	48
2.3.3.1 Revisión de los planes de estudio de la Escuela de Ingeniería Automotriz:.....	48
Capítulo III.....	51
Marco metodológico	51
3.1 Tipo de proyecto	51
3.2 Adecuación del espacio.....	51
3.3 Ensamblaje y calibración de las impresoras	52
3.4 Sistema de control.....	55
3.4.1 Instalación de software de control	56
3.4.2 Modificación del código base para ampliar el uso de impresoras 3D.	59
3.4.3 Implementación de Bot para un uso personalizado y controlado mediante cámaras.	60
Capítulo IV.....	63
Discusión y resultados	63
4.1 Funcionamiento del equipo de manera manual	63
4.2 Funcionamiento del equipo a través del sistema automatizado	65
4.2.1 (Computadora).....	65
4.2.1 (Bot - Telegram)	69

4.3 Factibilidad del proyecto.....	70
Tabla 4	71
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES.....	73
REFERENCIAS:.....	75

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Diagrama de impresión por FDM, principio de funcionamiento de la manufactura aditiva.</i>	30
Figura 2 <i>Tabla de tipo de impresiones, detallando la tecnología y materiales de cada uno</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3 <i>Proceso de producción de un objeto impreso en 3D.</i>	40
Figura 4 <i>Esquema representativo del proceso FDM.</i>	45
Figura 5 <i>Malla Curricular de la Carrera de Ingeniería Automotriz en la Universidad Internacional del Ecuador.</i>	49
Figura 6 <i>Croquis salón de prototipado 3D.</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7 <i>Computadora de acceso directo al control del equipo.</i>	52
Figura 8 <i>Equipos correctamente conectados.</i>	52
Figura 9 <i>Pantalla de comandos 3D Artillery Printer Sidewinder X2 (Temperatura de operación).</i>	53
Figura 10 <i>Pantalla de Tools y level.</i>	54
Figura 11 <i>Calibracion con hoja A4</i>	54
Figura 12 <i>Panel de calibracion en forma autonoma.</i>	55
Figura 13 <i>Página de descarga Raspberry PI imager.</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 14 <i>Primer paso al abrir el programa</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 15 <i>Segundo paso para la instalación del programa en la raspberry</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 16 <i>Tercer paso para la instalación del programa en la raspberry.</i>	¡Error! Marcador no definido.

Figura 17 Cuarto paso para la instalación del programa en la raspberry.....**¡Error!**

Marcador no definido.

Figura 18 Ranura de configuración	56
Figura 19 Configuración de Wifi y clave de acceso a la Raspberry.....	57
Figura 20 Guardado de Programa en Raspberry.....	58
Figura 21 Escritura de programa a través de PuTTY.	58
Figura 22 Escritura de programa a través de PuTTY.	59
Figura 23 Modificación de programa Octopi.	60
Figura 24 Primer paso para la creación de Bot mediante en Telegram “/start”.	61
Figura 25 Paso de 2-4 para la creación de Bot mediante en Telegram.	61
Figura 26 Link de acceso mediante octoprint.	62
Figura 27 Panel de permisos “octoprint”	62
Figura 28 Temperatura óptima para trabajo.....	63
Figura 29 Guardado de modelo Ultimaker Cura.....	64
Figura 30 Revisión de capa inicial adecuada para impresión.	64
Figura 31 Falla de equipo por mala calibración del mismo.	65
Figura 32 Búsqueda de IP mediante Wnetwatcher.	66
Figura 33 Búsqueda de IP mediante Telegram.....	66
Figura 34 Apertura de Octoprint mediante la dirección IP.....	66
Figura 35 Panel para subida de archivos en código G.	67
Figura 36 Apertura de archivos tipo G.....	68
Figura 37 Impresión y control mediante Octoprint de manera remota.	68
Figura 38 Acceso mediante el Bot de telegram.....	69

Figura 39 *Imagen obtenida mediante el comando “status”*..... 69
Figura 40 *Búsqueda de IP mediante Telegram*..... 70

Índice de Tablas

Tabla 1 31
Tabla 2 32
Tabla 3 47
Tabla 4 71

Resumen

La presente investigación desarrolla la implementación de una granja de manufactura aditiva para la prototipación en la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE). El estudio aborda los desafíos específicos que se enfrentan durante el proceso de implementación, como la falta de equipos y la necesidad de un espacio dedicado con una infraestructura adecuada. La metodología empleada en esta investigación experimental involucró la instalación de maquinaria para examinar el correcto funcionamiento de la granja de impresión 3D. Los resultados demuestran que la implementación de una granja automatizada de impresión 3D dentro de la UIDE facilita el proceso de prototipado y complementa el plan de estudios al ofrecer cursos directamente relacionados con el diseño 3D. Los hallazgos también destacan la importancia de la supervisión especializada y el uso del manual proporcionado en la tesis como guía para el uso adecuado de los equipos. En general, este proyecto contribuye al avance a nivel pedagógico en varias mallas curriculares, en especial al sector automotriz, además, proporciona información valiosa para futuras implementaciones en otras instituciones educativas.

Palabras Claves: Manufactura aditiva, impresión 3D, automatización, FDM.

Abstract

This research develops the implementation of an additive manufacturing farm for automotive prototyping at the International University of Ecuador (UIDE). The study addresses the specific challenges faced during the implementation process, such as the lack of equipment and the need for a dedicated space with adequate infrastructure. The methodology employed in this experimental research involved the installation of machinery to examine the proper functioning of the 3D printing farm. The results show that the implementation of an automated 3D printing farm within the UIDE facilitates the prototyping process and complements the curriculum by offering courses directly related to 3D design. The findings also highlight the importance of specialized supervision and the use of the manual provided in the thesis as a guide for the proper use of the equipment. In general, this study contributes to the advancement of additive manufacturing in the automotive sector and provides valuable information for future implementations in educational institutions.

Keywords: Additive manufacturing, 3D printing, automation, FDM.

Capítulo I

Marco Referencial

1.1 Planteamiento del Problema

La manufactura aditiva ha revolucionado la forma en que se producen componentes y piezas en diversos sectores industriales, dentro de estas se encuentra la ingeniería automotriz (Fajardo, 2021). Sin embargo, la implementación de una granja de manufactura aditiva a pequeña escala en la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE) enfrenta desafíos específicos que requieren ser analizados y superados, para desarrollar nuevas competencias y habilidades educativas.

El principal desafío es la falta de elementos adecuados para adaptar a equipos de impresión 3D. La Escuela carece de un espacio dedicado y equipado con las condiciones necesarias, como una misma red de datos para la automatización, equipo de mando central y falta de instalaciones eléctricas apropiadas para brindar seguridad a las máquinas y operarios. Al mismo tiempo que se preserva el entorno visual, el funcionamiento óptimo de las impresoras 3D y otros equipos asociados. Según López y González (2020), la infraestructura adecuada es esencial para el éxito de la manufactura aditiva, ya que asegura una estabilidad en la calidad de impresión y eficiencia en el producto final.

Otro desafío es la escasez de conocimiento y experiencia en la implementación de la manufactura aditiva en el contexto de la ingeniería automotriz. Los estudiantes principalmente son los que necesitan la formación y capacitación necesarias para operar y mantener adecuadamente las impresoras 3D, así como para aprovechar las ventajas de esta tecnología en la creación de prototipos, la optimización de diseños y la fabricación de componentes automotrices. Según Smith,

Cournoyer y Pillai (2021), la falta de habilidades y conocimientos específicos en manufactura aditiva puede limitar su implementación exitosa.

Además, existe un desafío financiero significativo. La adquisición de equipos de manufactura aditiva de calidad, materiales de impresión y otros recursos necesarios implica una inversión considerable. El corto presupuesto financiero para la implementación y el funcionamiento de la granja de manufactura aditiva limita la capacidad como tal de la granja. Según Holmström, Partanen y Pekkarinen (2020), la falta de presupuesto adecuado puede limitar las capacidades de producción y el crecimiento de la manufactura aditiva.

Para abordar estos desafíos, es fundamental llevar a cabo un análisis de las necesidades del área, formación académica y recursos financieros requeridos para la implementación exitosa de una granja de impresoras 3D en la Escuela de Ingeniería Automotriz. Se deben implementar estrategias efectivas para superar estas limitaciones, incluyendo limitación financiera, planes de capacitación y la adecuación de espacios físicos existentes para albergar la infraestructura necesaria. Además, se debe establecer una colaboración activa con la Universidad para aprovechar oportunidades de proyectos en los cuales la tecnología sea un factor clave para el conocimiento.

1.2 Formulación del Problema

¿Cuáles son los elementos y condiciones necesarias para la adecuación e implementación de una granja de manufactura aditiva con la finalidad de mejorar la capacidad de realizar prototipado rápido de piezas automotrices en la Escuela de Ingeniería Automotriz?

1.3 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo General

Identificar los elementos y condiciones necesarias para implementar y adecuar una granja de manufactura aditiva impulsando el desarrollo de prototipado rápido en la Escuela de Ingeniería Automotriz, a través de un sistema de control que permita a los estudiantes la fabricación, compresión y manipulación de los equipos.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un espacio apropiado para el desarrollo de habilidades en los estudiantes respecto a la manufactura aditiva.
- Elaborar un manual que describa el uso adecuado de la granja de manufactura aditiva para prototipado rápido.
- Automatizar la granja de manufactura aditiva tomando en cuenta los lapsos de tiempo prolongados que se emplean para la impresión 3D

1.4 Justificación de Delimitación de la Investigación

1.5.1 Justificación de la Investigación

1.5.1.1 Justificación Teórica. El presente proyecto tiene fundamentación de bibliografía preliminar, lo que permite tener un enfoque teórico sólido para fomentar la implementación de la granja de manufactura aditiva con el propósito de que los estudiantes adquieran habilidades y conocimientos avanzados en esta tecnología emergente en beneficio de la ingeniería automotriz y su potencial para promover el desarrollo y la innovación de nuevos componentes de prototipado rápido.

1.5.1.2 Justificación Metodológica. Esta investigación se basa en la necesidad de utilizar un enfoque sistemático para abordar los desafíos asociados con la adecuación e implementación

de una granja de manufactura aditiva, los cuales son el espacio físico, el equipo necesario, los materiales requeridos, así como el personal técnico competente. Se emplea métodos para evaluar los recursos disponibles en la Escuela de Ingeniería Automotriz, determinando si es necesario adquirir o invertir en recursos adicionales. El análisis de los desafíos permite identificar las estrategias y soluciones más adecuadas para garantizar el éxito del proyecto, como establecer la disposición del espacio físico, la ubicación de las impresoras 3D y el almacenamiento de los materiales necesarios para garantizar un flujo eficiente y seguro. Además, se utilizarán las herramientas necesarias para planificar y ejecutar de manera eficiente la implementación de la granja.

1.5.1.3 Justificación Práctica. La justificación práctica de este estudio radica en el impacto tangible y beneficioso que la adecuación e implementación de una granja de manufactura aditiva tendrá en la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador. La formación de los estudiantes se enriquecerá al tener acceso a una tecnología de vanguardia, lo que les permitirá desarrollar habilidades relevantes y actualizadas para la industria automotriz. Además, la implementación de la granja fomentará la investigación aplicada, facilitando la creación de prototipos rápidos de piezas automotrices y promoviendo la colaboración con la industria. Esto contribuirá a fortalecer la reputación de la Escuela como un centro de excelencia en ingeniería automotriz y abrirá oportunidades de vinculación y transferencia de conocimiento con el sector automotriz local.

1.5.2 Delimitación de la Investigación

1.5.2.1 Delimitación temporal. La investigación se desarrolla desde el 13 de marzo al 24 de junio del 2023, tiempo necesario para poder llevar a finalidad el proyecto planteado.

1.5.2.2 Delimitación Geográfica. La presente investigación tiene lugar en la ciudad de Quito dentro de la Universidad Internacional del Ecuador.

1.5.2.3 Delimitación de contenido. El contenido parte desde un marco conceptual donde se detalla los terminos necesarios para la comprensión de la adecuación e implementación de una granja de manufactura aditiva a pequeña escala para el prototipado rápido de piezas automotrices. Este tema de investigación es de gran relevancia en el ámbito académico y tecnológico.

Esta propuesta tiene como objetivo clave establecer un espacio dedicado a la fabricación aditiva de prototipos enfocados el sector automotriz mediante la utilización de tecnologías avanzadas de impresión 3D.

En primer lugar, se abordará la importancia de la manufactura aditiva en la industria automotriz, destacando sus ventajas y beneficios en términos de diseño, personalización y reducción de costos de producción. Además, se analizará el estado actual de la tecnología existente en la Escuela, dando un valor agregado a la impresión 3D y su aplicabilidad en la fabricación de piezas automotrices dentro de la facultad.

Posteriormente, se examinará el contexto específico de la Escuela de ingeniería automotriz sede matriz de la Universidad Internacional del Ecuador, identificando las necesidades y demandas particulares en cuanto a la fabricación de componentes automotrices.

A continuación, se presentarán los pasos necesarios para llevar a cabo la adecuación e implementación de la granja de manufactura aditiva. Se describirán los requisitos técnicos y de infraestructura, así como las inversiones necesarias en equipos y materiales. También se analizarán los aspectos relacionados con la formación de los estudiantes por medio de un manual.

Por último, se discute las posibles aplicaciones y beneficios de contar con una granja de manufactura aditiva en la Escuela de Ingeniería Automotriz. Además, dejar una brecha de oportunidades a futuras investigaciones en el campo de la manufactura aditiva en componentes automotrices y su impacto en la malla curricular de la Escuela.

En resumen, se abarca la importancia de la manufactura aditiva en la industria automotriz, el contexto específico de la institución, los pasos para la implementación de la granja de manufactura aditiva y las posibles aplicaciones y beneficios para la Escuela.

Capítulo II

2.1 Antecedentes

La constante evolución de las industrias ha requerido tecnologías más innovadoras en las áreas de diseño de productos y procesos de fabricación. Esto se ha vuelto muy importante debido a varios factores, incluida la creciente demanda de personalización, el deseo de obtener una ventaja competitiva en el mercado y los recientes llamados a prácticas y procesos más sostenibles en la producción para mejorar el desempeño ambiental. Una de esas tecnologías innovadoras que está ganando popularidad en todo el mundo es la manufactura aditiva (Thywill Cephaz Dzogbewu et al., 2022). En este contexto, la implementación de una granja de manufactura aditiva puede ofrecer una serie de beneficios significativos. En primer lugar, permitiría a los estudiantes adquirir habilidades prácticas y conocimientos avanzados en el campo de la manufactura aditiva, preparándolos para enfrentar los desafíos de la industria automotriz moderna. Además, la posibilidad de realizar proyectos prácticos utilizando la impresión 3D les brindaría la oportunidad de aplicar sus conocimientos teóricos en un entorno real y fomentaría su creatividad e innovación.

Según Ordaz (2019), la manufactura aditiva se está volviendo cada vez más común en la industria automotriz. Los materiales más utilizados para imprimir piezas de automóviles son

polímeros, metales y cerámica. La industria automotriz fue una de las pioneras en adoptar la impresión 3D, con Ford adquiriendo su tercera impresora 3D en 1988. Esto demuestra la rápida evolución de los procesos de transformación de las cadenas de valor y cómo la fabricación aditiva es una de las Tecnologías Habilitadoras Clave (KET) en la Industria 4.0.

Actualmente la enseñanza de forma práctica basados en la manufactura aditiva se ha vuelto en un componente clave para la educación ingenieril, la misma, permite un desarrollo creativo tanto en los estudiantes como en los docentes, además de poder plasmar ideas prototipadas de manera física para su posterior comprobación (Verner & Amir Merksamer, 2015). La Escuela de Ingeniería Automotriz cuenta con una malla que proporciona varias clases de diseño CAD, y el espacio de trabajo, las instalaciones, intentan satisfacer las nuevas necesidades prácticas de los estudiantes.

En la investigación realizada en el Instituto Technion en Israel, han realizado cambios en los cursos de educación para profesores de tecnología/mecánica permitiendo una mejora la enseñanza de diseño y fabricación digital. (Flaviana Calignano & Mercurio, 2023). Además, establecer un enfoque conceive-design-implement-operate (CDIO), ha mejorado el conocimiento y las habilidades de los estudiantes y profesores (Wang et al., 2021). Con la implementación de la granja se espera que los estudiantes y profesores exploren nuevas formas de diseño y producción de componentes automotrices, así como desarrollar proyectos de investigación para optimizar piezas que en el pasado no se podría modificar o a su vez desarrollar nuevas tecnologías a partir de la granja.

En Sudáfrica se ha adoptado la fabricación aditiva desde la década de 1990, con la instalación de máquinas de impresión 3D en instituciones de investigación y universidades; actualmente la inversión en investigación y desarrollo colaborativos ha permitido a Sudáfrica

adquirir capacidades de clase mundial, lo que la posiciona para participar en el aumento de la fabricación aditiva en sectores críticos como el aeroespacial, los equipos médicos y los implantes (Dzogbewu et al., 2022). La experiencia de Sudáfrica puede servir como un ejemplo inspirador para la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador. Al implementar una granja de manufactura aditiva a pequeña escala, se podrían fomentar oportunidades similares para el crecimiento y la excelencia en el ámbito de la manufactura aditiva en el sector automotriz ecuatoriano; permitiendo la transferencia de conocimientos y tecnologías avanzadas.

El estudio realizado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) resalta la importancia de adecuar los planes de estudio de los programas de ingeniería mecánica para incluir formalmente la formación en manufactura aditiva. (M. Puerto Pérez-Pérez et al., 2019). Por otro lado, la construcción de capital humano a través de la educación y la investigación, así como la colaboración entre la industria y las instituciones de investigación es un factor clave para potenciar la fabricación aditiva (Dzogbewu et al., 2022). Estas investigaciones proporcionan un punto de partida para identificar las modificaciones necesarias en los planes de estudio, a fin de garantizar que los estudiantes adquieran los conocimientos y habilidades necesarios para utilizar la manufactura aditiva en sus futuras carreras profesionales.

En el panorama de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador, la adecuación e implementación de una granja de manufactura aditiva a pequeña escala requeriría una revisión cuidadosa del plan de estudios existente. Siguiendo las recomendaciones del estudio mencionado, se podría considerar la inclusión de la formación en manufactura aditiva

como parte integral de los programas de ingeniería mecánica o de manera modular en las materias de manufactura.

Los modelos de costos actuales son más adecuados para la fabricación tradicional cuando se trata de altos volúmenes de producción; sin embargo, en casos de mayor complejidad o personalización requerida, la manufactura aditiva (MA) resulta más apropiada porque ofrece flexibilidad a los fabricantes al crear diseños óptimos para una producción ajustada y a la vez simplificar la cadena de suministros; implementado en sectores que requieren producción de unidad única y muy bajo volumen (Pereira et al., 2019). La industria automotriz esta rodeada de un sin número de elementos de compleja elaboración o que requiere de elaboración con exactitud, de tal manera que la implementación de la impresión 3D dentro la Escuela tendrá dicha flexibilidad de fabricación. Además, la introducción de esta tecnología no solo permitiría a los estudiantes adquirir habilidades prácticas en la fabricación aditiva, también se puede obtener beneficios económicos significativos para la industria automotriz local en relación a la elaboración de componentes automotrices.

Sin embargo, Pereira (2019) considera lo siguiente, las máquinas de manufactura aditiva a pesar que ofrecen flexibilidad de producción, siguen siendo considerablemente más costosas en comparación con las máquinas de fabricación tradicional; la fabricación aditiva resulta rentable para la fabricación de lotes pequeños o de bajo volumen, preferiblemente con una producción centralizada continua en lugar de una distribuida. Este hallazgo es relevante en el contexto de la adecuación e implementación de la granja de manufactura aditiva en la Escuela; ya que se esta considerando este factor de los precios elevados para llevar a cabo este proyecto.

Por lo tanto, al adoptar la manufactura aditiva como parte integral de los procesos de producción de piezas de automóviles, se podría lograr una mayor eficiencia y reducir los costos de

producción. La capacidad de fabricar componentes automotrices de forma rápida y personalizada mediante la manufactura aditiva se podrá mejorar la flexibilidad y agilidad de las empresas automotrices, lo que resultaría en una mayor capacidad de fabricación en respuesta a las necesidades del consumidor y la reducción de los tiempos de entrega. Sin embargo, se recomienda analizar el costo de implementación, así que esto genera limitaciones, las mismas que van hacer tratadas en la presente investigación.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Manufactura Aditiva

La manufactura aditiva, también conocida como impresión 3D, es un proceso de fabricación en el que se construyen objetos tridimensionales capa por capa a partir de datos digitales; su crecimiento ha sido impulsado por el descubrimiento de nuevas tecnologías aplicables a diversos sectores industriales como en la farmacéutica, aeroespacial y automotriz (Christoph et al., 2017). Aunque los modelos de costos actuales favorecen los métodos tradicionales para altos volúmenes de producción, la manufactura aditiva se presenta como una alternativa prometedora en casos de mayor complejidad, personalización, reducción de tiempo y capacidad de fabricar formas complejas (Pereira, 2019).

La fabricación aditiva o impresión 3D consiste en crear objetos en tres dimensiones a partir de un modelado digital en un programa CAD en el cual mediante la deposición de materiales capa por capa utilizando una impresora 3D; a diferencia de las técnicas sustractivas convencionales como fresado, taladrado y aserrado, la fabricación aditiva sigue un enfoque de flujo de trabajo ascendente (Harsshit Agrawaal & Thompson, 2021).

El concepto de impresión 3D surgió en 1977, cuando WK Swainson utilizó un láser para derretir un polímero que se asentaba en una superficie de manera gradual. En 1981, H. Kodama

del Instituto Municipal de Investigación de Nagoya utilizó láseres con soluciones de fotopolímero líquido para imprimir objetos en tres dimensiones, dando origen a la estereolitografía (SLA), considerada la primera tecnología de impresión 3D. Desde entonces, se han desarrollado diversas tecnologías de impresión 3D para trabajar con materiales alternativos como metal, cerámica, etc., entre las cuales se encuentran el modelado por deposición fundida (FDM), la impresión láser digital (DLP), la sinterización selectiva por láser (SLS), el chorro de material, la fusión selectiva por láser (SLS) y la fabricación de objetos laminados (LOM) (Harsshit Agrawaal & Thompson, 2021).

2.2.2 Principios de funcionamiento de la Manufactura Aditiva

La manufactura aditiva se basa en el principio de agregar material de forma gradual para construir objetos tridimensionales; este proceso utiliza un modelo digital en 3D que genera un código G que se envía a una máquina de impresión 3D; la máquina construye la pieza capa por capa, solidificando o fusionando el material según la tecnología empleada (Edgar & Tint, 2015).

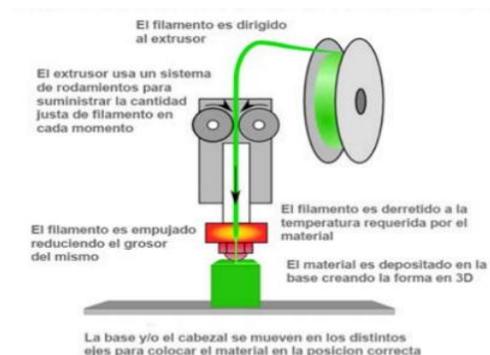
Según Edgar & Tint (2015), los principios fundamentales de la manufactura aditiva incluyen la elaboración de un modelo digital en 3D mediante software CAD, la preparación del archivo para impresión en formato G-code, la selección del material adecuado y el uso de tecnologías específicas como estereolitografía (SLA), fusión selectiva por láser (SLS), deposición de material fundido (FDM) e impresión en polvo con unión por aglutinante (BPM).

La fabricación aditiva es el proceso de construir objetos tridimensionales uniéndolos, solidificándolos o depositando material bajo control informático. La calidad de los objetos construidos depende de varios factores ambientales y de proceso, como la humedad, la velocidad de impresión y la composición del material. La técnica más popular de fabricación aditiva, la fabricación de filamento fundido (FFF), utiliza la extrusión de material para imprimir objetos capa

por capa. En la **Figura 1**, el material termoplástico se calienta y se empuja a través de una extrusora, saliendo como material fundido por una pequeña boquilla que define el ancho de cada capa impresa. Una cama plana calentada sirve como base para los objetos impresos. La gestión térmica precisa del objeto impreso durante todo el proceso de construcción es fundamental para obtener una buena calidad de impresión. El perfil térmico se ve afectado por la temperatura del lecho y la boquilla, así como por las condiciones convectivas en la cámara de construcción. Además, el tipo de termoplástico utilizado, su grado de sequedad, la forma del objeto impreso, la humedad e incluso la temperatura ambiente influyen en el perfil térmico y moderan el impacto de la temperatura de la cama y la boquilla (Binder et al., 2023).

Figura 1

Diagrama de impresión por FDM, principio de funcionamiento de la manufactura



Nota. Adaptado de *Manufactura Aditiva*. 43, 97–97, por Christoph, R., Romero Muñoz, & Ángel Cruz Hernández, 2017, Central American Journals Online (<https://doi.org/10.5377/ryr.v43i0.3552>)

2.2.3 Tipos de tecnologías de Manufactura Aditiva

La manufactura aditiva abarca una amplia variedad de tecnologías de impresión 3D, cada una con sus propias características y aplicaciones. En la **Tabla 1** y **2** se detalla algunas de las tecnologías más utilizadas son:

Tabla 1

Tecnologías aplicadas en la manufactura aditiva

Tipo de tecnología	Autor	Descripción
Deposición de material fundido (FDM)	Yi Wei (2017)	Extruye filamentos de material termoplástico que se solidifican para formar la pieza
Estereolitografía (SLA)	Chen (2022)	Utiliza un láser para solidificar capas de resina líquida fotosensible, creando objetos precisos y detallados
Sinterización selectiva por láser (SLS)	Levy (2018)	Emplea un láser para fusionar polvos de material, creando objetos funcionales y resistentes
Impresión en polvo con unión por aglutinante (BPM)	Levy (2018)	Utiliza un aglutinante para unir capas de polvo, generando objetos con alta resolución y detalles finos.

Tabla 2*Tabla de tipo de impresiones, detallando la tecnología y materiales de cada uno*

Tipo	Tecnología	Materiales
Extrusión de material.	Modelo por deposición fundida (FDM) – Fabricación por filamento fundido (FFF).	Termoplásticos (p.ej. PLA, PET, TPU, HDPE, ABS), siliconas, materiales comestibles.
Fusión en lecho de polvo.	Sinterización/fusión directa de metal por láser (DMLS/DMLF). Fusión por haz de electrones (EBM). Sinterizado selectivo por calor (SHS). Sinterizado/fusión por láser (LS/ SLS /SLM). SIS/HSS/MJF.	Casi cualquier aleación. Aleaciones de titanio. Polvo termoplástico.
Inyección de material.	Polyjet /Multijet.	Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos.
Laminado.	Laminado de capas (LOM), Fabricación aditiva por ultrasonidos (UAM).	Termoplásticos Fotopolímeros, ceras. Papel, plástico, metales.
Fotopolimeración en bandeja.	Estereolitografía (SL, SLA). Proyección de máscara (DLP, CLIP).	Fotopolímeros. Fotopolímeros.
Inyección de aglutinante.	Binder jetting (3DP).	Cerámicas, arena, yesos, metales.
Deposición por energía proyectada.	DED, Laser cladding, LENS, DLF, DMD.	Metales.

Nota. Pando Feijó y Beatriz (2019, p. 42)

Según la investigación realizada por Briceño-Martínez et al. (2019), la tecnología más adecuada para los requerimientos de la Escuela de Ingeniería Automotriz es la FDM. Esta tecnología, la cual se utiliza en impresoras 3D, emplea termoplásticos para producir piezas que poseen una gran resistencia, durabilidad y estabilidad dimensional. FDM ofrece una buena precisión y repetibilidad en comparación con otras tecnologías de impresión 3D. Además, presenta beneficios como su tecnología limpia, facilidad de uso y capacidad para resolver geometrías de construcción complejas.

2.2.3.1 Materiales aplicados en la tecnología FDM

La tecnología de modelado de extrusión de materiales es una de las más populares en el campo de la fabricación aditiva. En este método, se utiliza una impresora 3D que está equipada con un carrete de material plástico en forma de alambre. El material se suministra a través de un cabezal de impresión o boquilla, que se encarga de extruir un filamento de plástico fundido y depositarlo en capas sucesivas, siguiendo las instrucciones de un archivo de diseño en CAD, para crear la pieza final deseada. Una amplia variedad de materiales plásticos puede utilizarse en este proceso, como ácido poliláctico (PLA), policarbonato (PC), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), polifenilsulfona (PPS), tereftalato de polietileno (PET) y poliuretano termoplástico (TPU) (Liviu Marsavina et al., 2022).

Sin embargo, en la actualidad, los estudios se centran principalmente en la resistencia a la tensión de los materiales utilizados en la tecnología FDM, especialmente para el ABS, PLA y TPU (Serrano-Cinchilla et al., 2022). A continuación, se describen los procedimientos relacionados con estos materiales.

PLA

El ácido poliláctico (PLA) se obtiene principalmente a partir de fuentes renovables como la caña de azúcar o a su vez el almidón de maíz. Según la investigación de Tsuji (2005), el proceso de producción del PLA implica fermentar azúcar para obtener ácido láctico, el cual luego se polimeriza para formar el poliácido láctico. Estos procesos permiten obtener PLA con diferentes características y propiedades ajustables. Para la fabricación de objetos impresos en 3D con PLA, se recomienda establecer parámetros como una temperatura de extrusión de 180°C, una

temperatura de plataforma de 60°C, una apertura de extrusor de 0.03mm y una velocidad de impresión de 4.4 mm³/s (Christoph et al., 2017).

El PLA es conocido por su versatilidad y capacidad para sustituir plásticos convencionales. Según el estudio de S. Ramanadha Reddy & Venkatachalapathi (2023), el PLA tiene un mejor rendimiento térmico y es fácil de producir en comparación con otros biopolímeros utilizando métodos de fabricación tradicionales. Además, es adecuado para prototipos que no requieren mantener propiedades mecánicas a largo plazo (Serrano-Cinchilla et al., 2022).

ABS

El ABS, que significa Acrilonitrilo Butadieno Estireno, es una familia de termoplásticos ampliamente conocida. Se le considera un plástico de ingeniería debido a que su fabricación y procesamiento son más complejos en comparación con plásticos comunes como el polietileno y el polipropileno. Su nombre se deriva de los tres monómeros utilizados en su producción: estireno, butadieno y acrilonitrilo. La combinación de estos tres monómeros lo convierte en un terpolímero, que es un copolímero compuesto por tres bloques distintos (Christoph et al., 2017).

El ABS es conocido por su combinación de propiedades térmicas, mecánicas y químicas lo que lo hace adecuado para un determinado uso en la industria. Según los resultados demostrado por Nectarios Vidakis et al. (2020), el ABS exhibe una buena resistencia al impacto, rigidez y estabilidad dimensional, lo que lo convierte en un material popular en la fabricación de componentes automotrices.

El ABS se obtiene mediante la combinación de acrilonitrilo, butadieno y estireno a través de un proceso de copolimerización. Es un tipo de polímero termoplástico y amorfo que posee excelentes propiedades de resistencia al calor. Se utiliza ampliamente en la fabricación de plásticos para aplicaciones que requieren procesamiento a altas temperaturas. Los materiales elaborados con

ABS presentan un rendimiento mecánico superior y exhiben resultados mejorados en los parámetros de corte. Además, destacan por sus propiedades mecánicas, eléctricas y termomecánicas altamente favorables. (K. Arunprasath et al., 2021)

Se requiere que el material sea sometido a una temperatura de entre 225 y 260 °C para la extrusión, sin necesidad de aplicar calor adicional en la cama. Además, este material es resistente a la acetona, no tiene olor, es duradero frente a ciertos combustibles y disolventes. (Martí Rodríguez, Bernat, 2017)

TPU

Los poliuretanos termoplásticos (TPUs) son polímeros altamente versátiles que ofrecen una amplia gama de propiedades físicas. Estas propiedades pueden variar desde las características típicas de los elastómeros blandos hasta las de los plásticos duros (Buckley et al., 2010).

El TPU, conocido como poliuretano termoplástico, se destaca por su resistencia excepcional al desgarro y su notable flexibilidad. Además, presenta una gran resistencia al desgaste y a los impactos, así como una capacidad notable de estiramiento antes de romperse. También ofrece una resistencia destacada a la corrosión frente a diversos productos químicos y aceites industriales comunes. Este material posee una versatilidad destacada, ya que combina propiedades tanto de caucho como de plástico, lo cual lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones industriales. Su combinación única de resistencia, flexibilidad y dureza lo convierte en una opción confiable y duradera en diversos ámbitos industriales (León et al., 2020).

Los poliuretanos termoplásticos (TPU) son polímeros versátiles utilizados en diversas industrias como la automotriz, la construcción, la fabricación de calzado y la tecnología biomédica. La estructura de los TPU, determinada por los reactivos y las condiciones de reacción, consiste en segmentos blandos (SS) y duros (HS). Los polioles de diferentes tipos, como poliéter, poliéster,

policaprolactona y policarbonato, se utilizan en la síntesis de TPU, y la elección del polirol influye significativamente en las propiedades finales del TPU. Por ejemplo, los TPU fabricados con poliéter polioles exhiben buena resistencia a la hidrólisis y permeabilidad al vapor de agua, mientras que los TPU fabricados con poliéster polioles presentan mayor resistencia a la tracción y dureza, pero son menos resistentes a la hidrólisis (Mónica Fuensanta & José Miguel Martín-Martínez, 2021).

2.2.4 La Manufactura Aditiva en el sector Automotriz

La industria automotriz está adoptando ampliamente tecnologías de fabricación aditiva en todos sus segmentos para explorar nuevas oportunidades en diseño y fabricación. En la actualidad, los fabricantes de automóviles están utilizando esta tecnología no solo para crear prototipos rápidos, sino también para producir componentes finales que son fundamentales para cumplir con los estrictos requisitos, como las regulaciones de economía de combustible en constante aumento, la demanda de personalización y los desafíos de la cadena de suministro en el mundo posterior a la pandemia (Zhao et al., 2023).

2.2.4.1 Ventajas y beneficios de la manufactura aditiva en la Industria Automotriz

La fabricación aditiva en la industria automotriz ha revolucionado la forma en que se fabrican los automóviles, ofreciendo una serie de beneficios significativos. Esta tecnología permite consolidar múltiples componentes en una sola pieza compleja, lo que resulta en una mayor eficiencia de fabricación, menos ensamblaje y una mayor resistencia estructural (Zhao et al., 2023). Además, la fabricación aditiva permite la creación de herramientas personalizadas para la producción, lo que optimiza los procesos y mejora la precisión en la fabricación de automóviles. También ha facilitado la producción de componentes y repuestos según la demanda, eliminando la necesidad de mantener grandes inventarios y permitiendo una mayor personalización de

repuestos en los cuales satisface las necesidades individuales de los consumidores. Por último, pero no menos importante, esta tecnología ha acelerado los tiempos de desarrollo de productos en la industria automotriz al reducirlos significativamente. En resumen, la fabricación aditiva ha transformado la industria automotriz al ofrecer beneficios como la consolidación de componentes, la creación de herramientas personalizadas, la producción según la demanda y la reducción de los tiempos de desarrollo de productos (Christoph et al., 2017).

2.2.4.2 Prototipado Rápido

El prototipado rápido se refiere a un procedimiento en el cual se utilizan técnicas CAD/CAM para generar coordenadas matemáticas que son procesadas con el fin de crear rápidamente modelos a escala (Jiménez et al., n.d.). Esta metodología permite la creación de formas geométricas complejas sin desperdiciar materiales, a diferencia del mecanizado convencional. Como resultado, existe una reducción significativa en los costos de elaboración para los prototipos y su vez un mejor enfoque en el diseño de los prototipos. (Anant Prakash Agrawal et al., 2023)

La impresión 3D está ganando rápidamente popularidad en el campo de la fabricación. Su mayor ventaja radica en la capacidad de obtener una representación física o prototipo real de un producto antes de iniciar su fabricación. Esto permite verificar su forma y detectar posibles errores, especialmente si el objetivo es mejorar un modelo anterior. Además, brinda la oportunidad de evaluar si el nuevo diseño cumple con los requisitos de tamaño y forma en el entorno de trabajo previsto. También facilita la comunicación con el cliente, ya que se le puede mostrar cómo será su producto antes de comenzar la producción. Si el cliente decide realizar modificaciones en el diseño, esto no implica una gran pérdida de esfuerzo y dinero (N. Sánchez & I. Lira., 2020).

2.2.5 Desafíos y limitaciones de la manufactura aditiva en la industria automotriz

Aunque las impresoras 3D son consideradas una tecnología relativamente nueva, su potencial es amplio y abarca varios sectores, como la arquitectura, la industria, el ámbito doméstico, el diseño, la fabricación e incluso la salud. Aunque actualmente no es la primera opción en la producción masiva de la industria, se vislumbra un futuro prometedor en este sentido. Uno de los desafíos a los que se enfrenta la impresión 3D en la industria es la falta de experiencia y eficiencia para competir con la maquinaria industrial establecida. Además, el tiempo requerido para imprimir una pieza, que puede tardar varias horas dependiendo de su complejidad, es un factor limitante en términos de productividad. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las ventajas de la impresión 3D, como la capacidad de generar modelos computarizados con medidas precisas, pueden ser una gran ventaja competitiva en el mercado. Aunque aún queda mucho por recorrer en este sector, se espera que la impresión 3D continúe evolucionando y mejorando su eficiencia para ser una opción más viable en la producción a gran escala. (Emiliano, 2018)

En la actualidad, la impresión 3D presenta restricciones en términos de producciones a gran escala. Estas limitaciones incluyen la falta de precisión y la sensibilidad al calor y a la humedad (Bravo & Diosdado, 2017).

Debido a que la tecnología todavía está en una etapa de desarrollo y consolidación, los costos de adquisición siguen siendo más altos que los métodos tradicionales. Esto debe ser evaluado desde una perspectiva sistémica en lugar de limitarse únicamente al proceso de producción. Es importante considerar los objetivos del sector, los cuales se centran en el bienestar de los consumidores más allá de las ganancias económicas. Por otra parte, se debe tener en cuenta un factor relacionado con la calidad, ya que los materiales utilizados deben ser evaluados

cuidadosamente, dado que no todos son adecuados en términos de resistencia a la fatiga, composición química, resistencia a la tracción estática y otros aspectos. (Rodríguez, 2022)

2.3 Marco Teórico

2.3.1 Implementación de una granja de manufactura aditiva

En primer lugar, se debe tener en consideración los pasos asociados con la producción de un objeto impreso en 3D, según Harshith Agrawal & Thompson (2021) se pueden describir de la siguiente manera:

En primer lugar, se utiliza un software de diseño asistido por ordenador (CAD) para crear una estructura 3D virtual en el entorno digital. Este software también proporciona información sobre la integridad estructural esperada del producto final.

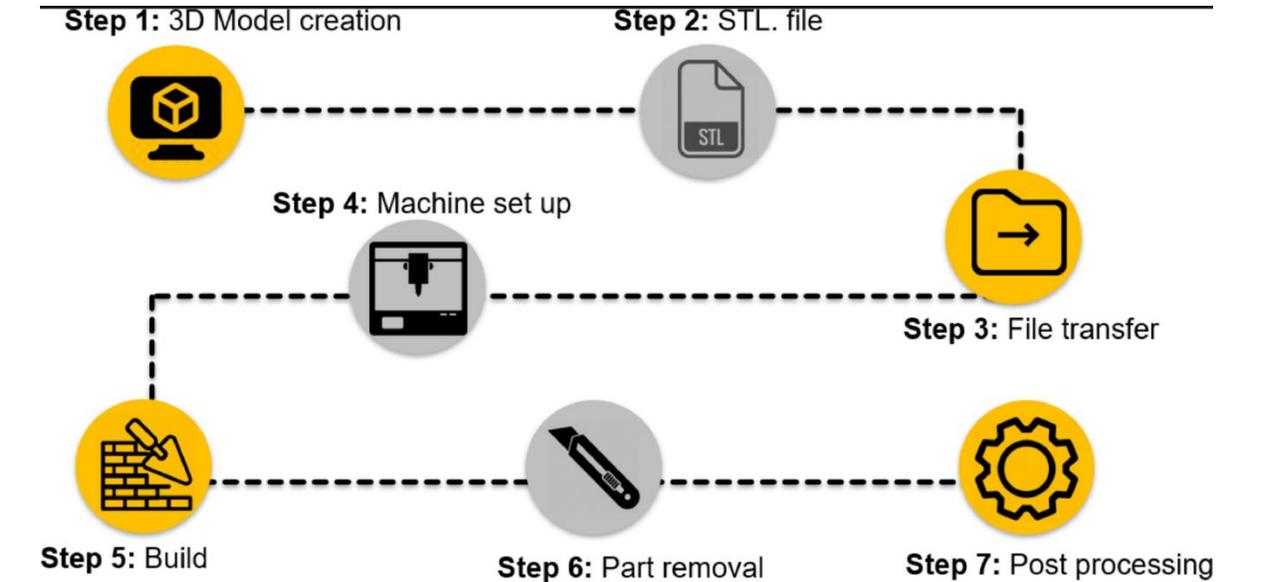
El siguiente paso implica convertir el archivo CAD al formato STL (archivo de teselación estándar). La teselación consiste en dividir la superficie exterior 2D del modelo 3D en pequeños triángulos llamados "facetas". Estas facetas describen la geometría de la superficie del objeto, pero no incluyen información de textura, color u otros atributos asociados al modelo.

Después de la conversión a STL, se transfiere el archivo a la computadora que está conectada a la impresora 3D. Esta etapa precede a la construcción física del objeto durante la fase de fabricación. Es importante tener en cuenta que el tiempo requerido y la resolución espacial para la construcción pueden variar significativamente según el tipo de impresora 3D utilizada.

Una vez completada la construcción, el objeto impreso está listo para ser retirado de la plataforma de impresión. El último paso, conocido como posprocesamiento, puede variar según los requisitos del producto final. Este proceso implica acciones como pintar, lijar, alisar y pegar. El posprocesamiento puede ser especialmente importante cuando el objeto impreso debe ser biocompatible para su uso previsto. La **Figura 2** indica el proceso descrito anteriormente.

Figura 2

Proceso de producción de un objeto impreso en 3D.



Nota. Adaptado de *Additive manufacturing (3D printing) for analytical chemistry*. 3, 100036–100036., por Harsshit Agrawaal, & Thompson, 2021, Science Direct (<https://doi.org/10.1016/j.talo.2021.100036>).

La implementación de una granja de manufactura aditiva es un enfoque cada vez más utilizado en la fabricación moderna. La manufactura aditiva, también conocida como impresión 3D, es un proceso mediante el cual se construyen objetos tridimensionales capa por capa, a partir de datos digitales. Una granja de manufactura aditiva se refiere a un conjunto de impresoras 3D que trabajan de manera coordinada y automatizada para producir piezas o productos en serie. (Rouf et al., 2022)

Las granjas de impresoras son similares a las granjas de servidores existentes. Estas granjas permiten que múltiples clientes accedan a recursos, en este caso, impresoras 3D, sin tener que incurrir en los costos de adquisición. El concepto de "fin de recopilar" se utiliza en la impresión industrial en 3D para aprovechar los beneficios de la demanda centralizada de recursos. Una granja

de manufactura aditiva consiste en un grupo de varias impresoras 3D trabajando juntas, lo que facilita la producción en masa de piezas o productos. Estas impresoras pueden ser del mismo modelo o de diferentes modelos, dependiendo de los requerimientos específicos del proceso de fabricación (Sachon, 2016).

Según Pando Feijóo & Beatriz (2019), la implementación de una granja de manufactura aditiva a pequeña escala ofrece diversas ventajas y desafíos que deben ser considerados. Algunas de las ventajas incluyen:

- Reducción de costos: La manufactura aditiva permite la producción de piezas o productos sin la necesidad de moldes costosos o herramientas especiales. Esto reduce los costos de fabricación, especialmente para producciones a pequeña escala.
- Personalización y adaptabilidad: La granja de manufactura aditiva permite la personalización y adaptabilidad de los productos, ya que se pueden realizar cambios en el diseño sin incurrir en altos costos adicionales.
- Producción de transporte descentralizada: los objetos se modelan y envían en formato digital para su impresión en cualquier ubicación.
- Uso eficiente de material: se consume el material necesario y exacto, reduciendo los desperdicios.
- Menor tiempo de comercialización: La producción en serie de piezas o productos mediante una granja de manufactura aditiva reduce el tiempo de comercialización, lo que permite una agilización en la entrega al consumidor final.

Sin embargo, Pando Feijóo & Beatriz (2019) manifiestan que existen desafíos asociados con la implementación de una granja de manufactura aditiva a pequeña escala, como:

- **Requerimientos de infraestructura:** Una granja de manufactura aditiva requiere un espacio adecuado y una infraestructura apropiada para albergar las impresoras, ya que el volumen de las maquinas lo requieren.
- **Costos iniciales:** Aunque la manufactura aditiva puede reducir los costos a largo plazo, la implementación inicial de una granja de manufactura aditiva implica la adquisición de impresoras 3D y sistemas de control automatizados, lo que puede ser una inversión significativa.
- **Restricción de tiempo de producción:** Además del tiempo necesario para que la máquina y el material alcancen la temperatura adecuada, después de la impresión se requiere un período de enfriamiento para la pieza.

La implementación de una granja de manufactura aditiva requiere considerar varias cuestiones relacionadas con la infraestructura y el equipamiento necesario. Algunas consideraciones importantes incluyen:

- **Espacio físico:** Es necesario contar con un espacio adecuado para albergar las impresoras 3D, así como áreas de trabajo y almacenamiento para los materiales y productos fabricados.
- **Equipamiento de seguridad:** Se deben implementar medidas de seguridad adecuadas, como extinguidores de incendios, alarmas de humo y sistemas de seguridad para proteger a los trabajadores y el entorno de posibles riesgos.
- **Impresoras 3D y sistemas de control:** Se debe seleccionar el tipo adecuado de impresoras 3D según los requerimientos de producción y los materiales a utilizar. Además, es necesario contar con sistemas de control y gestión para supervisar y coordinar las operaciones de la granja de manufactura aditiva.

2.3.2 Factores a considerar en la adecuación de la granja de manufactura aditiva:

La adecuación de una granja de manufactura aditiva en la Escuela de Ingeniería Automotriz requiere tomar en cuenta diversos factores para garantizar su funcionamiento óptimo y beneficios para la institución. Los principales factores a considerar son los siguientes:

2.3.2.1 Análisis de necesidades y requerimientos de la Escuela de Ingeniería Automotriz:

Antes de implementar una granja de manufactura aditiva, es esencial realizar un análisis exhaustivo de las necesidades y requerimientos de la Escuela de Ingeniería Automotriz. Esto implica identificar los objetivos específicos de la implementación de la granja de manufactura aditiva, como la mejora de la enseñanza, la investigación o la producción de prototipos. Además, es importante considerar los proyectos, programas académicos y las necesidades del mercado automotriz en términos de piezas y componentes.

Para la implementación de las impresoras no es necesario realizar muestras de estudios dentro de la Escuela de Ingeniería Automotriz ya que partimos con la necesidad principal que presenta la Escuela.

En base a un análisis visual y verbal con varios docentes especializados en el área de manufactura de la Facultad de Ciencias Técnicas se determinó que las necesidades de implementación son:

- Espacio destinado para las impresoras
- Indumentaria de seguridad
- Conexiones eléctricas
- Instrucción del uso de las maquinas
- Selección del equipo necesario

Algunas de estas necesidades se pueden gestionar con la Escuela de Ingeniería Automotriz, de tal manera los siguientes puntos a tratar dentro del marco teórico son de mayor relevancia para la implementación de la granja de manufactura aditiva a pequeña escala.

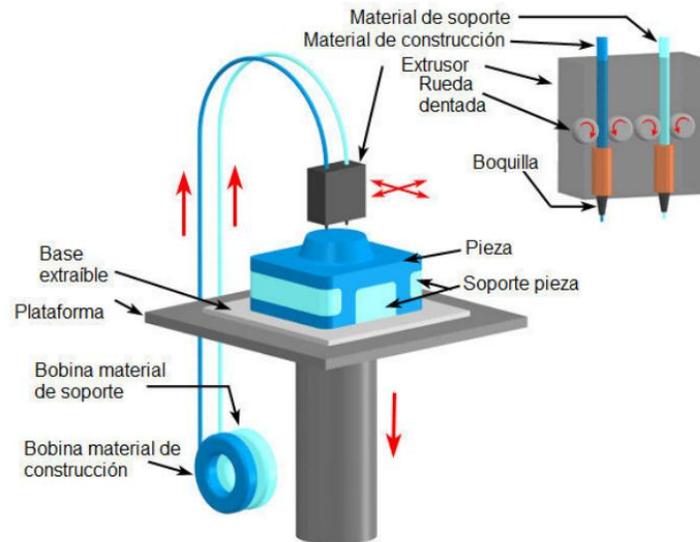
2.3.2.2 Selección de tecnologías de impresión 3D

Existen diversas tecnologías de impresión disponibles en el mercado, cada una con sus propias características y capacidades. Es necesario evaluar y seleccionar las tecnologías de impresión 3D adecuadas a las necesidades y requerimientos de la Escuela de Ingeniería Automotriz. Algunos aspectos a considerar incluyen la precisión, el tamaño de construcción, el tipo de materiales compatibles y la velocidad de impresión. Además, es importante evaluar la compatibilidad de las tecnologías seleccionadas con los archivos CAD utilizados en la industria automotriz.

La tecnología que se ajusta a los requisitos de la Escuela de Ingeniería Automotriz es la tecnología de modelado por deposición fundida (FDM, por sus siglas en inglés), es la opción popular en la actualidad y la utilizada en este proyecto. En este proceso, se emplea principalmente PLA o ABS en forma de filamento como material aplicado, aunque algunas marcas han desarrollado materiales combinados con PLA. Mediante un extrusor de diámetro reducido (entre 0,2-0,6 mm), que se calienta a una temperatura superior a la temperatura de fusión del material aplicado, se deposita el material en una plataforma, generando el objeto de forma gradual, capa por capa (Martí Rodríguez, Bernat, 2017). La **Figura 3** nos indica un esquema representativo del proceso de FDM.

Figura 3

Esquema representativo del proceso FDM.



Nota. Adaptado de Estudio sobre la optimización de los parámetros de fabricación en una impresora 3D con tecnología FDM, por Martí Rodríguez, Bernat, 2017, *Upc.edu*. (<http://hdl.handle.net/2117/106056>).

Después de crear la pieza en un programa de diseño asistido por computadora (CAD) y exportarla en formato STL, se ajustan los parámetros en un software específico para la impresora, como en cualquier otro proceso de fabricación aditiva. La cantidad de opciones de configuración disponibles puede variar según el software utilizado. En este proyecto en particular, se empleó la impresora Artillery Sidewinder X2 junto con el software gratuito Ultimaker Cura, el cual brinda una amplia gama de parámetros modificables. (Martí Rodríguez, Bernat, 2017)

Según Rodríguez & Bernat (2017) los parámetros más relevantes y su efecto en la impresión son:

- Configuración de impresión: En esta sección, se realiza la configuración de la impresión en un nivel más detallado, abarcando aspectos como la velocidad de deposición de material, altura de capa, parámetros y material de soporte, entre otros.

- Configuración del filamento: En esta sección se ingresan los datos relacionados con el filamento utilizado, como su diámetro, las temperaturas del extrusor y la cama, así como la activación del ventilador del extrusor para determinar cuándo enfriar las capas.
- Configuración de la impresora: En esta última pestaña se ingresan los parámetros específicos de nuestra impresora, como el tamaño de la cama de impresión, la cantidad de extrusores utilizados y el diámetro de la boquilla. También podemos controlar la retracción del filamento durante los movimientos de no impresión. Además, podemos agregar código G-code para la parte inicial, final, entre capas y cambios de herramienta. Se puede acceder al código G-code completo y modificarlo según sea necesario.

2.3.2.3 Evaluación de costos de implementación de la granja

La implementación de una granja de manufactura aditiva implica costos tanto iniciales como en curso. Es necesario realizar una evaluación exhaustiva de los costos asociados con la adquisición de impresoras 3D, sistemas de control automatizados, materiales de impresión, mantenimiento y operación.

Según el libro "Cost Accounting: A Managerial Emphasis" (Horngren et al., 2018) existe costos directos, semidirectos, indirectos, variables, fijos, etc. Para la implementación se pueden considerar los siguientes costos:

- Costos de adquisición: Esto incluye el costo de compra de las impresoras 3D FDM, el Raspberry Pi 4 y cualquier otro equipo necesario como cámaras u otros dispositivos de automatización.
- Costos de mantenimiento: Es necesario considerar los gastos asociados con el mantenimiento y reparación de las impresoras 3D y el Raspberry Pi 4. Esto puede incluir

el reemplazo de piezas desgastadas, limpieza y calibración regular de las impresoras, así como actualizaciones o reemplazo del Raspberry Pi 4 en caso de ser necesario.

- Consumibles: Los consumibles principales en una granja de impresoras 3D FDM son los filamentos utilizados para imprimir. Se debe estimar el consumo de filamentos por impresora y calcular el costo total de los filamentos requeridos para el funcionamiento de la granja a lo largo del tiempo.
- Costos adicionales: Se deben tener en cuenta otros posibles gastos, como licencias de software, herramientas y accesorios auxiliares, seguros, permisos y otros costos administrativos.

Al realizar una evaluación de costos para una granja de impresoras 3D FDM automatizadas con un Raspberry Pi 4, es importante considerar todos estos aspectos.

Tabla 3

Costos de implementación de la granja de Manufactura Aditiva.

Detalle	Unidad	Valor (USD)
Raspberry Pi 4	1	200
Impresora Artillery X2	2	1200
Impresora Any Cubic Chirron	1	700
Filamento PLA	2	40

Nota. En cada fila se especifica el elemento utilizado la cantidad y el valor unitario en dólares americanos.

2.3.2.4 Manual de uso para el personal docente y estudiantil

La implementación exitosa de una granja de manufactura aditiva requiere una capacitación adecuada del personal docente y estudiantil. Es importante proporcionar un documento que permita la capacitación y formación a los profesores y estudiantes para que adquieran habilidades técnicas en el uso de las tecnologías de impresión 3D, la preparación de archivos de impresión y la operación de la granja de manufactura aditiva. Esto asegura un uso eficiente de la tecnología y promoverá la integración de la manufactura aditiva en los programas académicos y proyectos de investigación.

Según Roca, A. F. & García (2016), el manual de procedimientos adquiere la forma de una guía oficial y formal que brinda orientación para llevar a cabo un proceso específico. Su objetivo principal es proporcionar información clara sobre qué acciones deben realizarse, cómo llevarlas a cabo, cuándo y dónde hacerlo, además de conocer los recursos y requisitos necesarios para su ejecución.

2.3.3 Integración de la manufactura aditiva en el currículo educativo

La integración de la manufactura aditiva en el currículo educativo de la Escuela de Ingeniería Automotriz es esencial para preparar a los estudiantes con las habilidades y conocimientos necesarios para enfrentar los desafíos de la industria automotriz en constante evolución.

2.3.3.1 Revisión de los planes de estudio de la Escuela de Ingeniería Automotriz:

El primer paso para la integración de la manufactura aditiva es llevar a cabo una revisión exhaustiva de los planes de estudio existentes en la Escuela de Ingeniería Automotriz. Esta revisión permite identificar las áreas del currículo que pueden ser enriquecidas con contenidos relacionados con la manufactura aditiva. Es importante analizar los cursos existentes y determinar dónde se

pueden incorporar conceptos, principios y aplicaciones de la manufactura aditiva de manera efectiva.

Figura 4

Malla Curricular de la Carrera de Ingeniería Automotriz en la Universidad Internacional



SEMESTRE 1	SEMESTRE 2	SEMESTRE 3	SEMESTRE 4	SEMESTRE 5	SEMESTRE 6	SEMESTRE 7	SEMESTRE 8
Álgebra Lineal <small>ASU</small>	Cálculo de la Ingeniería <small>ASU</small>	Termodinámica <small>ASU</small>	Mecánica de Fluido	Motores de Combustión Interna <small>ASU</small>	Motores de Competición	Hidráulica y Neumática	Maquinaria Pesada
Física General <small>ASU</small>	Estática	CAD II	Dinámica del Vehículo	Resistencia de Materiales	Sistemas Automotrices	Autotrónica	Diseño Mecánico aplicado al Vehículo
Metrología	CAD I	Estadística <small>ASU</small>	Procesos de Manufactura I	Procesos de Manufactura II	Gestión del Mantenimiento Automotriz	Acabados Automotrices	Gerencia de Servicio <small>ASU</small>
Análisis matemático	Metodología de la Investigación <small>ASU</small>	Historia y Realidad Nacional	Seguridad y Salud Ocupacional	Contabilidad	Redacción Académica y Científica	Prácticas de Servicio Comunitario	Administración por Calidad Total <small>ASU</small>
Química <small>ASU</small>	Programación <small>ASU</small>	Ciencia de Materiales	Ética Profesional <small>ASU</small>	Sistemas de Inyección de Combustible	Ingeniería de Proyectos	Energías Alternativas	Nuevas Tecnologías del Vehículo
Técnicas de Comunicación <small>ASU</small>	Cultura Física I	Cultura Física II	Electricidad Automotriz <small>ASU</small>	Práctica Laboral I	Electrónica Automotriz <small>ASU</small>	Sistemas Digitales y Microcontroladores <small>ASU</small>	Unidad de Integración Curricular
					Práctica Laboral II		

Requisito de Graduación: 6 Niveles de Inglés (B2)

Nota. Adaptado de página oficial de la Universidad Internacional del Ecuador, por Escuela de Ingeniería Automotriz, 2022, uide.edu.ec (<https://www.uide.edu.ec/wp-content/uploads/2022/11/MALLAS-ASU-MARZO-AUTOMOTRIZ-MAYO-2022.pdf>)

La carrera tiene un enfoque en los procesos de CAD/CAE con las materias:

- CAD I y II
- Manufactura I y II
- Diseño Mecánico aplicado al Vehículo

El manejo, control y uso de las impresoras 3D automatizadas deben ser parte del programa de estudio dentro de estas materias, específicamente en la materia de Manufactura en donde se

puede abarcar con profundidad esta nueva técnica de generación de prototipado rápido de componentes automotrices.

Una vez identificadas las oportunidades de inclusión, se debe diseñar módulos de formación específicos en manufactura aditiva dentro de materias preexistentes. Estos módulos pueden ser tanto teóricos como prácticos, con el objetivo de proporcionar a los estudiantes una comprensión profunda de los fundamentos de la manufactura aditiva y las habilidades necesarias para utilizar esta tecnología de manera efectiva. Los módulos pueden abordar temas como los procesos de impresión 3D, la preparación de archivos de impresión, la selección de materiales, el diseño y la optimización para la fabricación aditiva, y la gestión de la calidad en la manufactura aditiva.

Es importante destacar que la integración de la manufactura aditiva en el currículo educativo debe considerar también aspectos interdisciplinarios y aplicaciones específicas a la industria automotriz. Se pueden explorar colaboraciones con otras disciplinas, como el diseño de productos, la ingeniería de materiales y la gestión de la cadena de suministro, para fomentar un enfoque holístico en la formación de los estudiantes (Latina, 2019).

Capítulo III

Marco metodológico

3.1 Tipo de proyecto

El proyecto se enfoca en examinar el correcto funcionamiento de una granja de impresión 3D, mediante la instalación de maquinaria adecuada que permita un proceso de prototipado de manera rápida y eficiente, minimizando significativamente el tiempo requerido para la creación de diseños, a través de la implementación de tecnologías que beneficien a los estudiantes de la Facultad de Ciencias Técnicas – Automotriz.

3.2 Adecuación del espacio

Después de llevar a cabo un exhaustivo análisis y obtener la aprobación correspondiente, se procedió a evaluar el espacio disponible en la facultad de ciencias técnicas, detallando un croquis del área, con el objetivo de aprovechar al máximo el espacio existente y garantizar que los estudiantes puedan ingresar de manera cómoda y accesible tal como se muestra en el **anexo de la página 81**.

Se tuvo en cuenta la importancia del aprendizaje, donde los estudiantes puedan escuchar atentamente y absorber los conocimientos impartidos, estableciendo un nuevo espacio dedicado a la manufactura aditiva, una disciplina que requiere de un ambiente adecuado para su desarrollo y aprendizaje efectivo mostrados en la **figura 5 y 6**.

Figura 5

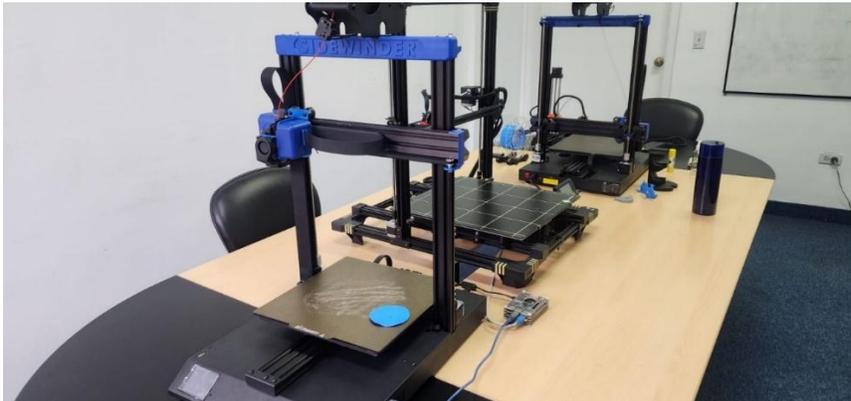
Computadora de acceso directo al control del equipo.



Nota: Computadora conectada de manera directa al sistema de operación.

Figura 6

Equipos correctamente conectados.



Nota: Ubicación de impresoras 3D.

3.3 Ensamblaje y calibración de las impresoras

Para el desarrollo de este proyecto se han seleccionado las impresoras Artillery X2 y AnyCubic Chiron, las cuales son reconocidas por su capacidad de realizar impresiones de alta calidad y por contar con áreas de impresión suficientemente grandes para llevar a cabo proyectos de gran complejidad y tamaño. La Artillery X2 tiene una capacidad de impresión de hasta

300x300x300 mm, mientras que la AnyCubic Chiron es capaz de imprimir hasta 400x400x450 mm, por lo que ambas son ideales para la realización de prototipos de diferentes tamaños y formas. Además, estas impresoras cuentan con un mercado nacional por lo que sus repuestos y mantenimientos permitirá un reemplazo de componentes de forma económica y ágil.

Calibración manual:

1. La calibración manual inicia con una puesta de trabajo de las maquinas, es decir, proporcionar la temperatura ideal de trabajo de las impresoras que se encuentra entre los 180 - 220 por parte del extrusor y los 60 - 80 grados centígrados en la cama tal como se muestra en la **figura 7**.

Figura 7

Pantalla de comandos 3D Artillery Printer Sidewinder X2 (Temperatura de operación).



Nota: Temperaturas óptimas para previa calibración.

2. Se utiliza una hoja colocada entre el extrusor y la cama caliente, el mismo se debe pasar de manera tal que no se encuentre atascado ni flotando en la cama, el mismo puede ser ajustado mediante las perillas ubicadas en los diferentes puntos de las impresoras

proporcionado por “Tools y Level”. Observar la **figura 8 y 9** para una mejor comprensión del proceso.

Figura 8

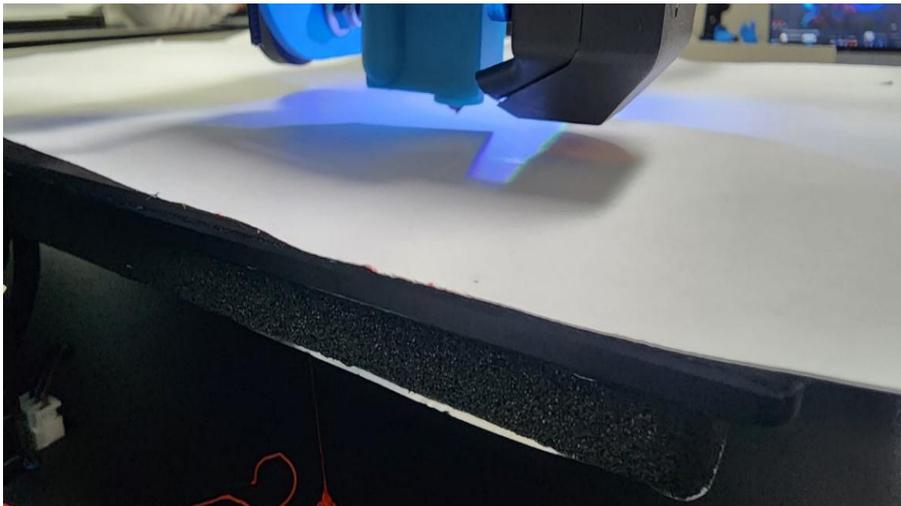
Pantalla de Tools y level.



Nota: Panel de acceso para configuración de impresora.

Figura 9

Calibracion con hoja A4



Nota: Hoja A4 necesaria para la primera calibración.

3. La calibración autónoma se realiza a través de los sensores implementados en las maquinas además hay que tomar en cuenta que las impresoras artillery cuentan con una placa

magnética adicional lo que proporciona cambio en los parámetros de temperatura de la cama antes de su nivelación.

Figura 10

Panel de calibración en forma autónoma.



Nota: Controles para calibración autónoma.

3.4 Sistema de control

El sistema de control consta de un Raspberry Pi 4 conectado en red a los equipos de manufactura aditiva lo que permitirá un uso remoto de las impresoras 3D mediante el Octoprint y Telegram. La Raspberry Pi es un pequeño ordenador de placa única (SBC) que ha sido diseñado para ser muy asequible y fácil de usar.

Características de uso de Raspberry:

- Es compatible con una variedad de sistemas operativos, incluyendo Raspbian, Ubuntu Mate y Windows 10, Core, entre otros.
- Cuenta con puertos diferentes, incluyendo USB, HDMI, Ethernet, y un conector de alimentación de 5V.

- Ranura para tarjetas microSD, que se utiliza para almacenar el sistema operativo, programas y datos.
- Pines GPIO (General Purpose Input/Output) que se pueden utilizar para enviar y recibir señales de entrada y salida a través de dispositivos electrónicos.

El microcontrolador debe ser conectado mediante una alimentación controlada de 5A y las impresoras mediante los puertos USB, el mismo puede ser extendido con puertos adicionales en caso de querer conectar más impresoras y cámaras que ayuden al control de las impresoras en el futuro.

3.4.1 Instalación de software de control

Pasos

1. Conectar una tarjeta micro sd a la computadora la misma debe ser de 4Gb o más.
2. Instalar Raspberry Pi imager de la página oficial ya sea para Windows o Mac.
3. Seleccionar el cuadro de “Choose os” luego se debe seleccionar el cuadro de “Other specific-purpose OS” adicional “3D printing” y por último a “Octopi – Octopi (stable)”, el proceso es visible en los **anexos de la página 82**.
4. La conexión se puede establecer mediante cable o conectándolo directamente vía wifi presionando la ranura del Raspberry Pi Imager. Revisar la **Figura 11**

Figura 11

Ranura de configuración

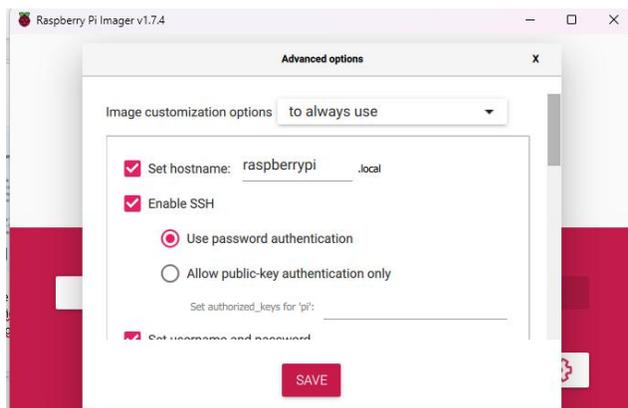


Nota: La captura muestra la ranura de configuración para su posterior uso.

5. Configurar paso a paso la conexión wifi tal como se ve en la **Figura 12** además de poder modificar el nombre de acceso y contraseña para evitar una modificación del código o a su vez una mala manipulación.

Figura 12

Configuración de Wifi y clave de acceso a la Raspberry.



Nota: Edición de parámetros para el uso de wifi.

6. Finalizado los pasos descritos debe presionar write para guardar el código proporcionado por Raspberry PI. Revisar la **Figura 13**.

Figura 13

Guardado de Programa en Raspberry.

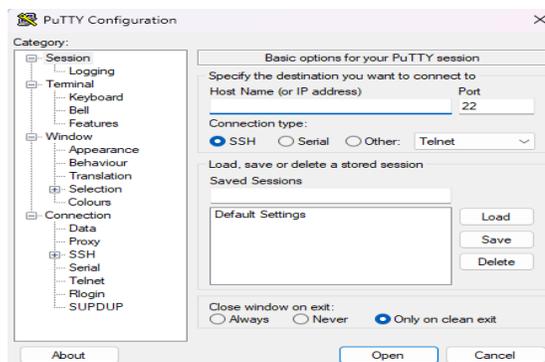


Nota: Guardado de programa Octoprint.

7. Una vez instalado el programa Octopi se deberá instalar el programa “PuTTY”, el mismo permitirá reescribir el código para extender las impresoras o a su vez las cámaras ya que el código original del programa no permite más de una impresora.
8. Para acceder a la Raspberry Pi se debe introducir la micro sd en la que se guardó el código de Octopi, y abrir el programa PuTTY como se logra observar en la **Figura 14** donde se debe introducir la dirección IP en el que esté conectado la raspberry, el mismo se puede obtener accediendo al router al que está conectado.

Figura 14

Escritura de programa a través de PuTTY .



Nota: Apertura de PuTTY para la edición de código.

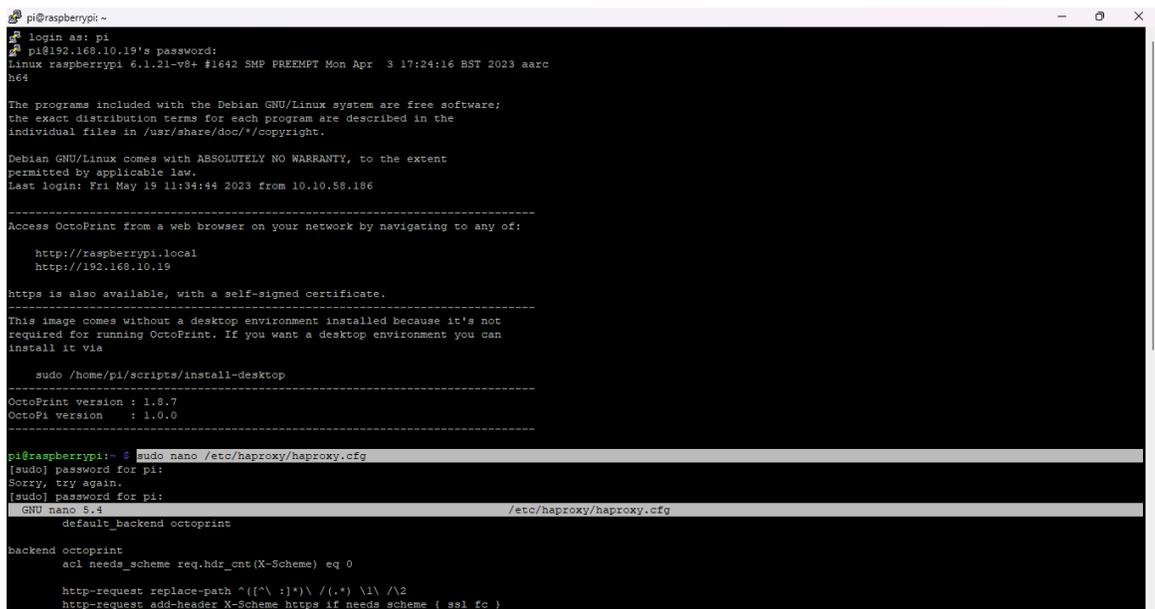
9. Dentro de PuTTY nos permitirá editar el código base ingresando mediante el usuario pi y la contraseña Vicanto.
10. Dado a que el código fue introducido de forma autónoma por raspberry pi, se instaló los plugins necesarios para el funcionamiento de las impresoras 3D, los mismos pueden seguir siendo añadidos según las necesidades de la Universidad.

3.4.2 Modificación del código base para ampliar el uso de impresoras 3D.

Si se desea utilizar más de una impresora, es necesario reescribir el código en la Raspberry Pi. Es importante considerar que para algunas impresoras se requiere programación adicional para que funcionen correctamente a través de Octopi. Por lo tanto, con el fin de aprovechar al máximo el potencial de varias impresoras, se deberá tomar en cuenta la programación adicional necesaria tal como se muestra en la **Figura 15 y 16**.

Figura 15

Escritura de programa a través de PuTTY.



```
pi@raspberrypi:~$
login as: pi
pi@192.168.10.19's password:
Linux raspberrypi 6.1.21-v8+ #1642 SMP PREEMPT Mon Apr  3 17:24:16 BST 2023 aarc
h64

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Fri May 19 11:34:44 2023 from 10.10.58.186

-----
Access OctoPrint from a web browser on your network by navigating to any of:

  http://raspberrypi.local
  http://192.168.10.19

https is also available, with a self-signed certificate.
-----
This image comes without a desktop environment installed because it's not
required for running OctoPrint. If you want a desktop environment you can
install it via

  sudo /home/pi/scripts/install-desktop
-----
OctoPrint version : 1.8.7
OctoPi version    : 1.0.0
-----

pi@raspberrypi:~$ sudo nano /etc/haproxy/haproxy.cfg
[sudo] password for pi:
Sorry, try again.
[sudo] password for pi:
GNU nano 5.4 /etc/haproxy/haproxy.cfg
default_backend octoprint

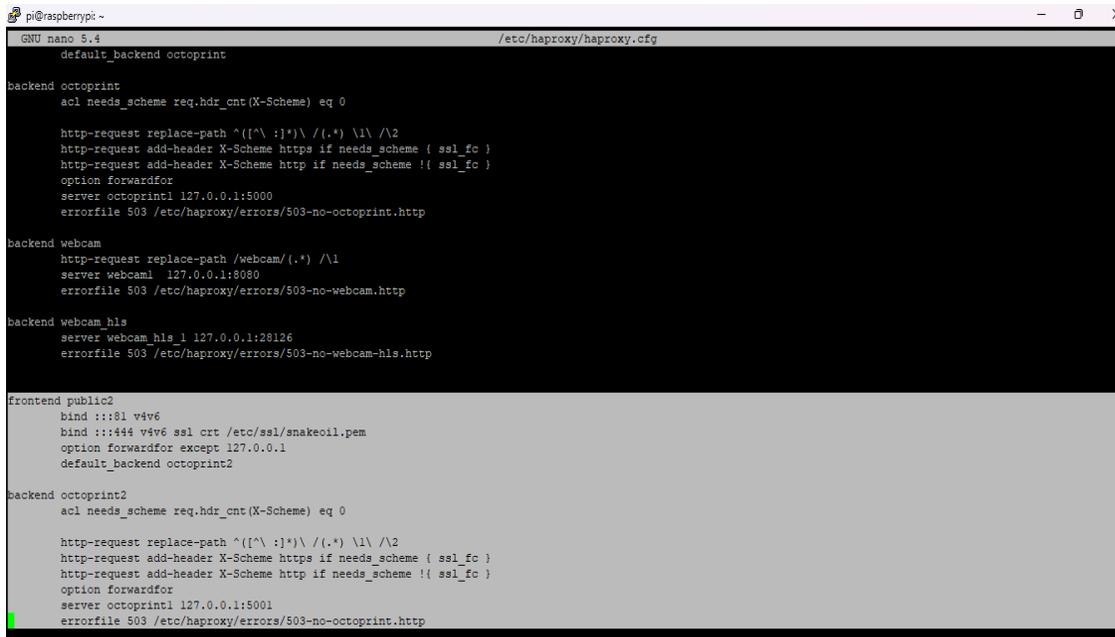
backend octoprint
acl needs_scheme req_hdr_cnt(X-Scheme) eq 0

http-request replace-path ^([\^ :]*)\ /(.*) \1\ /\2
http-request add-header X-Scheme https if needs_scheme { ssl_fc }
```

Nota: Escritura de código para acceder a la modificación del código fuente.

Figura 16

Modificación de programa Octopi.



```
pi@raspberrypi:~$ nano /etc/haproxy/haproxy.cfg
GNU nano 5.4 /etc/haproxy/haproxy.cfg
default_backend octoprint

backend octoprint
acl needs_scheme req_hdr_cnt(X-Scheme) eq 0

http-request replace-path ^([\ :]*)\ (.*) \| \| / \2
http-request add-header X-Scheme https if needs_scheme { ssl_fc }
http-request add-header X-Scheme http if needs_scheme !{ ssl_fc }
option forwardfor
server octoprint1 127.0.0.1:5000
errorfile 503 /etc/haproxy/errors/503-no-octoprint.http

backend webcam
http-request replace-path /webcam/(.*) /\1
server webcam1 127.0.0.1:8080
errorfile 503 /etc/haproxy/errors/503-no-webcam.http

backend webcam_hls
server webcam_hls_1 127.0.0.1:28126
errorfile 503 /etc/haproxy/errors/503-no-webcam-hls.http

frontend public2
bind :::81 v4v6
bind :::444 v4v6 ssl crt /etc/ssl/snakeoil.pem
option forwardfor except 127.0.0.1
default_backend octoprint2

backend octoprint2
acl needs_scheme req_hdr_cnt(X-Scheme) eq 0

http-request replace-path ^([\ :]*)\ (.*) \| \| / \2
http-request add-header X-Scheme https if needs_scheme { ssl_fc }
http-request add-header X-Scheme http if needs_scheme !{ ssl_fc }
option forwardfor
server octoprint1 127.0.0.1:5001
errorfile 503 /etc/haproxy/errors/503-no-octoprint.http
```

Nota: Nueva escritura para acceder a más impresoras.

Ajustar y personalizar la configuración tanto del código como de los dispositivos de impresión para que trabajen juntos de manera efectiva. Esto implica un trabajo adicional, pero una vez implementado permitirá trabajar con múltiples impresoras desde la Raspberry Pi.

Pasos:

3.4.3 Implementación de Bot para un uso personalizado y controlado mediante cámaras.

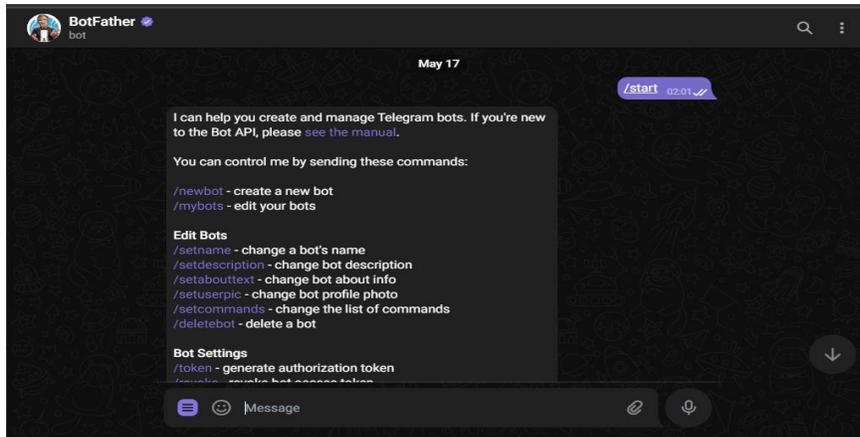
Dado que las impresoras suelen tardar varias horas en cierto tipo de impresiones, un control minucioso es necesario por parte de los docentes, evitando accidentes que puedan dañar tanto los equipos como las instalaciones de la Universidad.

Para la implementación de un bot de control hay que ingresar a telegram y buscar a “@botfather”, para dar proporcionar los siguientes comandos:

- 1) /start. Observar la **Figura 17**.

Figura 17

Primer paso para la creación de Bot mediante en Telegram “/start”.



Nota: Búsqueda de Bot-Father.

2) /newbot

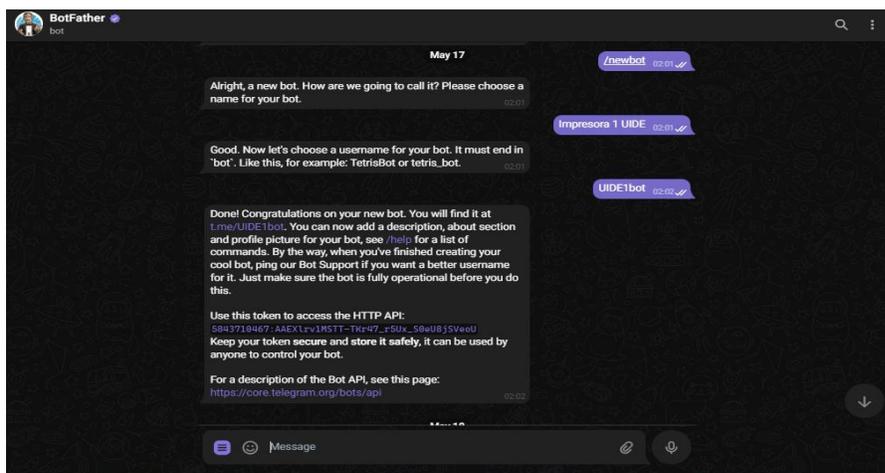
3) “introducir el nombre del bot” ejemplo: UIIDE Print

4) “introducir el nombre de usuario para el bot, terminando la palabra en bot” ejemplo:

UIIDEbot. Observar la **Figura 8**.

Figura 18

Paso de 2-4 para la creación de Bot mediante en Telegram.

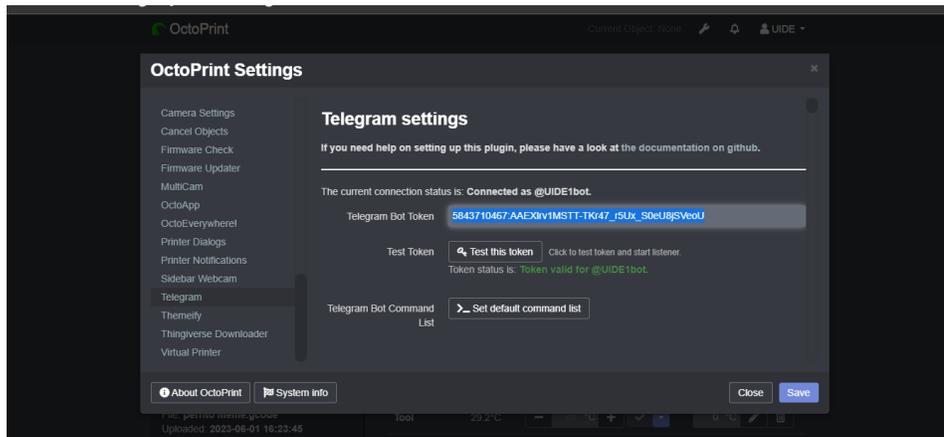


Nota: Creación de Bot para un uso remoto de Telegram.

5) Copiar el link proporcionado por el telegram para poder utilizar el plugging de telegrama que se puede descargar en Octoprint tal como se muestra en la **Figura 19**.

Figura 19

Link de acceso mediante octoprint.



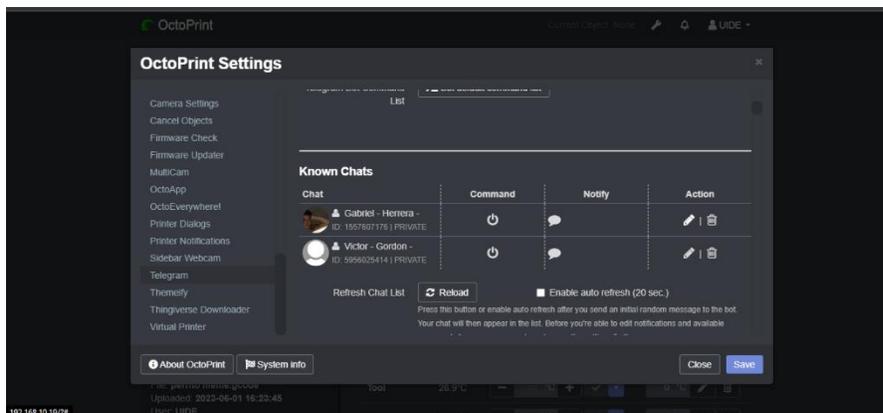
Nota: Para la activación del plugging es necesario pegar el link como se muestra en la imagen.

6) Acceder al plugging de Telegram en Octoprint pegar el link de acceso al Bot y proporcionar los permisos necesarios para los usuarios que se pretenda dar control. Observar la

Figura 20.

Figura 20

Panel de permisos “octoprint”



Nota: El panel mostrado permite el acceso de las personas solicitantes.

Capítulo IV

Discusión y resultados

4.1 Funcionamiento del equipo de manera manual

1. Para un correcto funcionamiento del equipo se debe precalentar el mismo a una temperatura de 220°C en el extrusor y la cama a una temperatura de 60 a 80°C, tal como se muestra en la **Figura 21** esta temperatura permite una calibración inicial en caso de ser necesario, además, el material sobrante de otras impresiones se retira de forma eficiente.

Figura 21

Temperatura óptima para trabajo.

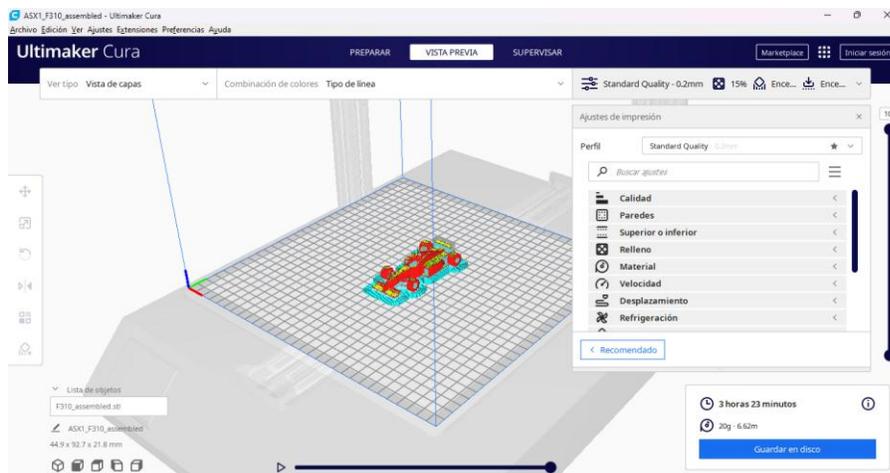


Nota: Tomar en cuenta las temperaturas de material y demás permite un correcto funcionamiento del equipo.

2. Para la impresión 3D se debe contar con una memoria USB y una tarjeta micro sd los mismos se utiliza en las impresoras Artilley y anycubic respectivamente.
3. Para el guardado del modelo realizar mediante cualquier programa gratuito en red como Cura, prusa slicer, etc. Revisar la **Figura 22**.

Figura 22

Guardado de modelo Ultimaker Cura.

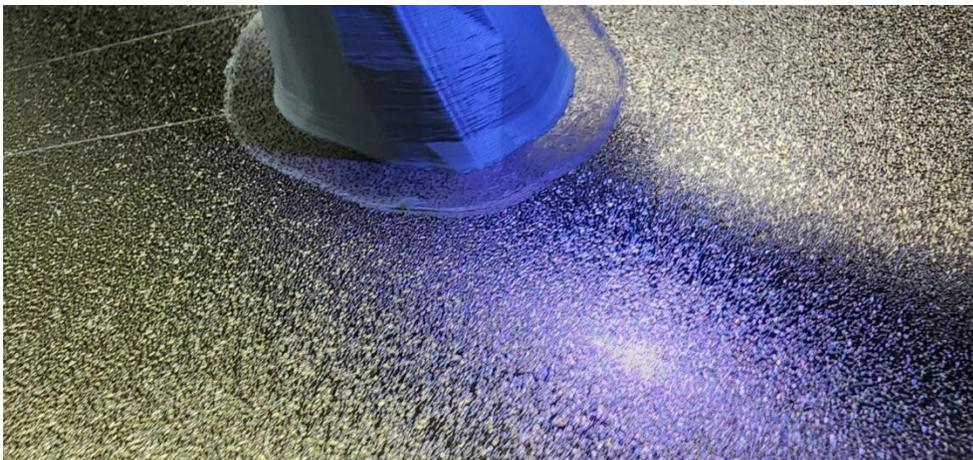


Nota: Posicionar correctamente el modelo permite una optimización de recursos.

4. Conectar la memoria USB o a su vez la Micro SD se debe seleccionar la opción de impresión y proceder seleccionar el archivo correspondiente para iniciar la impresión.
5. Revisar la capa inicial de impresión ya que de la misma dependerá si el modelo a imprimir se ha adherido correctamente a la cama de impresión y no provocara accidentes en la impresión. Observar la **Figura 23** para entender de mejor manera una correcta capa inicial.

Figura 23

Revisión de capa inicial adecuada para impresión.

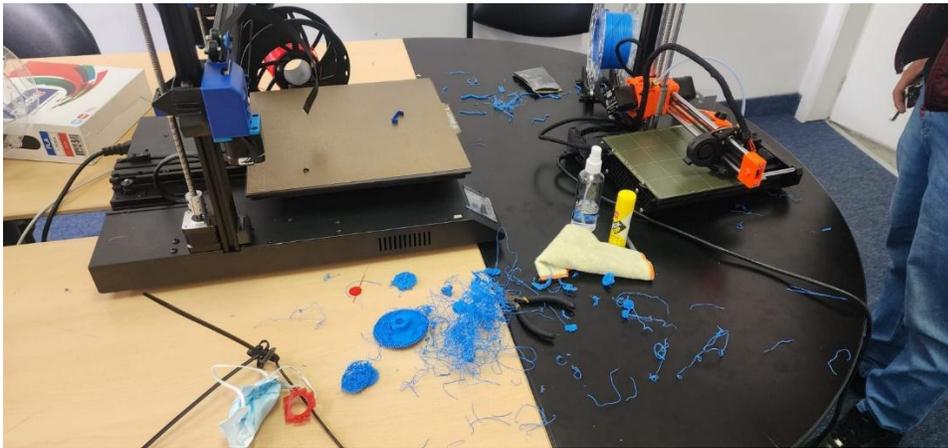


Nota: Capa inicial adecuada para impresión.

6. Supervisar cada cierto tiempo debido a que la impresión puede fallar y causar daños al equipo. Observar la **Figura 24**.

Figura 24

Falla de equipo por mala calibración del mismo.



Nota: Mala calibración de Impresión.

Para retirar el producto final utilizar una espátula o a su vez retirar la cama de impresión magnética tomando en cuenta la temperatura en la que se encuentre la impresora.

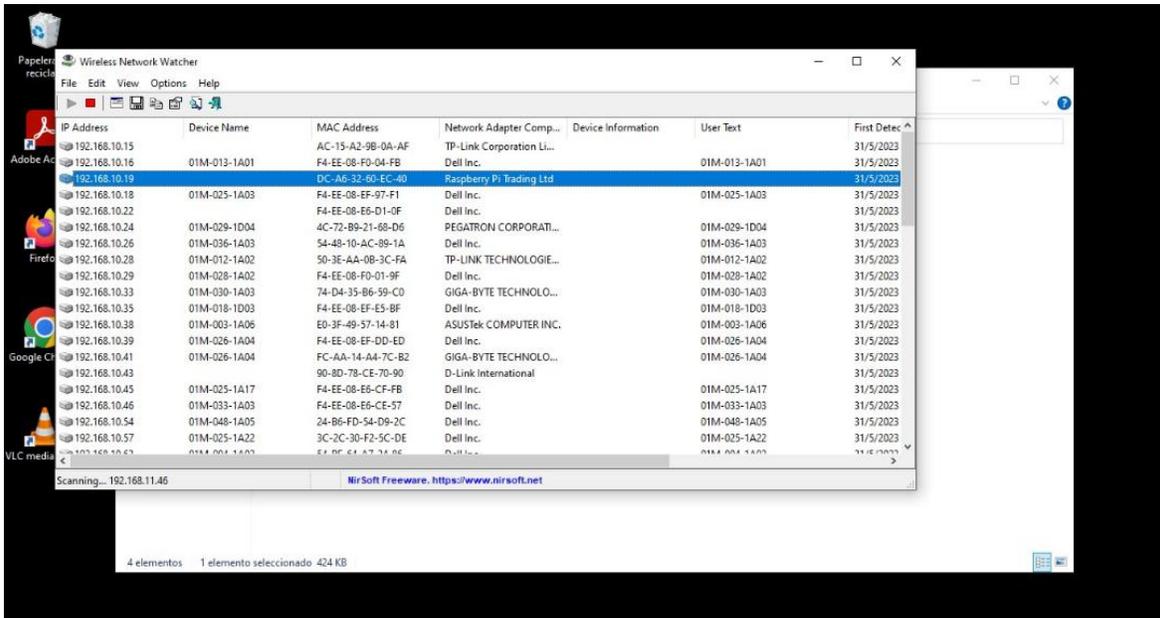
4.2 Funcionamiento del equipo a través del sistema automatizado

4.2.1 (Computadora)

1. Para acceder mediante la computadora escribir la dirección IP a la cual se encuentre conectado la raspberry PI4 el mismo se puede observar mediante la computadora y un buscador de IP, (también se puede pedir la dirección IP mediante telegram con el comando “/sys”). Revisar la **Figura 25, 26 y 27**.

Figura 25

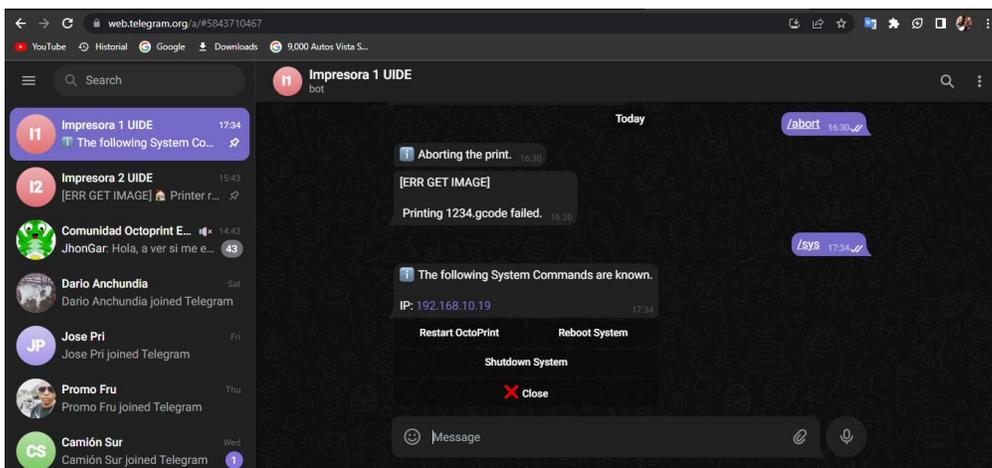
Búsqueda de IP mediante Wnetwatcher.



Nota: La búsqueda del IP a la que está conectado el Raspberry es primordial para una conexión con Octoprint.

Figura 26

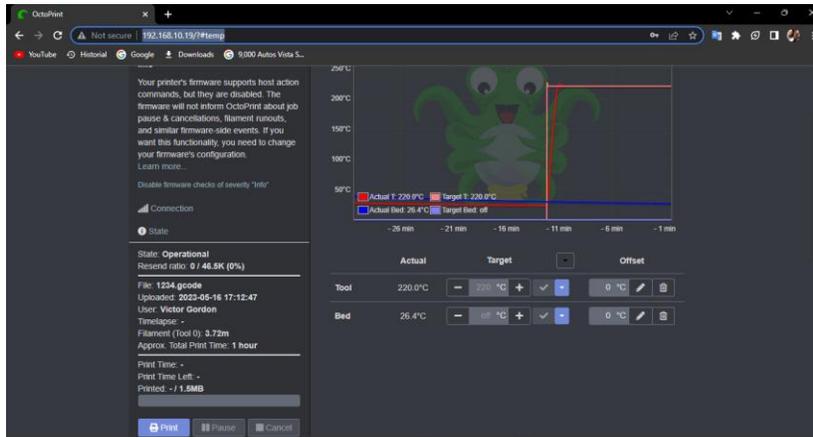
Búsqueda de IP mediante Telegram.



Nota: El Bot permite la simplificación del proceso de búsqueda del IP.

Figura 27

Apertura de Octoprint mediante la dirección IP.

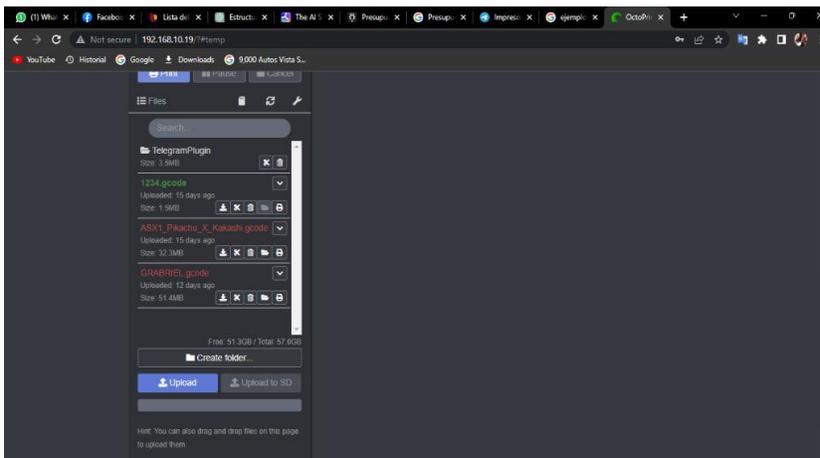


Nota: Colocar el IP en cualquier navegador web permite la apertura del programa.

2. Para la impresión de cualquier modelo subir un archivo en un formato tipo (G code) con el modelo de impresora adecuado para su uso, el mismo puede ser convertido de manera correcta con los diferentes programas gratuitos para impresión 3D. Observar las **Figuras 28 y 29** para una mejor comprensión del proceso.

Figura 28

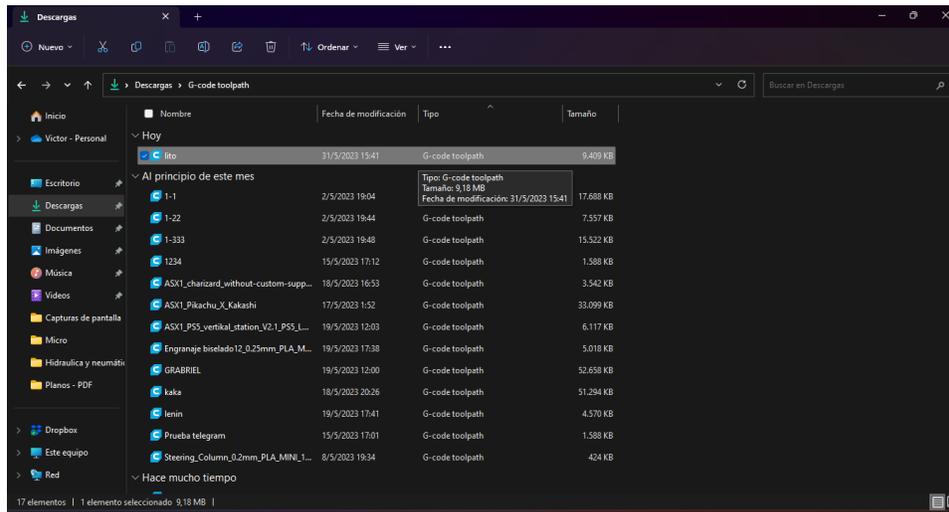
Panel de subida de archivos en código G.



Nota: El panel permite la exploración de archivos en la computadora la cual se conecte al programa.

Figura 29

Apertura de archivos tipo G.

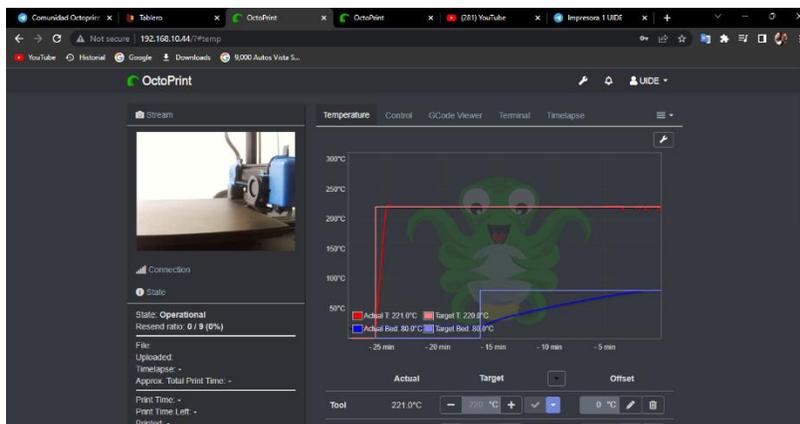


Nota: Búsqueda de archivos en código G

3. Al presionar el símbolo  el mismo pondrá en marcha la impresión de manera remota pudiendo ser supervisada mediante la cámara instalada en el Raspberry. Para una mejor comprensión observar la **figura 30**.

Figura 30

Impresión y control mediante Octoprint.



Nota: Octoprint permite un control total de las impresoras teniendo una visualización completa de todos los parámetros que estén activos durante la impresión.

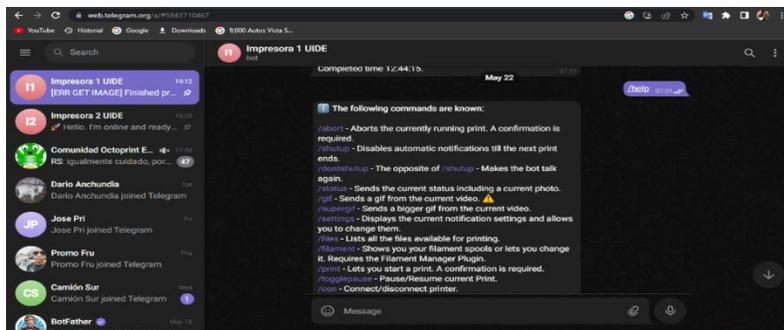
4. Para retirar el producto final se debe utilizar una espátula o a su vez retirar la cama de impresión magnética tomando en cuenta la temperatura en la que se encuentre la impresora.

4.2.1 (Bot - Telegram)

1. Para acceder mediante telegram se debe abrir el chat y proporcionar el comando “/help” y según la necesidad de uso presionar el comando adecuado. Observar la **Figura 31**.

Figura 31

Acceso mediante el Bot de telegram.

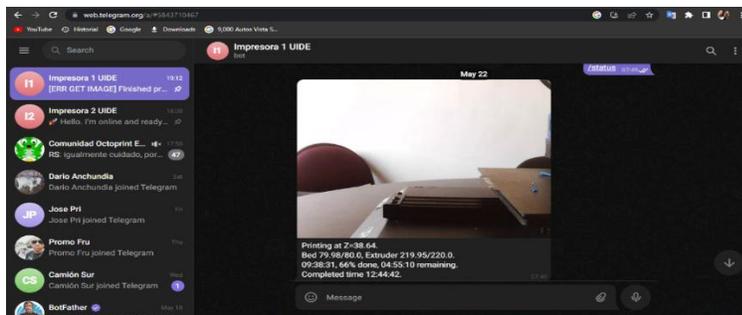


Nota: El comando “/help” permite una lectura de las funciones habilitadas por el Bot.

2. Se debe presionar o escribir el comando “/status” para observar el estado de la impresión incluido una imagen en caso de haber una impresión sobre la cama. Observar la **figura 32**.

Figura 32

Imagen obtenida mediante el comando “/status”.

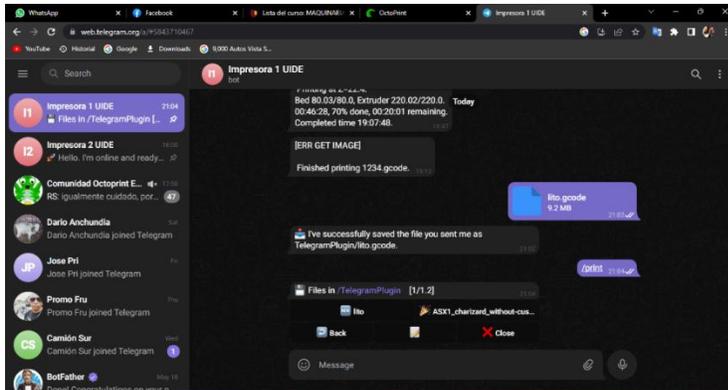


Nota: La imagen proporcionada por el Bot de Telegram permite un estado completo de la impresión junto a una imagen de esta.

3. Para subir un archivo simplemente se debe arrastrar el modelo en formato “G code”.
4. En caso de no contar con ninguna impresión en la cama se utilizará el comando “/print” seleccionando el archivo que se desee imprimir. Observar la **figura 33**.

Figura 33

Búsqueda impresión mediante Telegram.



Nota: El bot de Telegram permite una impresión remota de cualquier archivo.

5. Para un control del proceso se puede dar el comando “/status” el cual proporcionara un estado se impresión junto una imagen del estado real de la impresión.
6. El Bot dará una notificación de inicio y fin de la impresión proporcionando una foto respectivamente.

4.3 Factibilidad del proyecto

La implementación de la granja de impresión 3D en nuestra universidad se presenta como una posibilidad sumamente viable y enriquecedora. Esta iniciativa aprovecha la vanguardia tecnológica para fomentar la innovación y el aprendizaje entre los estudiantes, al permitirles materializar sus diseños en objetos tangibles. Además, la impresión 3D tiene el potencial de agilizar la producción de prototipos y proyectos académicos, reduciendo costos y tiempos en comparación a una contratación externa tal como se muestra en **la Tabla 4**. La granja no solo

impulsaría la investigación multidisciplinaria, sino también la colaboración entre diferentes facultades, reforzando la identidad innovadora de nuestra institución.

Tabla 4

Aprovechamiento de recursos

Descripción	Costo inicial	Depreciación de la maquinaria en 60 meses	Costo de impresión por hora	Estimación de uso de horas por año.	Costo de ahorro para la universidad
Artillery X2	600\$	10\$	1.5\$	1536 horas	2304\$
Artillery X2	600\$	10\$	1.5\$	1536 horas	2304\$
Any cubic Chiron	700\$	11.66\$	1.5\$	1536 horas	2304\$

Nota: En cada fila se especifica la impresora junto a los precios y tiempos de impresión además de su depreciación en un lapsus de 5 años.

CONCLUSIONES

Está claro que, implementar una granja de impresión 3D en la Escuela de Ingeniería Automotriz es un avance en el prototipado rápido, ya que anteriormente se realizaba de manera manual o tradicional. Además, el espacio se complementa directamente con la malla curricular la cual cuenta con cinco materias relacionadas con CAD y Manufactura, de tal forma se puede obtener un crecimiento tangible y funcional de los diseños realizados en clases.

Gracias a la granja de impresión automatizada, con una velocidad de 60 mm/s y recepción de datos a través de TELEGRAM, tiene la capacidad de producir una pieza de volumen (277.6 X 272.9 X 11.8) mm en un tiempo total de 1 día, 9 horas y 30 minutos, sin embargo, es necesario tomar en cuenta que se puede imprimir a una velocidad de 100 mm/s reduciendo este tiempo en gran medida, además hay que tomar en cuenta el relleno, posición y el tipo de impresión que se va a realizar para tomar tiempos exactos de impresión.

El trabajo realizado en esta tesis sirve directamente como un manual de la granja de impresión 3D por lo que imprimir el Capítulo III y IV será adecuado para un correcto uso dentro del aula de clase. Además, se debe contar con supervisión especializada por parte de los docentes especializados en la manufactura aditiva junto a los videos visibles en los anexos.

La automatización ¹de la impresión 3D fue un éxito, ya que la misma puede ser monitoreada de forma remota mediante del microcontrolador Raspberry PI 4. También, se cuenta con Bots implementados para cada máquina que funcionan directamente con el software de control “Octoprint” por lo que los profesores pueden tener un estado actualizado de la maquina fuera de la universidad en caso de ser necesario y a su vez los estudiantes pueden tener acceso al Bot mediante telegram con accesos proporcionados por los profesores autorizados para su uso.

¹ **Automatización:** En esta tesis la automatización toma como significado la simplificación de ciertos pasos para la producción final de la impresión 3D.

Con los equipos en funcionamiento la inversión permitió a la universidad un ahorro de mil ochocientos cuarenta dólares además de un valor agregado que se toma en cuenta mediante la automatización de los equipos para un uso remoto.

La Raspberry Pi es una potente herramienta que por su procesador de 1.5GHz, que ofrece una rápida compresión de datos. Sus dos puertos USB 2.0 y dos puertos USB 3.0 le permiten alcanzar una velocidad máxima combinada de 4Gbps. Gracias a estas características, la Raspberry Pi puede desempeñar el papel de cerebro en operaciones de automatización, brindando un rendimiento excepcional y facilitando la ejecución de tareas complejas.

Esto representa que los estudiantes de la Escuela Ingeniería Automotriz se van a beneficiar del uso de los equipos, y estos equipos quedan en tal funcionamiento que incluso otras facultades podrían tomar como ejemplo de implementación o su vez fortalezca futuras investigaciones.

RECOMENDACIONES

Es recomendable tener en cuenta las temperaturas en las cuales funcionan las impresoras ya que un precalentamiento incorrecto previo a la impresión puede ocasionar que las piezas se despeguen de forma prematura provocando un daño en las maquinas.

Antes de imprimir hay que tener en cuenta la selección de la impresora en el programa que proporcione el G-code, ya que si se selecciona mal la maquina no se tendrá una impresión por parte del Octoprint.

Previo a seleccionar un filamento es importante tener en cuenta la calidad frente a su precio ya que el uso de filamentos de mala calidad no genera una buena resistencia frente a los usos que se le pueda dar a los prototipos realizados en clase y a su vez dañar la integridad de las impresoras.

Las maquinas funcionan a una temperatura elevada y que un contacto sin protección puede generar quemaduras considerables en la piel de las personas que manipulen las impresoras.

Observar siempre las primeras capas de impresión es fundamental antes de dejar sin supervisión la elaboración de un prototipo ya que una mala nivelación como un mal material puede provocar una mala impresión junto a daños al equipo.

Al usar el Bot de Telegram hay que tener en cuenta los permisos que se otorgan entre los estudiantes ya que un acceso libre del Bot puede ocasionar interrupciones, daños y demás problemas relacionados a la impresión de algún prototipo.

REFERENCIAS:

- Alcaraz C. Luis A. (2022). *LA IMPORTANCIA DE LA MANUFACTURA ADITIVA EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS.* | *TecNM Celaya.* Tecnm.mx. <https://celaya.tecnm.mx/la-importancia-de-la-manufactura-aditiva-en-el-desarrollo-de-productos/>
- Harsshit Agrawaal, & Thompson, J. D. (2021). *Additive manufacturing (3D printing) for analytical chemistry.* 3, 100036–100036. <https://doi.org/10.1016/j.talo.2021.100036>
- Thywill Cephas Dzogbewu, Samuel Koranteng Fianko, Amoah, N., Sampson Afrifa Jnr, & Johan, D. (2022). *Additive manufacturing in South Africa: critical success factors.* 8(11), e11852–e11852. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11852>
- Verner, I. M., & Amir Merksamer. (2015). *Digital Design and 3D Printing in Technology Teacher Education.* 36, 182–186. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.041>
- Flaviana Calignano, & Mercurio, V. (2023). *An overview of the impact of additive manufacturing on supply chain, reshoring, and sustainability.* 7, 100103–100103. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2023.100103>
- M. Puerto Pérez-Pérez, Emilio Illarregui Gómez, & Sebastián, M. A. (2019). *Analysis of additive manufacturing contents in Mechanical Engineering degrees at Spanish universities.* 41, 468–475. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.09.034>
- Pereira, T., Kennedy, J. F., & Johan Potgieter. (2019). *A comparison of traditional manufacturing vs additive manufacturing, the best method for the job.* 30, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.003>
- Ordaz Perez, B. (2019). Additive manufacturing trends in the automotive industry in the state of Texas. *Almanaque Economico.* <https://almanaque.colmex.mx/wp-content/uploads/2019/11/texas-2.pdf>

Holmström, J., Partanen, J., & Pekkarinen, J. (2020). Exploring the potential of additive manufacturing in automotive industry. *Procedia Manufacturing*, 48, 88-94. doi: 10.1016/j.promfg.2020.03.011

López, D., & González, B. (2020). Design of a 3D Printing Laboratory in Engineering Education. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 7(1), 19-26. doi: 10.1089/3dp.2019.0003

Smith, A. C., Cournoyer, M. E., & Pillai, K. M. (2021). Additive manufacturing: unlocking the evolution of design and manufacturing. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 101, 190-203. doi: 10.1016/j.jiec.2021.07.040

Edgar, J. A., & Tint, S. (2015). “*Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*”, 2nd Edition. 59(3), 193–198. <https://doi.org/10.1595/205651315x688406>

Binder, L., Rackl, S., Scholz, M., & Hartmann, M. (2023). *Linking Thermal Images with 3D Models for FFF Printing*. 217, 1168–1177. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.315>

Chen, H. S., Chen, X., Song, J., Lu, Y., Hu, J., Yen Nan Liang, & Hu, X. (2022). *High- Precision 3D Printing of High- Strength Polymer- Derived Ceramics: Impact of Precursor’s Molecular Structure*. 24(11), 2200269–2200269. <https://doi.org/10.1002/adem.202200269>

Yi Wei, D. T., Biranchi, P., Suvash, Ch. P., Nisar & A. N., Ming J. T. (2017). 3D printing trends in building and construction industry: A review. (2017). *Virtual and Physical Prototyping*, 12, 261-276. <https://doi.org/10.1080/17452759.2017.1326724>

Levy, G. N., Schindel, R., & Kruth, J. P. (2018). Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (LM) technologies, state of the art and future perspectives. *CIRP Annals*, 52(2), 589-609. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60206-6](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60206-6)

Briceño-Martínez, B., Edilberto Antonio Llanes-Cedeño, Juan Carlos Rocha, Chamba, E., Dario Augusto Cuasapud, & Andrés Cárdenaz-Yáñez. (2019). *Tecnologías de impresión 3D: evaluaciones de FDM y Polyjet en la fabricación de autopartes de automóviles*. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n3.414>

Liviu Marsavina, Vălean, C., Marilena Mărghitaș, Emanoil Linul, Ali, M., Berto, F., & Brighenti, R. (2022). *Effect of the manufacturing parameters on the tensile and fracture properties of FDM 3D-printed PLA specimens*. 274, 108766–108766. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2022.108766>

Serrano-Cinchilla, L., Bustamante-Góez, L., & Villarraga-Ossa, J. A. (2022). Influencia de la densidad y de los parámetros de relleno en las propiedades mecánicas compresivas de probetas fabricadas en manufactura aditiva de PLA. *Revista UIS Ingenierías*, 21(2), 107–114. <https://doi.org/10.18273/revuin.v21n2-2022009>

Christoph, R., Romero Muñoz, & Ángel Cruz Hernández. (2017). *Manufactura Aditiva*. 43, 97–97. <https://doi.org/10.5377/ryr.v43i0.3552>

Tsuji, H. (2005). Poly(lactide) Stereocomplexes: Formation, Structure, Properties, Degradation, and Applications. *Macromolecular Bioscience*, 5(7), 569–597. <https://doi.org/10.1002/mabi.200500062>

- S. Ramanadha reddy, & Venkatachalapathi, D. N. (2023). *A review on characteristic variation in PLA material with a combination of various nano composites*.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.616>
- Nectarios Vidakis, Markos Petousis, Maniadi, A., Koudoumas, E., Viktor Mechtcherine, & Lazaros Tzounis. (2020). *Mechanical Properties of 3D-Printed Acrylonitrile–Butadiene–Styrene TiO2 and ATO Nanocomposites*. 12(7), 1589–1589.
<https://doi.org/10.3390/polym12071589>
- K. Arunprasath, Vijayakumar, M., M. Ramarao, Arul, T. G., S.Peniell Pauldoss, M. Selwin, Radhakrishnan, B., & V. Manikandan. (2021). *Dynamic mechanical analysis performance of pure 3D printed polylactic acid (PLA) and acrylonitrile butadiene styrene (ABS)*. 50, 1559–1562. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.113>
- Buckley, C. P., Prisacariu, C., & Martin, C. (2010). *Elasticity and inelasticity of thermoplastic polyurethane elastomers: Sensitivity to chemical and physical structure*. 51(14), 3213–3224.
<https://doi.org/10.1016/j.polymer.2010.04.069>
- León, M., Marcos-Fernández, Á., & Rodríguez-Hernández, J. (2020). Impresión 3D con materiales elásticos. *Csic.es*. issn: 0034-8708
- Mónica Fuensanta, & José Miguel Martín-Martínez. (2021). *Structural and Viscoelastic Properties of Thermoplastic Polyurethanes Containing Mixed Soft Segments with Potential Application as Pressure Sensitive Adhesives*. 13(18), 3097–3097.
<https://doi.org/10.3390/polym13183097>
- Zhao, N., Parthasarathy, M., Patil, S., Coates, D., Myers, K., Zhu, H., & Li, W. (2023). *Direct additive manufacturing of metal parts for automotive applications*. 68, 368–375.
<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.04.008>
- Jiménez, S., Javier, F., De, F., Puente, L., & Llorente Geniz, A. (n.d.). XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA TÉCNICAS DE PROTOTIPADO

RÁPIDO.

<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/32352/2004%20T%C3%A9nicas%20de%20Prototipado%20R%C3%A1pido.pdf?sequence=1>

Anant Prakash Agrawal, Kumar, V., Kumar, J., Prabhu Paramasivam, Seshathiri Dhanasekaran, & Prasad, L. (2023). *An investigation of combined effect of infill pattern, density, and layer thickness on mechanical properties of 3D printed ABS by fused filament fabrication*. 9(6), e16531–e16531. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16531>

Nereo Sánchez Zamora, & Iván López Hernández. (2020). *La manufactura aditiva como potenciador de los sistemas productivos*. 15(28), 104–112. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.15.28.2020.104-112>

Emiliano, A. (2018). Desarrollo de un proceso de manufactura aditiva 3D para aplicación de metales. *Unam.mx*. <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/15214>

Bravo, O., & Diosdado, Á. (2017). MANUFACTURA ADITIVA PARA PROTOTIPADO RÁPIDO. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 3(2), 2675–2679. <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2100>

Rodríguez, J. A. (2022). *Modelo para el análisis del impacto de la manufactura aditiva en la gestión de la cadena de suministro*. <https://doi.org/10.4995/thesis/10251/180383>

Sachon, M. (2016). Impresión 3D: la digitalización de la fabricación. *Revista de Negocios*, 19(4), 60-65.

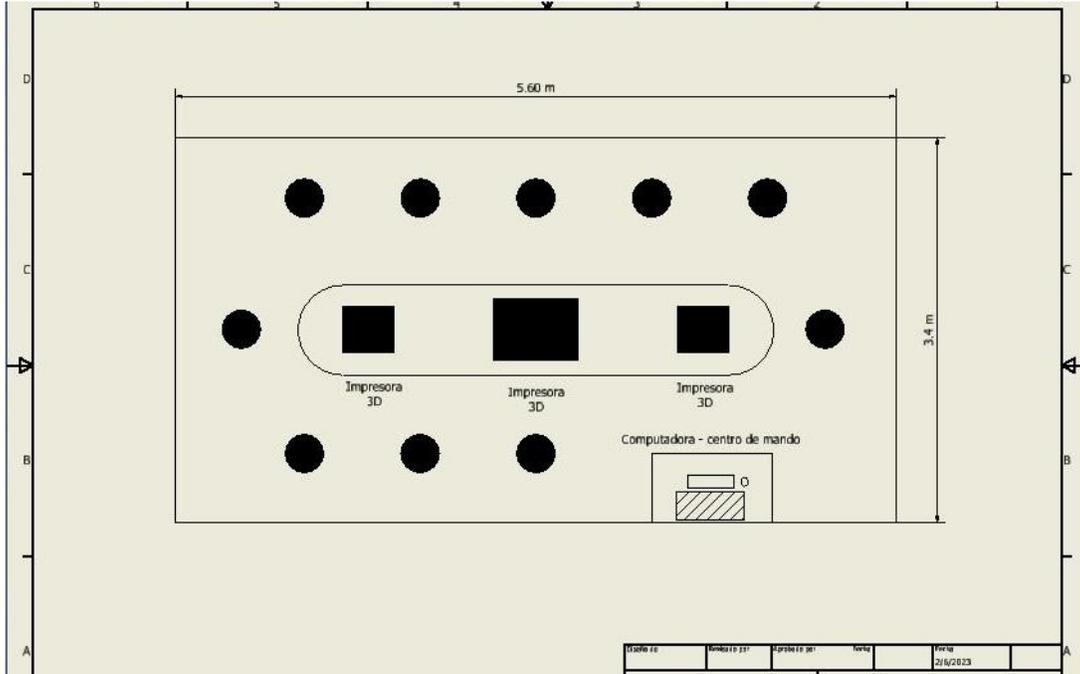
Pando Feijoó, Beatriz. (2019). La transferencia de conocimiento en el sector de la fabricación aditiva. *Uniovi.es*. <http://hdl.handle.net/10651/59444>

Martí Rodríguez, Bernat. (2017). Estudio sobre la optimización de los parámetros de fabricación en una impresora 3D con tecnología FDM. *Upc.edu*. <http://hdl.handle.net/2117/106056>

Horngren, Charles T., Datar, Srikant M., Rajan, Madhav V. (2018). Contabilidad de costos. Un enfoque gerencial. En Pearson (Ed.). Recuperado de: <https://profefily.com/wp-content/uploads/2017/12/Contabilidad-de-costos-Charles-T.-Horngren.pdf>

- Roca, A. F., & García, C. M. Q. (2016). Importancia de los manuales de procedimientos para la mejora de los procesos operativos en las agencias de aduanas. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, (2016_10).
- Latina. (2019, November 20). *Industria 4.0: oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo de la provincia de Santa Fe*. Cepal.org. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44954-industria-40-oportunidades-desafios-desarrollo-productivo-la-provincia-santa-fe>
- Anycubic-us. (s/f). ANYCUBIC-US. Recuperado el 27 de junio de 2023, de <https://www.anycubic.com/>
- Downloads. (s/f). Artillery3d.com. Recuperado el 27 de junio de 2023, de <https://artillery3d.com/pages/downloads>
- Fajardo Camilo R. (2021). MANUFACTURA ADITIVA EN MATERIALES POLIMÉRICOS POR PROCESO 2D FDM. http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/5315/1/Fajardo_2021_TG.pdf
- Wang, Y., Gao, S., Liu, Y., & Fu, Y. (2021). Design and implementation of project-oriented CDIO approach of instrumental analysis experiment course at Northeast Agricultural University. *Education for Chemical Engineers*, 34, 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.11.004>

ANEXOS



Install Raspberry Pi OS using Raspberry Pi Imager

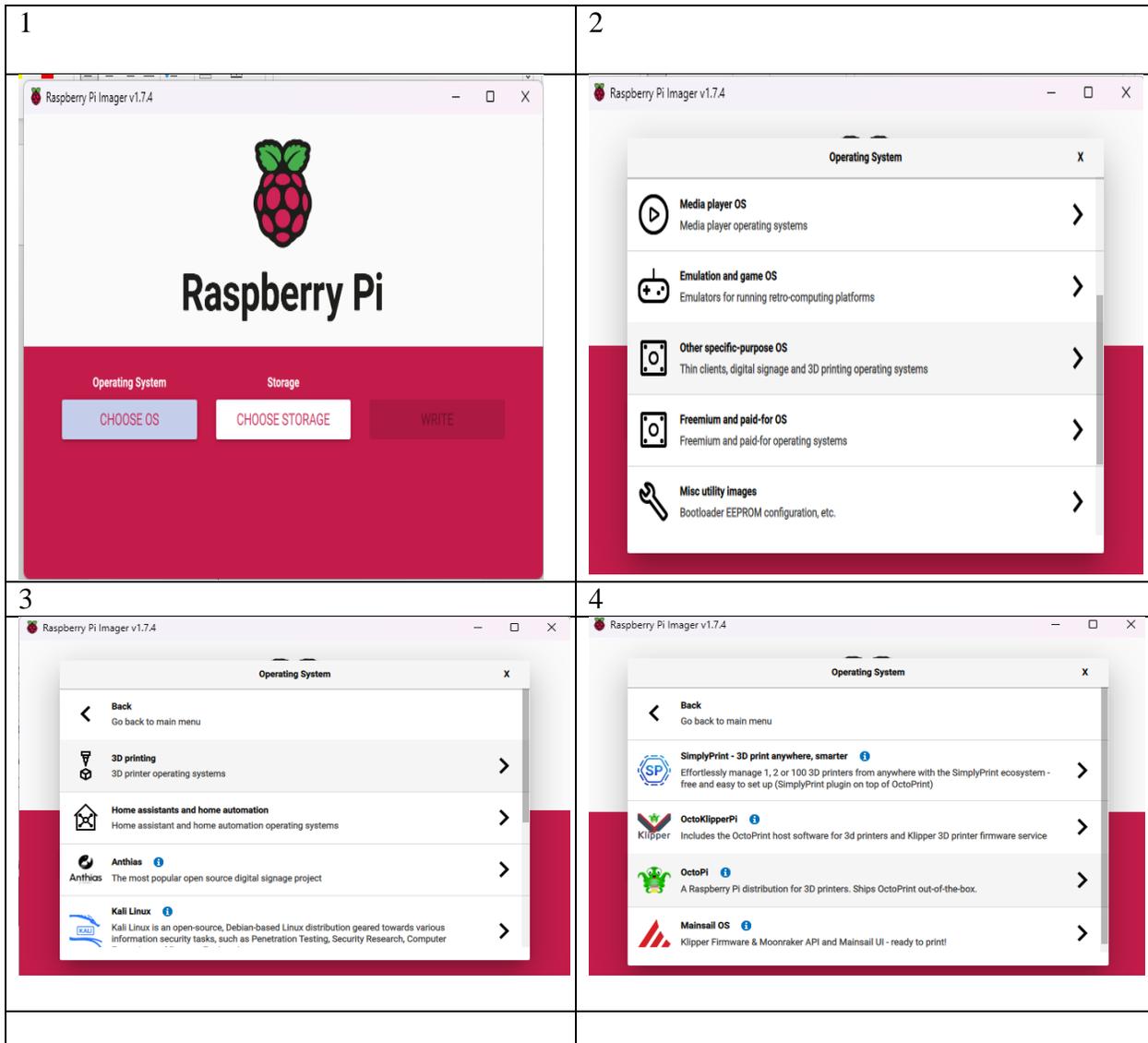
Raspberry Pi Imager is the quick and easy way to install Raspberry Pi OS and other operating systems to a microSD card, ready to use with your Raspberry Pi. [Watch our 45-second video](#) to learn how to install an operating system using Raspberry Pi Imager.

Download and install Raspberry Pi Imager to a computer with an SD card reader. Put the SD card you'll use with your Raspberry Pi into the reader and run Raspberry Pi Imager.

[Download for Windows](#)

[Download for macOS](#)





<https://youtu.be/ekf76o1OAcY>

<https://youtu.be/BGsEU0rLx-w>

<https://youtu.be/E-clhwJTwnY>



3D printing trends in building and construction industry: a review

Yi Wei Daniel Tay, Biranchi Panda, Suvash Chandra Paul, Nisar Ahamed Noor Mohamed, Ming Jen Tan and Kah Fai Leong

Singapore Centre for 3D Printing, School of Mechanical & Aerospace Engineering, Nanyang Technological University, Singapore

ABSTRACT

Three-dimensional (3D) printing (also known as additive manufacturing) is an advanced manufacturing process that can produce complex shape geometries automatically from a 3D computer-aided design model without any tooling, dies and fixtures. This automated manufacturing process has been applied to many diverse fields of industries today due to significant advantages of creating functional prototypes in reasonable build time with less human intervention and minimum material wastage. However, a more recent application of this technology towards the built environment seems to improve our traditional building strategies while reducing the need for human resources, high capital investments and additional formworks. Research interest in employing 3D printing for building and construction has increased exponentially in the past few years. This paper reviews the latest research trends in the discipline by analysing publications from 1997 to 2016. Some recent developments for 3D concrete printing at the Singapore Centre for 3D Printing are also discussed here. Finally, this paper gives a brief description of future work that can be done to improve both the capability and printing quality of the current systems.

ARTICLE HISTORY

Received 16 March 2017
Accepted 2 May 2017

KEYWORDS

Computer-aided design; 3D concrete printing; digital construction; automation; building materials

Introduction

After more than 25 years of research, development and use, three-dimensional (3D) printing in various industrial domains, such as aerospace, automobile and medical, continues to grow with the addition of new technologies, methods and applications (Gibson *et al.* 2010, Huang *et al.* 2013, Vaezi *et al.* 2013, Chua and Leong 2014). One of such methods being explored currently, both in academia and in construction practice, is the 3D printing of concrete. Conventional construction process appears to be relatively simple and systematic, requiring two-dimensional (2D) drawings and scale models (for evaluation of the building designs), cumbersome formwork and much skilled labour to build any kind of free-form structures (Maas and Gassel 2005, Zavadskas 2010). Work-related injuries and illnesses pose a continuing threat to the health and well-being of construction worker (Kittusamy and Buchholz 2004). Construction industry continues to have a higher rate of fatality, injury and illness than any other industries (Meliá *et al.* 2008, Ministry of Manpower 2017). This compels the introduction of 3D printing to be coupled with building information modelling (BIM) for tracking and monitoring new variables introduces in a dynamic working environment such as a construction site (Azhar 2011, Bryde *et al.* 2013) to increase workplace safety.

Combining BIM and 3D printing would also make it easier to create highly customised building components and facilitating complex and sophisticated design; however, there are still numerous challenges related to scale, materials, delivery system and suitability to adverse environments.

Although work by researchers in the field of aerospace and manufacturing have shown that 3D printing could be the solution to reduce cost, there is no investigation to support that the same savings will apply to building and construction (B&C) industry. However, it is still appropriate to assume that utilising 3D printing could minimise cost for the construction of B&C applications with aesthetic design based on cost analysis investigation done by researchers in other fields (Conner *et al.* 2014, Thomas and Gilbert 2014).

Considering global demand to reduce CO₂ emission, there is a need for innovative construction technologies to not only pave the way towards a future of sustainable construction, but also to reduce construction and facilities management costs while providing a competitive edge. Construction formwork which typically accounts for 40% of the total budget for concrete work can be avoided during the building process, ultimately reducing the project timeline without incurring additional cost

CONTACT Yi Wei Daniel Tay  danieltay@ntu.edu.sg

© 2017 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

(Kothman and Faber 2016). With 3D printing technology, design of structures will not be limited to a collection of monotonous prefabricated elements.

This paper introduces the variants of concrete printing process under development around the globe and provides the latest research trend by analysing publications over last 20 years. Subsequently, the paper will highlight the ongoing research at Singapore Centre for 3D Printing (SC3DP) with possible topology optimisations and the significance of incorporating BIM. Finally, by analysing the trend, some future works are proposed that can eliminate or reduce the challenges and limitations for 3D printing in B&C industry.

Current trend of 3D printing in B&C research

The interest in 3D printing for B&C has increased drastically in recent years. While the rise of interest has enriched the literature in this discipline, it presents challenges for researchers to capture an overview of the research development. Mapping the frequency of publications can be a way to understand the research trend. A systematic mapping study as proposed by Petersen et al. (2008) shown in Figure 1 provides an overview of a research area and identifies the quality and type of research results available. It is important to examine the literature systematically for effective understanding

of research development in the discipline as well as to serve as an inspiring source for research trend on 3D printing for B&C.

Review data source and methodology

This review examines data based on two multidisciplinary databases of scientific research, Web of Science and ScienceDirect. The combination of both database covers more than 12,000 journals and 160,000 conference proceedings. Boolean operator, quotes and parentheses were used to refine the search. Publications include only conference paper and journal articles with direct relation to 3D printing for B&C applications. Other publications such as book reviews, letters, theses, editorial materials and articles with irrelevant content were excluded in this study.

A total of 4117 publications were found to satisfy the keywords used in the initial search for Web of Science. For ScienceDirect, 7173 publications were found to satisfy the keywords in the initial search. However, only 3211 publications were screened because ScienceDirect limits to show only the first 1000 articles (Table 1). Therefore, a total of 7328 publications were screened for duplicates and filtered for relevance based on their title and abstract. Table 1 shows the breakdown of documents found during the search.

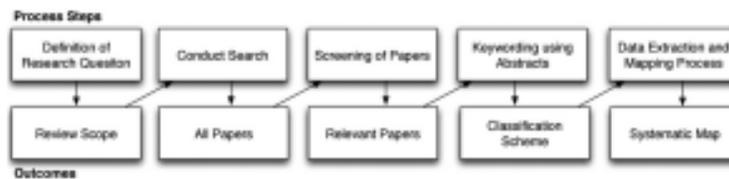


Figure 1. Systematic mapping system (Petersen et al. 2008).

Table 1. Keywords used for an initial search performed on 18 January 2017.

No.	Exact words	With at least one of these words	None of these words	No. of documents found and screened in Web of science	ScienceDirect	
					No. of documents found	No. of documents screened
1	Rapid Prototyping	Construction	Biological Organ	2199	4056	1000
2	Additive manufacturing	Building Civil engineering	Food Medical	984	1647	1000
3	3D printing	Large scale	Tissue	588	1259	1000
4	Digital fabrication	Architecture		252	95	95
5	Digital construction	Automation in		63	61	61
6	Contour crafting	construction		16	26	26
7	Additive construction			7	24	24
8	Concrete printing			8	5	5
Total number of article found for initial search including duplicates and irrelevant articles				4117	7173	3211

Review results and discussion

A total of 115 publications were selected from screening and were subjected to classification based on the work presented. While screening the publications, innovative research studies were discovered such as jammed structures (Aejmelaeus-Lindström *et al.* 2016), robot-winding (Wit 2015), smart dynamic casting (Lloret *et al.* 2015) and brick laying automation. Although these studies have a tremendous potential impact on the construction industry, these studies do not fit into the objective of this paper and therefore were not included.

Characteristic of publication output from 1997 to 2016

Figure 2 shows the number of 3D printing for B&C-related conference proceedings and journal articles published from 1997 to 2016. In the first 16 years of this study period from 1997 to 2012, there were 42 publications. From 2013 to 2016, there were 73 publications, which is almost double the amount published

in the first 16 years, which shows that interest in 3D printing for B&C applications started to rise significantly in that period.

From 1997 to 2006, there are noticeably more conference proceedings than journal articles. It is from 2009 onwards, that publications of journal articles start to increase at a faster rate than the conference proceedings, which exemplifies the initiative for more comprehensive and all-rounded work in this discipline.

Origin of publications

The contribution of publications from different countries was based on the affiliation of the first author only. An examination of the research origin of the identified papers as shown in Figure 3 indicates that USA and UK contributes the most in the field of 3D printing for B&C. About 49% of the total publications were identified from these two countries. Most of the publication from USA and UK are from University of Southern California, Loughborough University and Massachusetts Institute of Technology as they contributed the most publications

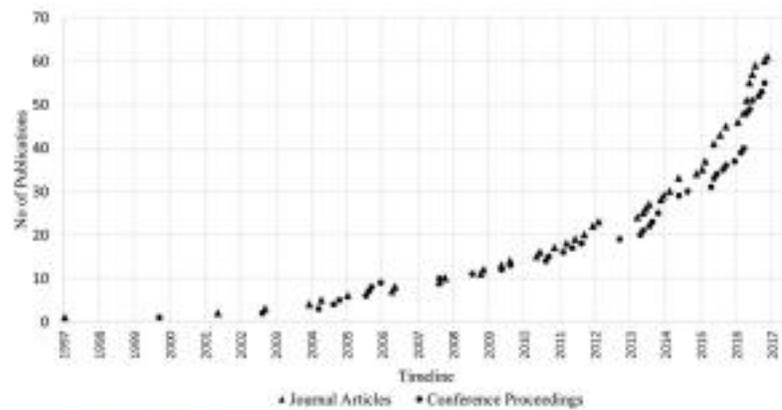


Figure 2. Trend of publication output over the years.

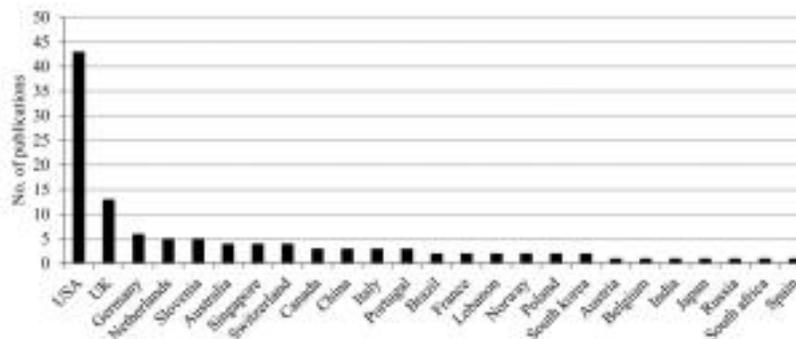


Figure 3. Research origin of paper published.

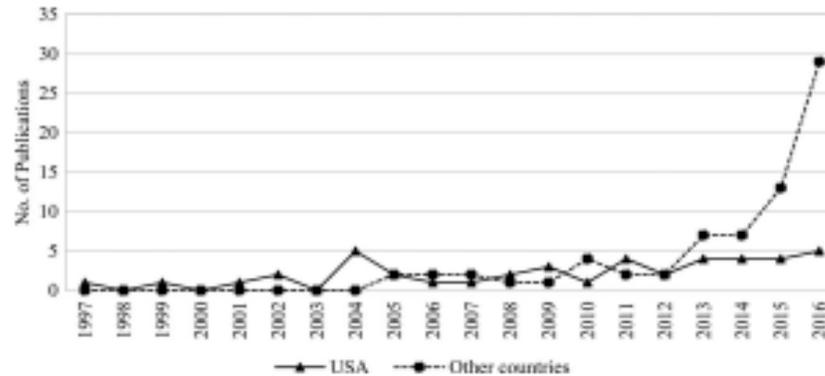


Figure 4. Comparison on the growth trend of USA and all others countries publications from 1997 to 2016.

in this field – more than 28% of the selected publication in this study.

From Figure 3, USA is the largest contributor to the 3D printing for B&C research; however, Figure 4 shows that the contribution from USA throughout the years remains somewhat constant, whereas publications from all over the world have increased exponentially, especially in the last five years. The global trend of 3D printing in B&C research is accordant with the developmental trends towards scientific research globalisation and other countries in the world are gradually reducing their disparities with the USA.

Major research interest

Identified publications were classified to gain insights into the development trend of research in 3D printing for B&C. By examining the paper identified in this study, it can be observed that eight types of research interests were presented. Publications may be grouped into multiple research interest categories as the paper covers more than one research interest. It may be considered uncertain and subjective to decide which research interest represents the scope of each paper. However, any variation of views may be eliminated as the analysis was undertaken by the same group of researchers. Also, this study was conducted merely for comparison purposes; hence the approach adopted is believed to be appropriate. Detailed descriptions of each category are presented below.

- (1) *Printing Techniques Analysis* refers to selected publications that include new nozzle, new method of extrusion, new method of delivery or methods that enhance the overall quality of the print using a

printer will be included in this category. Not limiting to only printing, new extrusion methods as described by Yoshida et al. (2015) will also be counted in this category. His work is included in Material Analysis and Architectural Design since material characterising work such as compression testing was presented and the geometry design was inspired by a harmonograph consisting of two damping pendulums.

- (2) *Material Analysis* refers to the board and general process by which a material's structure and properties are probed and measured. In Perrot et al. (2016) work, data analysis was done after material characterising to find the highest building rate for layer-wise concrete 3D printing. Therefore, this paper contributes to both Material Analysis and Data Analysis.
- (3) *Control System* researches on systems that control, direct, manage or guide devices to perform a specific task. An overall control system concept and kinematics equation for controlling of the cable-suspended subsystem has been presented by Williams et al. (2004). The work presented in this publication is a concept under development which can be included in Concept Analysis.
- (4) *Data Analysis* presents on the ability of computer system or software to exchange and make use of information. It also depicts ways in which the model information is processed to produce a physical object.
- (5) *Architectural Design* refers to publications that present components or elements of a structure and unifies them into a coherent design arrangement and functional whole. Some examples of Architectural Design were not fabricated using layer-wise printing, thus able to demonstrate curvature of

- object otherwise not possible by conventional printing method (Lim et al. 2016).
- (6) *Literature Review* includes publications such as review articles or research previously done by others. An example of a literature review is demonstrated by Perkins and Skitmore (2015).
 - (7) *Concept Analysis* reveals results that broadly enhance an understanding of the concept and its theoretical and practical implications for 3D printing in B&C. Concept analysis usually includes works that are under development or viable methods that lack in funding or opportunity. Such work can be found in Williams et al. (2004) and Kading and Straub (2015).
 - (8) *Cost-Benefit Analysis* reveals the cost and benefits of 3D printing for B&C activities. It is a process which sums up the benefits and subtracts the associated cost. Benefits may include an increase in productivity, building complexity, lower investment cost and reduction in waste. Costs may include direct and indirect cost, opportunity cost and cost of potential risks. A cost-benefit analysis done by Buswell et al. (2005) shows that the 3D-printed products are more suitable to compete for customisation rather than mass production.

Due to the limited amount of publications, results in Tables 2 and 3 have been grouped and shown for

every 2 years. The two main research interests constituting 45% of the total interest recorded are Printing Technique Analysis and Material Analysis. These publications demonstrated improvements to the usual Cartesian gantry or robot, such as swarm printing to expedite the printing process and cable robots (Capua et al. 2014, Oxman et al. 2014). Material Analysis research aims at both improving surface finishes and producing functionally graded components were also of much interest (Kwon et al. 2002, Craveiro et al. 2013). Attempt to characterise printable construction materials have been done (Le et al. 2012, Nerella et al. 2016), which all contribute to the research interest of Material Analysis.

Interest in architectural design, literature review and cost-benefits analysis sky-rocketed in the last few years, as shown in Table 3. As the printing technique and material characteristic improve, the ability to create unforeseen structures will also improve. Publications such as Lim et al. (2016) and Garcia and Retsin (2015) are exploiting their material properties that are never seen before. A doubly curved print which is not only aesthetically pleasing but of a higher quality than printing on a flat surface is reported in Lim et al. (2016). Similarly, the work presented by Garcia and Retsin (2015) consists of creating freeform mesh structures using quick-drying plastic material.

Table 2. Major research interest in the period from 1997 to 2016.

	1997 and 1998	1999 and 2000	2001 and 2002	2003 and 2004	2005 and 2006	2007 and 2008	2009 and 2010	2011 and 2012	2013 and 2014	2015 and 2016	Total
Printing Technique	1	1	3	5	4	3	7	4	12	18	58
Analysis											
Material Analysis	1	0	2	1	2	0	4	8	10	18	46
Architectural Design	0	0	0	1	1	1	3	4	4	15	29
Literature Review	0	0	0	0	2	0	1	0	4	17	24
Data Analysis	0	0	1	2	0	3	2	0	6	9	23
Control System	0	0	0	1	0	2	2	0	5	8	18
Cost-Benefits	0	0	0	0	4	2	0	0	1	9	16
Concept Analysis	0	0	0	1	1	1	1	2	5	4	15

Table 3. Frequency of keywords used in publication titles.

	1997 and 1998	1999 and 2000	2001 and 2002	2003 and 2004	2005 and 2006	2007 and 2008	2009 and 2010	2011 and 2012	2013 and 2014	2015 and 2016	Total
3D printing	0	0	0	0	0	0	1	1	6	13	21
Concrete	0	0	0	1	0	0	0	2	5	13	21
Contour Crafting	0	1	3	2	3	2	2	0	1	2	16
Freeform	1	0	0	0	4	0	3	0	1	1	10
Additive	0	0	0	0	0	0	0	2	2	6	10
Manufacturing											
Rapid Prototyping	0	0	0	1	0	1	0	3	1	2	8
Large-Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	8
Construction	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3
Material											
Mega-Scale	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3
BM	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
Digital	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
construction											
In Situ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
Lunar Soil	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2

Analysis of publication titles

The title of an article contains a concise group of selected words expressed by the author for the interested reader. In this analysis, the 13 most frequently used words were chosen and reported in Table 3. Along with the growth in the number of articles, the presence of target words such as '3D printing', 'concrete', 'large-scale' and 'additive manufacturing' seem to increase as well. 'Concrete' only recently started appearing frequently in publications due to the material's increase in use for 3D printing.

Alternatively, the use of words such as 'mega-scale' and 'free-form' seems to have reduced in the past decade. A possible explanation for the decrease in 'mega-scale' is that this word may have been substituted by the 'large-scale'. Another explanation could be the gradual disregard of these words by researchers. For example, the work demonstrated by Gosselin *et al.* (2016) shows that printing certain 'free-form' structures using material extrusion is not possible, as large angles and cantilevers cannot be printed.

The information revealed in this study is valuable to the researchers interested in understanding key trends of research development in 3D printing for B&C sector. Although, the two databases selected may not contain all related publications in 3D printing for B&C works, the papers identified reflect the general trend of 3D printing for B&C research.

State-of-the-art technologies for 3D printing in B&C

The rapid development of large-scale 3D concrete printing technology in most literatures is categorised into two techniques, namely (1) binder jetting and (2) material deposition method (MDM).

The basic principle of both these techniques is to build up any complex structure by adding small layers of material one over another. It begins with the creation

of a 3D computer-aided-design (CAD) model, which is sliced into several 2D layers and then printed with an assigned material in an incremental manner to obtain the prototype as described in the CAD model. Out of the 115 publications identified, only 12 publications focus on binder jetting.

Binder jetting

Binder jetting is a 3D printing process that creates objects by depositing binder layer by layer over a powder bed. Binder is ejected in droplet form onto a thin layer of powder material spread on top of the build tray. This method incrementally glues 2D cross sections of the intended component to each layer of material powder (Perkins and Skitmore 2015). The cycle repeats until the whole 3D object is complete (Figure 5a). Any raw material that is not glued by the binder remains inside the constrained build container and is used to support subsequent layers. The unbound material can be removed from the print bed using a vacuum cleaner after the printing, which can be recycled and deployed for another printing task (Khoshnevis *et al.* 2006). This method encourages designs to have voids and overhanging features which enable the printing of complex geometries. It has a relatively high resolution that results in the good surface finish because of the minimal distance between layers. This layer thickness value is determined by the penetration of the binder. If the layer thickness is too large, the binder may not penetrate deep enough to glue the current and the previous layer together (Cesaretti *et al.* 2014). Currently, Voxeljet and Monolite UK Ltd (D-Shape) are working with this technology to print large-scale components for architecture and building industries. Figure 5b shows an egg-shaped complex sculpture, made by D-shape using a sand-based material; however, this technique can be easily influenced by bad weather, and is difficult to use this process for in situ construction applications (Dini 2009).



Figure 5. (a) D-shape printer and (b) final printed component with all the excess raw material removed (Dini 2009).

Material deposition method (MDM)

Similar to fused deposition modelling (FDM), material deposition method (MDM) is a 3D printing processes that successively lays material as per the CAD model (Panda *et al.* 2016). The extruded material must be able to support its own weight and the weight of each subsequent layer to attain the final design without any deformation (Hwang *et al.* 2004). There are several automated systems that use MDM as their core fabrication process and they are explained as follows:

Contour crafting (CC)

Contour crafting (CC) is a gantry-based system that extrudes material in a layer-by-layer manner. The key feature of CC is the use of trowels attached to the nozzle. The trowel guides the printed material to create exceptionally smooth and accurate surfaces, as shown in Figure 6. This trowel can be deflected at different angles (by computer control) to create various non-orthogonal structures. Such approach enables a deposition of higher layer thickness without significantly compromising the surface finish (Khoshnevis 2004). Figure 7 displays contour crafted structures made from

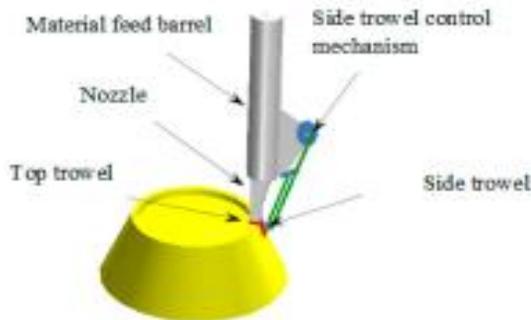


Figure 6. Contour crafting process (Khoshnevis 2004).

ceramic and concrete material. The detailed material composition and printing procedure are described in Hwang and Khoshnevis (2005) and Lim *et al.* (2011). It is also reported that printed walls with embedded conduits for both electricity and plumbing as well as structural reinforcement can be achieved through CC (Khoshnevis 2004).

Stick dispenser

Stick dispenser is a specially designed hand-held printing device that enables a consistent feed of chopstick material composites developed by Yoshida *et al.* (2015) shown in Figure 8a. In this process, chopsticks coated with wood glue are dropped randomly, forming an aggregated porous structure that is later evaluated through volume-based analyses. The stick dispenser is guided by a depth camera and a projector in real time. Both these tools assist in informing where the chopsticks are being deposited by projecting a simple colour code. Printing must be done in low-light condition for operating the projector. Figure 8b shows a pavilion assembled from separate panels made using this method. The mechanical properties of the printed samples are acquired by performing different load tests. The results show that such printed structures do not have any load-bearing capabilities but are innovative in their process of building complex architectural designs for aesthetic purposes.

Digital construction platform

This is a system used for on-site sensing, analysis and fabrication built by a group of researchers at Massachusetts Institute of Technology (MIT) (Keating *et al.* 2014). This system is designed around a large boom, which is used for gross positioning to increase speed, accuracy and ease of access with a small robotic arm. Using ground reference sensors and an accelerometer allows the closed-loop system to accurately position the end

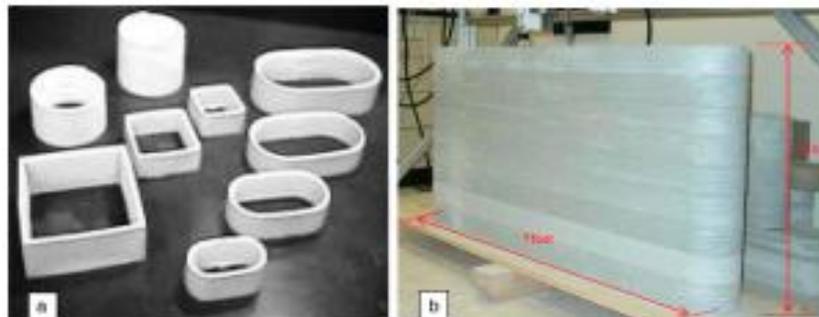


Figure 7. Contour crafting using (a) ceramic and (b) cement material (Hwang and Khoshnevis 2005; Lim *et al.* 2011).

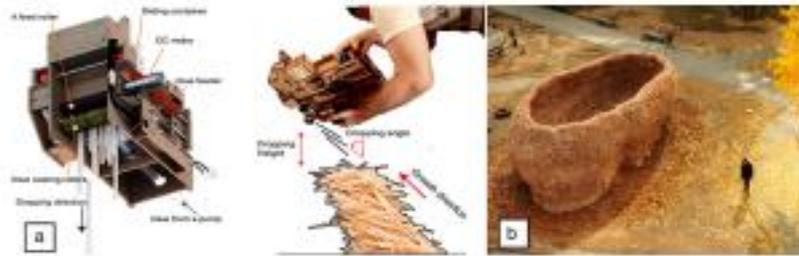


Figure 8. (a) Stick dispenser and (b) constructed pavilion using chopsticks.

effector. In this system, polyurethane foam is used as the material for printing because of its rapid cure time and its high insulate value. Printing a wall of a twelve-foot-long dimension would only take five minutes. Besides being used for printing, the end effector is interchangeable and can be switched to a mill head for a subtractive manufacturing process if a finer surface finish resolution is desired.

Concrete printing

Concrete printing, which is similar to CC, is a system built by the researchers at Loughborough University, UK (Lim et al. 2012, Le et al. 2012) that extrudes concrete layer by layer following a digital model. The setup includes a 5.4 m x 4.4 m x 5.4 m (L x W x H) gantry printer, as shown in Figure 9a. Certain terms are used to describe the flow of material deposition in this method due to the fresh properties of the concrete. 'Over-printing' is when too much material is deposited at a specific point, causing unnecessary bulging of the printed part. 'Under-printing' is when there is a lack of deposited material at a point, which may cause breakage during printing. These problems, however, can be addressed by fine-tuning the machine-operating parameters or modifying the tool path.

Most MDM is categorised as flat-layered printing. Flat-layered printing extrudes material in a two-dimensional plane layer by layer until it reaches the desired volume. This printing method creates mechanical weaknesses

such as anisotropic properties and creates visual issue such as staircase effect on the completed print surface. Recently, Lim et al. (2016) introduced another method of curved-layered printing. Curved-layer printing improves the aesthetic and mechanical properties of a printed part (Lim et al. 2016). Figure 9b shows a concrete panel printed on a non-layered panel.

Flow-based fabrication

Researchers at MIT designed a system to extrude water-based polysaccharide gels and natural composites with a single pneumatic extrusion system attached to the end effector of a 6-axis robotic arm shown in Figure 10. The hierarchical structuring of printed part is designed and fabricated in 2-dimension (2D). The design and advance manufacturing of heterogeneous materials and anisotropic structures will result in high stiffness, lower weight, high wear and resistance (Duro-royo et al. 2015a). New applications for this work ranges from automated construction of architectural facades with different translucency to temporary lightweight shading structures.

Minibuilders

A coordinated system of three individual robots is built for fabrication of in situ construction. They are lightweight, compact and have autonomous mobility. Each robot has a different function during the printing process, as described in detail by Nan (2015). A two-component

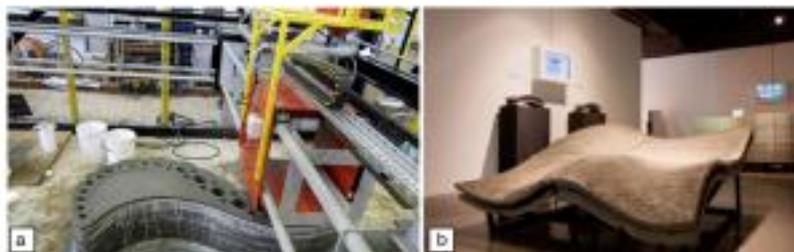


Figure 9. Concrete printing at Loughborough University (Le et al. 2012).

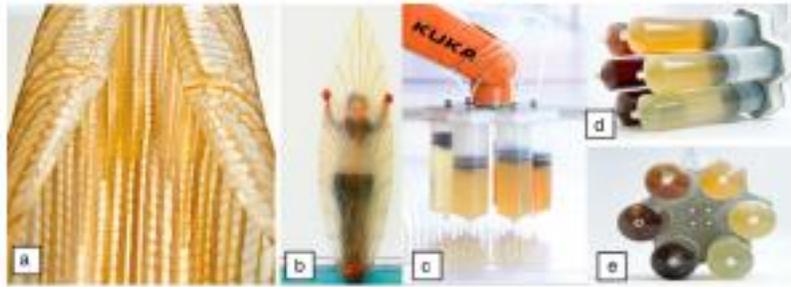


Figure 10. Large-scale hierarchically structured chitosan-based deposited construct (Duro-Royo *et al.* 2015b).

resin material was developed for these robots as the movement and speed of the robot determines the extrusion rate. If the material's curing time is not compatible with the flow rate and the robot movement speed, the material may clog in the hose. An additional heat source can be added depending on weather conditions for expediting the chemical reaction and reducing the curing time of the printed material.

Mesh-mould

This technique utilises a large 6-axis robot to extrude thermoplastics polymer to print in situ structures freely in 3D space. Pinpoint cooling using pressurised air at the nozzle during printing allows for a high level of control, thus facilitating the weaving of wireframe structures freely in space shown in Figure 11a. In this application, the structures act as reinforcement for the concrete. Concrete is then poured over this formwork and later trowelled manually to smooth the surface (Figure 11b). Using such methodology reduces the time required for fabrication of complex structures, which becomes feasible for large-scale applications. Different density of mesh can be printed (Figure 11c) according to the array of forces acting on the structures. More interestingly, the presence of the mesh increases

the tensile force of concrete, ultimately becoming a possible replacement of conventional steel reinforcement.

Building information modelling

BIM is a comprehensive approach towards building construction management which covers the complete life cycle of the construction process (Eastman *et al.* 2011) such as construction planning, scheduling, estimation and post construction facility management. The construction industry has always been criticised for low productivity and lack of collaboration and innovation in its execution process and BIM has shown potential to be a viable solution for these issues (Arayici *et al.* 2012, Elmualim and Gilder 2013).

In addition to the geometrical data, BIM also contains material, equipment, resource and manufacturing data (Wu *et al.* 2016). This information data helps address the issue of lack of collaboration between various teams in the project execution and serve as the base for integration of automation application such as 3D printing, robotic construction.

A BIM-based process flow for 3D printing can significantly reduce the overall process lead time by integrating each step and make it executable through a single

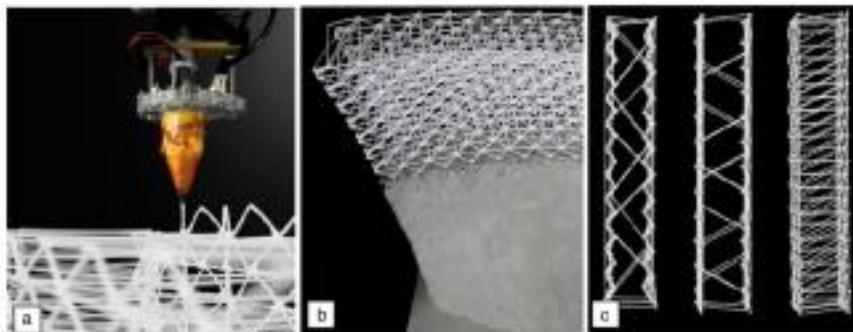


Figure 11. Mesh-mould combines formwork and reinforcement system for concrete (Hack and Lauer 2014).

interface or software. This could address the issue of the constant design changes, which is relatively common in the construction industry. Since 3D printing as a versatile method does not require formwork, it is able to accommodate design change or faster change management in the final output without incurring much losses compared to other conventional processes. BIM can also aid in automating the entire printing process as it can store and synthesise equipment and manufacturing data such as printer control data, material delivery system and post finishing operation.

BIM is seen as a prime design language in the construction industry and could become the standard method to be followed throughout the industry. As 3D printing is also considered a game changer for the industry, a BIM-based 3D printing can be a method for the construction industry to look forward in the near future as it can bring obvious benefits and substantial savings in cost and labour. Usage of BIM for 3D printing is still not practised widely and more research on this topic is needed to bridge the gaps between BIM and 3D printing.

Concrete printing research at SC3DP

Current research at SC3DP aims at developing new printable materials such as geopolymer mortar, lightweight mortar and fibre-reinforced mortar for concrete printing applications. Additionally, recycled glass aggregates and crushed rock dust (basalt) are also being tested to enhance the formulation for sustainable construction. Different setups and analysis have been performed to scrutinise the properties and suitability of these materials. Below section describes our research activities which are devoted towards development of

both machines and material for concrete printing application.

3D concrete printing at SC3DP

Two types of printers, four-axis gantry (Figure 12a) and six-axis robot (Figure 12b) are widely used in 3D concrete printing application (Wolf 2015, Nerella et al. 2016). Typically, for large-scale printing, the gantry is more suitable due to its simplicity. However, for printing complex objects, the robotic printer is more practically suited due to its 6-axis rotational ability. Figure 13 shows the capability of printing complex structural object at the SC3DP using both gantry and robotic printers.

Material research at SC3DP

In SC3DP, the development of 3D printable materials is a major objective. Researchers are habitually performing various types of tests such as rheology spanning hourly time intervals to determine the stress and viscosity development (see Figure 14a). The plate staking test is used to measure slump deformation (see Figure 14b) while other tests are being conducted to determine setting and hardening behaviour of materials after the mixing. With these established parameters, properties such as required pump pressure for the materials, suitable printer speed and maximum bead layers of the printed objects are accounted prior to printing (Tay et al. 2016).

One of the main disadvantages of 3D-printed structures is that they carry both isotropic and anisotropic properties when oriented in different directions unlike in casted specimens where the properties of a material are even distributed in all directions. To investigate

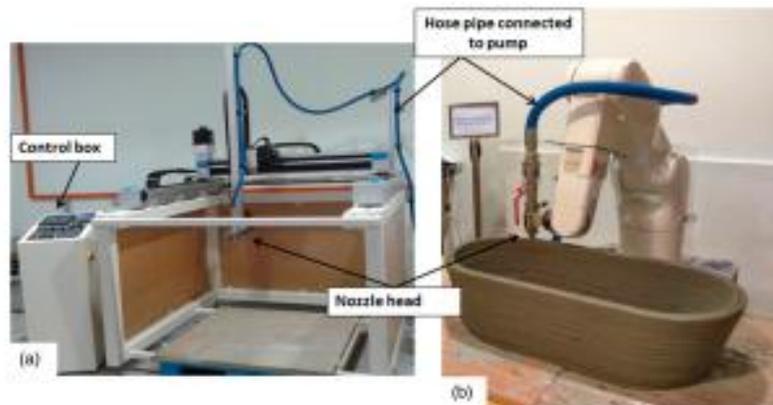


Figure 12. 3D concrete printers at SC3DP (a) four-axis gantry and (b) six-axis autonomous robotic printer.

interface or software. This could address the issue of the constant design changes, which is relatively common in the construction industry. Since 3D printing as a versatile method does not require formwork, it is able to accommodate design change or faster change management in the final output without incurring much losses compared to other conventional processes. BIM can also aid in automating the entire printing process as it can store and synthesise equipment and manufacturing data such as printer control data, material delivery system and post finishing operation.

BIM is seen as a prime design language in the construction industry and could become the standard method to be followed throughout the industry. As 3D printing is also considered a game changer for the industry, a BIM-based 3D printing can be a method for the construction industry to look forward in the near future as it can bring obvious benefits and substantial savings in cost and labour. Usage of BIM for 3D printing is still not practised widely and more research on this topic is needed to bridge the gaps between BIM and 3D printing.

Concrete printing research at SC3DP

Current research at SC3DP aims at developing new printable materials such as geopolymer mortar, lightweight mortar and fibre-reinforced mortar for concrete printing applications. Additionally, recycled glass aggregates and crushed rock dust (basalt) are also being tested to enhance the formulation for sustainable construction. Different setups and analysis have been performed to scrutinise the properties and suitability of these materials. Below section describes our research activities which are devoted towards development of

both machines and material for concrete printing application.

3D concrete printing at SC3DP

Two types of printers, four-axis gantry (Figure 12a) and six-axis robot (Figure 12b) are widely used in 3D concrete printing application (Wolf 2015, Nerella et al. 2016). Typically, for large-scale printing, the gantry is more suitable due to its simplicity. However, for printing complex objects, the robotic printer is more practically suited due to its 6-axis rotational ability. Figure 13 shows the capability of printing complex structural object at the SC3DP using both gantry and robotic printers.

Material research at SC3DP

In SC3DP, the development of 3D printable materials is a major objective. Researchers are habitually performing various types of tests such as rheology spanning hourly time intervals to determine the stress and viscosity development (see Figure 14a). The plate stacking test is used to measure slump deformation (see Figure 14b) while other tests are being conducted to determine setting and hardening behaviour of materials after the mixing. With these established parameters, properties such as required pump pressure for the materials, suitable printer speed and maximum bead layers of the printed objects are accounted prior to printing (Tay et al. 2016).

One of the main disadvantages of 3D-printed structures is that they carry both isotropic and anisotropic properties when oriented in different directions unlike in casted specimens where the properties of a material are even distributed in all directions. To investigate

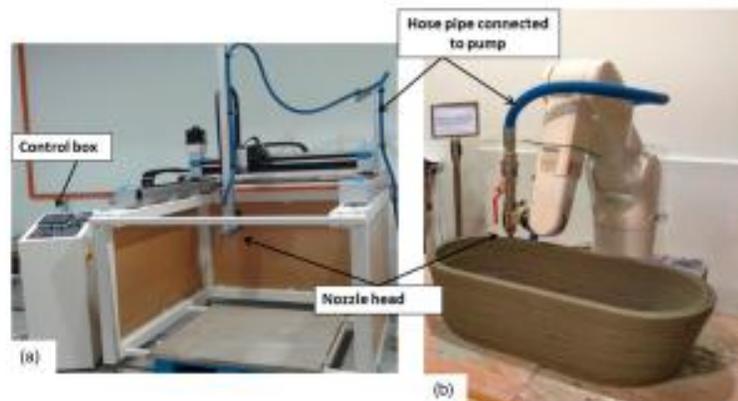


Figure 12. 3D concrete printers at SC3DP (a) four-axis gantry and (b) six-axis autonomous robotic printer.

RAPID MANUFACTURING AND RAPID TOOLING WITH LAYER MANUFACTURING (LM) TECHNOLOGIES, STATE OF THE ART AND FUTURE PERSPECTIVES

Gideon N. Levy¹ (1), Ralf Schindel¹, J.P. Kruth² (1)

¹FHS University of Applied Sciences St. Gallen, Switzerland

²K.U.Leuven, Catholic University Leuven, Belgium

Abstract

Additive processes, which generate parts in a layered way, have more than 15 years of history. These processes are not exclusively used for prototyping any longer. New opportunities and applications in appropriate manufacturing tasks open up, even though the economical impact is still modest.

This review starts with the definition of Rapid Manufacturing and Rapid Tooling, dealing only with direct fabrication methods of components. A systematic material dependent classification of layer manufacturing and process oriented metal part manufacturing techniques are proposed. The generic and the major specific process characteristics and materials are described, mainly for metallic parts, polymer parts and tooling. Examples and applications are cited.

The paper attempts to understand the state of the art and the prospective, to put questions, to understand limits, to show opportunities and to draw conclusions based on the state of the art.

Keywords: Rapid, Manufacturing, Tooling

1 INTRODUCTION

Additive processes, which generate parts in a layered way, have 15 years of history (CIRP keynote 1991) [56]. It started in the late 80's with Stereolithography. Since then, many new ideas have come up, many patents have been deposited, new processes were invented and commercialised, some of which have already disappeared. An overview is given in Table 1.

Name	Acronym	Development years
Stereolithography	SLA	1986 - 1988
Solid Ground Curing († = year of disappearance)	SGC	1986 - 1988 1999†
Laminated Object Manufacturing	LOM	1985 - 1991
Fused Deposition Modelling	FDM	1988 - 1991
Selective Laser Sintering	SLS	1987 - 1992
3D Printing (Drop on Bed)	3DP	1985 - 1997

Table 1: LM technologies, acronyms and development years [12]

LM (Layer Manufacturing) technologies are also often referred to as RP (Rapid Prototyping) technologies. A universally agreed terminology does not exist at this point. Some inconsistencies and doubts can be overcome by using the SME published dictionary [94]. It is well known that the introduction of a new manufacturing technology often begins in the field between scientific push and industrial pull. These acceptances evolve usually within a period of 6-10 years and last a further 5-8 years in anticipation of entering in production. After a pioneering and pure research ("PhD") stage we experience an oversell, a disillusion and finally

an acceptance: see Figure 1 [128]. This was confirmed at the introduction of EDM, W-EDM, HSC and Laser Cutting. Water Jet Cutting (WJC) is now in its acceptance phase. In the case of LM processes the need is clearly confirmed by the market! We are in the disillusionment stage.

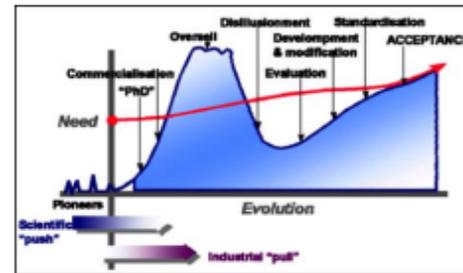


Figure 1. The scientific push and industrial pull in technological evolution

The situation is also confirmed by the revenue development in this segment (Figure 2) and is presented yearly by Wohlers Association inc. in the book "The state of the Industry" [130].

We are still far below the one billion \$ sales. The market volume is steadily increasing but the systems sales show stagnation (Figure 2). This is raising the question of significance and future relevance. Will a significant breakthrough occur?

Compared to machine tool revenues in other manufacturing sectors the question is even more evident. Take e.g. the EDM market (equipment only) with 1,5-2 billion \$ yearly, it is 5-8 times the RP equipment sales value.

"Time to Market" was originally the strongest inspiration and economical driving force in RP. Product life cycle becomes shorter and builds up interest [68]. Virtual



Figure 46. ADM Advanced Digital Manufacturing: direct production of air ducts(Source 3D systems)

8.3 Polymers In production tooling

An industrial tooling manufacturing and production system which amalgamates several mentioned LM advantages was invented by Gale and al. (US patent 6,287,428) [29]. A manufacturing process for pulp moulds was developed. The Integral design [**Design for LM (DLM)**] based on the UG CAD software utilizes SLS technology to incorporate the tool body, back-up, support structure and screen as one system (Figure 47). The polymer screen has no negative reactions with the acids found in paper pulp from inks, adhesives, etc. The relative low forces and temperature loads allows a long life economic tooling system. The SLS process is an excellent and unique manufacturing method for such complex perforated forms.



Figure 47. SLS made perforated mould detail for fibre forming (left) and an innovative paper pulp made package for wine bottles (right) (Source: Regale Corp.)

9 MAIN FUTURE ISSUES

This paper has tried to structure and recapitulate the main moves forwards in the field of rapid manufacturing (RM) or layered manufacturing (LM). The many manufacturing opportunities offered by LM technologies create attractive new possibilities, but are not - by any means - a substitute for established manufacturing processes. The competitive advantages of LM are: geometrical freedom and material flexibility (as far as developed).

The main issues that deserve attention in the near future are:

Materials: Even though LM can already be used to process a wide range of materials (see Figure 3), a lot remains to be done to develop better base materials (powders, liquid photopolymers, etc.) that would allow the

production of parts with equal strength and other material properties (e.g. thermal, chemical) than those obtained in traditional manufacturing. One may expect cases in the future where LM parts may surpass the properties yielded by traditional manufacturing as a result of LM's unique possibilities to process composite and powder metallurgical materials. For example, powder based processes (see Figure 3) might favour an enlarged use of PM parts (compared to the shift from cast HSS to PM-HSS tools for metal cutting), while many other LM processes might lead to an increased use of metal, ceramic or fibre reinforced plastics or other composite materials (e.g. cermets, MMC). It is expected that research in the coming years will still focus mainly on metals and plastics, but may gradually shift to ceramics and composites.

Design for LM (DLM): In order to take full advantage of LM technologies, one should reconsider the way of designing parts to profit fully from the novel additional design freedom offered by those processes. LM may offer unique possibilities to produce light weight or low inertia parts (e.g. production of porous components by SLS), functional gradient materials (e.g. with CBM or LENS), complex geometries (all LM processes), micro parts (e.g. by micro SLA or SLM), etc. This design freedom might offer unique opportunities in applications like customised production (see example of hearing aids above), medical application, aerospace parts (e.g. light weight), MEMS, etc. These issues might call for research and development in the area of dedicated CAD design software incorporating design for LM modules.

From near to net-shape: Accuracy is still a major limiting factor of present day LM processes. Existing processes and process chains have to go through extensive improvements towards a reliable and secure production technology that match the state of the art in terms of quality and accuracy. All mentioned processes have similar performances in accuracy (0.1-0.2 mm / 100 mm), surface finish (Ra 5-20 µm) and low repeatability. The efforts for improvement have to start with machine design, through technological feedback systems, over technological optimisation. The combination with traditional processes in multiprocessing equipment might be explored, in particular in combinations using HSC and PKM.

Economics: The productivity is an issue that was partially improved in 3DP for instance. However, even though the processing speed of several LM processes has already improved by more than a factor of ten [58], at lot of effort is still required to further boost production rate. Moreover, the situation in the market place, due to the great divergence of machines offered and their costs, leads to exaggerated equipment and material cost. This creates a non-realistic competitive situation and hinders a broader use of those technologies.

Consolidation: Despite a large number of patents, research results and success claims, a real break through did not happen. The opportunities are there, but one may wonder what is causing the success delay? What are the reasons for the hesitating break through? Will selective laser melting, for instance, have a quicker or immediate success? In future, application dedicated equipment will probably replace the all-round systems.

10 CONCLUSIONS

In recent years, one has observed a move from Rapid Prototyping (RP), to Rapid Tooling (RT), to an embryos of Rapid Manufacturing (RM). Layer Manufacturing (LM) definitely offers interesting future potential in this latter

aspect. The authors believe that three major application areas may be recognised (Figure 48). A small number of major industrial players will probably dominate the LM market, even though numerous additional small ventures will try to penetrate the market of LM equipment and hardware or software accessories.

A possible scenario is given in Figure 48:

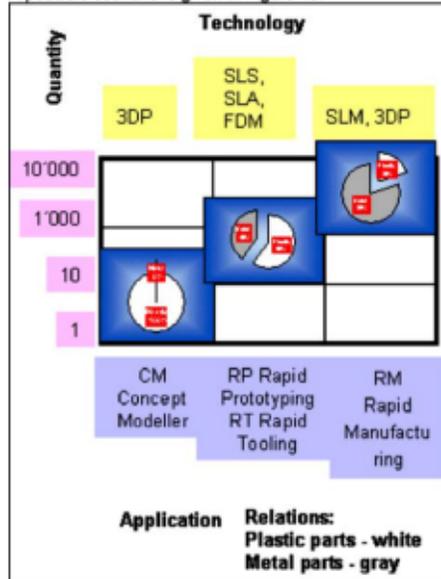


Figure 48: Consolidation forecast for the LM technologies 2002 - 2010

Distinction is made between:

- Concept Modellers (CM): office equipment, close to CAD peripherals, mainly based on 3D Printing technology (e.g. Objet Quadra) for production of visual 3D models for design verification. Material: low

11 REFERENCES BY NAME

[1] Abe F., Osakada K., 1996; Fundamental Study of Laser Rapid Prototyping of Metallic Parts; Int. J. Japan Soc. Pre. Eng.; Vol 30, No 3; 278 - 279

[2] Abe F., Osakada K., Shiomi M., Uematstu K., Matsumoto M.; 1999; Manufacturing of Hard Tools From Metallic Powders by Selective Laser Melting; Proc. Of AFDM 99, Haeundae, Pusan, Korea September 7-9, 1999; 721 - 726

[3] Abe F., Osakada K., Shomi M., Uematstu K., Matsumoto M.; 1999; Direct Manufacturing of Metallic Tools by Laser Rapid prototyping; Advanced Technology of Plasticity, Proc. Of the 6th ICTP, September 19-24; Vol. 2; 1005- 1010

[4] Abe F., Yoshidome A., Osakada K., Matsumoto M.; 2000; Manufacturing of Titanium Parts for Medical Purposes by Selective Laser Melting; Proc. 8th Int. Conference on Rapid Prototyping, June 12-13, 2000, Tokyo, Japan; 288 - 293

[5] Abe F., Yoshidome A., Osakada K., Shiomi M.; 1998; Direct Manufacturing of Metallic Model by

grade, but easily process able plastics (wax, photocuring resins). Production quantity: 1 to 20.

- Rapid Prototyping (RP) and Rapid Tooling (RT) equipment: for production of functional prototypes and null-series for tests and small lots. Parts produced directly in metal or higher grade plastics, supported by complementary secondary technologies like RTV (room temperature vulcanisation), investment casting, etc. Production quantity: 10 to 500. Technologies: SLS, SLA, FDM.
- Rapid Manufacturing (RM) equipment: for near net shape production of serial parts and full functional parts. Production quantity: over 500 to several thousands. Technologies: SLM, 3DP.

It is a fact that rapid prototyping has gained a very wide acceptance over the last decade, with an estimated production of 3.55 million models and prototypes in 2001 and a steady growth of about 20%/year, a sales of 1000-1500 machines/year over the last 5 years and about 400 RP service bureaus world wide offering RP services. The market of rapid tooling (i.e. the first application of rapid manufacturing for direct and fast production of tools) is still much more limited, but has nevertheless found numerous real applications for the production of soft tools (for limited series) and hard tools (e.g. SLS tools for series up to 100.000 shots). As for real direct rapid manufacturing of products, its application is still in its infancy, even though very promising. The real breakthrough of RM will mainly depend on cost and productivity improvements, which have to be accompanied with further technical progress in material properties and most of all in accuracy and reliability.

Acknowledgments

The authors would like to thank colleague institutes companies and friends for their contributions and valuable information, papers and remarks (in alphabetical order):

Bernard A., Baus A., Childs T.H., Dickens Ph., Eßer G., Geige M., Gibson I., Glardon R., Himmer T., Klocke F., Kovalenko V., Kunieda M., Leu M., Meiners W., Otto A., Over C., Shellabear M., Nakagaw T., Poprawe R., Resnick R., Schumacher M.B., Wissenbach K.

Laser Rapid prototyping; Int. J. Japan Soc. Pre. Eng.; Vol 32, No 3; 221-222

[6] Altan T., Lilly B., Yen Y.C.; 2001; Manufacturing of Dies and Moulds; CIRP Annals; Vol 50/1; 405-409

[7] Anderson, R.; Lembo, J.; Rynerson, M.; 2002; Rapid Manufacturing of Metal Matrix Composite Materials Using Three-Dimensional Printing (3DP™); Proceedings of TMS International Fall Conference; 2002, in press

[8] Andersson L. E., Larsson M; 2001; Device and Arrangement for Producing a Three Dimensional Object; Pat. PCT WO 01/81031 A1 Priority 27.4.2000

[9] Arthur A., Hwee O. K.; 2000; The Feasibility of Rapid Prototyping Forging Dies; Proceedings of the 9th European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing July 2000, Athens, Greece; 163 172

[10] Bakkelund J., R. Karlisen, OE. Björke (1); 1997; Fabricating metal objects using layer manufacturing technology and powder metallurgy science; Annals of the CIRP; Vol 46/1/1997; 135-138

DDS particles from *L*-lactide-derived peptides such as urethane with PDLA, PDLA-*b*-PEG, PDLA-*b*-PEG-PDLA, PLLA/PDLA, or PLLA-*b*-PEG/PDLA-*b*-PEG.^[122] The strong physical entrapment of peptides by the *D*-lactide unit sequence resulted in retarded release of the peptides. They also prepared hetero-stereocomplex DDS particles from an *L*-configured leuprolide and PDLA.^[119–121] Various factors affecting the release of leuprolide from the hetero-

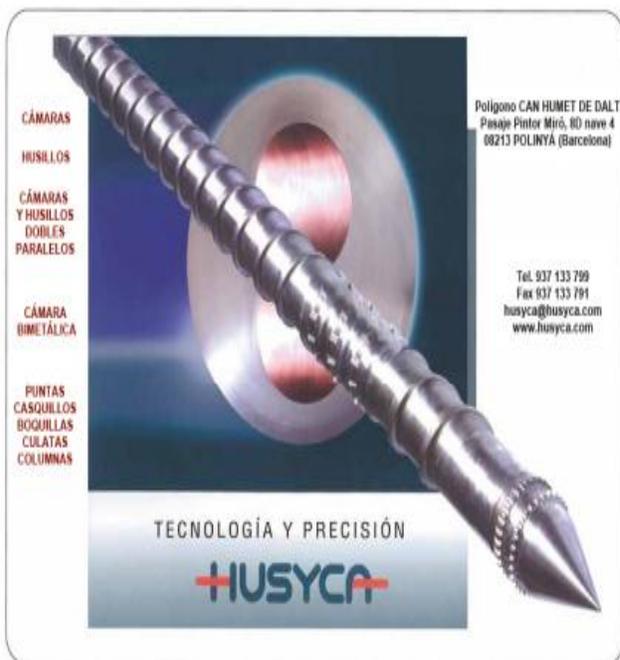
ster

8. Conclusions and Perspectives

Stereocomplexation gives PLA-based materials higher mechanical performance, thermal resistance, hydrolysis-resistance, and opens a new way to produce various types of

biodegradable materials such as hydrogels and DDS particles. The former improvements arise from the peculiarly strong interaction between *L*-lactyl unit sequences and *D*-lactyl unit sequences. A variety of properties of stereocomplexed PLA materials can be manipulated by molecular characteristics, highly-ordered structures, and additives. Some *Lactobacilli* are reported to produce exclusively *D*-lactic acid (not the mixture of *L*- and *D*-lactic acids) from numerous kinds of renewable resources,^[30,101] and PDLA can be produced from *D*-lactic acid by the same procedure for PLLA production from *L*-lactic acid. Therefore, the most crucial issue for stereocomplexed PLA materials, the reduction of the production cost of PDLA, can be solved by large-scale facilities. Reduced cost of PDLA will give stereocomplexed PLA materials further applications, not only as biomedical materials but also as alternatives for commercial polymeric materials.

- [20] H. Tsuji, S.-H. Hyon, Y. Ikada, *Macromolecules* **1991**, *24*, 5651.
- [21] H. Tsuji, S.-H. Hyon, Y. Ikada, *Macromolecules* **1991**, *24*, 5657.
- [22] H. Tsuji, Y. Ikada, *Macromolecules* **1993**, *26*, 6918.
- [23] H. Tsuji, Y. Ikada, *Macromol. Chem. Phys.* **1996**, *197*, 3483.
- [24] H. Tsuji, Y. Ikada, *Polymer* **1999**, *40*, 6699.
- [25] E. Schomaker, G. Challa, *Macromolecules* **1988**, *21*, 3506.
- [26] H. Tsuji, F. Horii, S.-H. Hyon, Y. Ikada, *Macromolecules* **1991**, *24*, 2719.
- [27] H. Tsuji, S.-H. Hyon, Y. Ikada, *Macromolecules* **1992**, *25*, 2940.
- [28] H. Tsuji, Y. Ikada, *Macromolecules* **1992**, *25*, 5719.
- [29] H. Tsuji, Y. Ikada, *J. Appl. Polym. Sci.* **1994**, *53*, 1061.
- [30] G. B. Kharas, F. Sanchez-Riera, D. K. Severson, in: *Plastics from Microbes*, D. P. Mobley, Ed., Hanser Publishers, New York 1994, pp. 93–137.
- [31] M. H. Harimann, in: *Biopolymers from Renewable Resources*, D. L. Kaplan, Ed., Springer, Berlin 1998, pp. 387–411.
- [32] H. Tsuji, Y. Ikada, in: *Current Trends in Polymer Science*, K. L. DeVries, P. Hodge, A. Ledwith, D. W. McCall, A. M. North, D. R. Paul, R. S. Porter, J. C. Salamone, P. L.



2. Materiales poliméricos en impresión 3D

Sin ninguna duda las tecnologías de impresión 3D más extendidas en las que se utilizan materiales poliméricos son FDM, SLS, SLA y Polyjet. Para cualquier proceso de fabricación, incluidas las tecnologías de AM, la materia prima debe formarse en un estado compatible con el proceso en cuestión (por ejemplo, polvo, lámina, filamento, líquido). Finalmente, el material debe exhibir propiedades de servicio aceptables para realizar con éxito la aplicación dada. Para la mayoría de aplicaciones de servicio estrictas, las piezas de AM generalmente se post-procesan de alguna manera para mejorar la microestructura, reducir la porosidad y para acabar las superficies, reducir la rugosidad y cumplir con la tolerancia geométrica requerida. En las **Tablas 1 y 2** se muestran los tipos generales de materiales utilizados en AM en función del tipo de tecnología utilizada.

3. Materiales elastoméricos en impresión 3D: tipos

Aparte de los materiales resumidos en las **Tablas 1 y 2** existe un gran interés en la impresión de polímeros con la capacidad de deformarse un valor relativamente grande bajo una fuerza mecánica y que a su vez sean capaces de recuperar su forma cuando esta fuerza cesa. Este tipo de materiales poliméricos entran dentro de la familia de los polímeros elastoméricos o elastómeros y pueden ser de dos tipos principalmente. Por un lado, los materiales entrecruzados, es decir, los elastómeros habituales como, por ejemplo, silicona, goma-caucho, espuma de poliuretano, etc., son termoestables. Por otro lado, los elastómeros termoplásticos, en los que la reticulación química es reemplazada por una red de reticulaciones físicas. Así los elastómeros termoplásticos son materiales multifásicos donde se combinan una parte elastomérica y otra entrecruzada a través de enlaces físicos

Tabla 1. Propiedades de los materiales termoplásticos para FDM y su aplicación en diversas industrias [2].

Material	Propiedades	Aplicaciones/Industria
ABS	Resistente y fuerte.	Automoción, aeroespacial, dispositivos médicos.
ASA	Resistencia mecánica y estabilidad UV.	Prototipos funcionales desde soportes y carcasas eléctricas hasta prototipos de automóviles y piezas de producción prácticas para uso en exteriores bajo el sol.
Nylon 12	Buena resistencia química, alta resistencia a la fatiga y alta resistencia al impacto.	Material ideal para aplicaciones que requieren componentes de protección contra impactos y alta resistencia a la fatiga, incluidas cubiertas de antenas, herramientas de producción personalizadas, insertos de ajuste por fricción y ajustes a presión en las industrias automotriz y aeroespacial.
PC	Alta resistencia a la tracción y flexión.	Prototipos funcionales, herramientas y accesorios, moldes para las industrias automotriz y aeroespacial.
PPSF/PPSU	Excelente resistencia química y al calor y fuerza mecánica.	PPSF / PPSU puede soportar varios métodos de esterilización, incluido el óxido de etileno, autoclave y la radiación. Dispositivos médicos esterilizables, prototipos automotrices y herramientas para aplicaciones exigentes en una variedad de industrias.
PEI o ULTEM	Biocompatible, excelente resistencia mecánica y química y estabilidad térmica.	Debido a su alta relación resistencia / peso y la certificación existente, ULTEM es ideal para aplicaciones de creación rápida de prototipos y herramientas avanzadas en las industrias aeroespacial, automotriz, médica y de producción de alimentos.
PLA	Buena resistencia a la tracción y calidad de la superficie.	Ideal para modelos y prototipos que requieren detalles estéticos y ser respetuosos con el medio ambiente tanto para el hogar como para la oficina.
TPU	Excelente resistencia al desgarro y al desgaste, alto impacto, fuerza y dureza.	Flexibilidad excepcional (es decir alargamiento a la rotura) y resistencia a la corrosión para muchos productos químicos y aceites industriales comunes. Material altamente versátil con propiedades de caucho y plástico para una variedad de aplicaciones industriales.



Índice

Noticias

```
pi@raspberrypi ~$
pi$ login as: pi
pi$ pi@192.168.10.18's password:
Linux raspberrypi 6.1.21-v8+ #1642 SMP PREEMPT Mon Apr  3 17:24:16 BST 2023 aarc
h64

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Thu Jun  1 16:59:38 2023 from 10.10.54.132

-----
Access OctoPrint from a web browser on your network by navigating to any of:

    http://raspberrypi.local
    http://192.168.10.18

https is also available, with a self-signed certificate.
-----
This image comes without a desktop environment installed because it's not
required for running OctoPrint. If you want a desktop environment you can
install it via

    sudo /home/pi/scripts/install-desktop
-----
OctoPrint version : 1.8.7
OctoPi version    : 1.0.0
-----

pi@raspberrypi:~$
```

```
pi@raspberrypi ~$
pi$ login as: pi
pi$ pi@192.168.10.18's password:
Linux raspberrypi 6.1.21-v8+ #1642 SMP PREEMPT Mon Apr  3 17:24:16 BST 2023 aarc
h64

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Tue Jun 27 17:18:43 2023 from 192.168.10.114

-----
Access OctoPrint from a web browser on your network by navigating to any of:

    http://raspberrypi.local
    http://192.168.10.18

https is also available, with a self-signed certificate.
-----
This image comes without a desktop environment installed because it's not
required for running OctoPrint. If you want a desktop environment you can
install it via

    sudo /home/pi/scripts/install-desktop
-----
OctoPrint version : 1.8.7
OctoPi version    : 1.0.0
-----

pi@raspberrypi:~$ sudo cp /etc/systemd/system/octoprint.service /etc/systemd/system/octoprint2.service
tem/octoprint2.service
```

```
pi@raspberrypi ~  
GNU nano 5.4 /etc/systemd/system/octoprint2.service  
[Unit]  
Description=The snappy web interface for your 3D printer  
After=network.online.target  
Wants=network.online.target  
  
[Service]  
Environment="HOST=127.0.0.1"  
Environment="PORT=5001"  
Type=simple  
User=pi  
ExecStart=/home/pi/oprnt/bin/octoprint serve --host=${HOST} --port=${PORT} --config /home/pi/.octoprint2/config.yaml --basedir /home/pi/.octoprint2  
  
[Install]  
WantedBy=multi-user.target  
  
[ Help | Write Out | Where Is | Cut | Execute | Location | Undo | Set Mark | To Bracket | Previous |  
Exit | Read File | Replace | Paste | Justify | Go To Line | Redo | Copy | Where Was | Next ]  
[ Read 15 lines ]
```

```
pi@raspberrypi ~  
# login as: pi  
# pi@192.168.10.18's password:  
Linux raspberrypi 6.1.21-v8+ #1642 SMP PREEMPT Mon Apr 3 17:24:16 BST 2023 aarc  
h64  
  
The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;  
the exact distribution terms for each program are described in the  
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.  
  
Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent  
permitted by applicable law.  
Last login: Tue Jun 27 17:18:43 2023 from 192.168.10.114  
  
-----  
Access OctoPrint from a web browser on your network by navigating to any of:  
  
http://raspberrypi.local  
http://192.168.10.18  
  
https is also available, with a self-signed certificate.  
-----  
This image comes without a desktop environment installed because it's not  
required for running OctoPrint. If you want a desktop environment you can  
install it via  
  
sudo /home/pi/scripts/install-desktop  
-----  
OctoPrint version : 1.8.7  
OctoPi version : 1.0.0  
-----  
  
pi@raspberrypi:~$ sudo nano /etc/systemd/system/octoprint2.service  
[sudo] password for pi:  
pi@raspberrypi:~$ sudo nano /etc/systemd/system/octoprint2.service  
pi@raspberrypi:~$ sudo systemctl enable octoprint2
```

```

pi@raspberrypi ~
http://192.168.10.18

https is also available, with a self-signed certificate.
-----
This image comes without a desktop environment installed because it's not
required for running OctoPrint. If you want a desktop environment you can
install it via

    sudo /home/pi/scripts/install-desktop
-----
OctoPrint version : 1.8.7
OctoPi version    : 1.0.0
-----

pi@raspberrypi:~$ sudo nano /etc/systemd/system/octoprint2.service
[sudo] password for pi:
pi@raspberrypi:~$ sudo nano /etc/systemd/system/octoprint2.service
pi@raspberrypi:~$ ^[[200~sudo nano /etc/haproxy/haproxy.cfg
-bash: $'\E[200~sudo': command not found
pi@raspberrypi:~$ ~sudo nano /etc/haproxy/haproxy.cfg
-bash: ~sudo: command not found
pi@raspberrypi:~$ sudo nano /etc/haproxy/haproxy.cfg
GNU nano 5.4 /etc/haproxy/haproxy.cfg
global
    maxconn 4096
    user haproxy
    group haproxy
    log /dev/log local1 debug
    tune.ssl.default-dh-param 2048

defaults
    log global
    mode http
    compression algo gzip
    option httplog
    option dontlognull
    retries 3
    option redispatch
    option http-server-close
    option forwardfor
    maxconn 2000
    timeout connect 5s
    timeout client 15m
    timeout server 15m

```

```

pi@raspberrypi ~
GNU nano 5.4 /etc/haproxy/haproxy.cfg
global
    maxconn 4096
    user haproxy
    group haproxy
    log /dev/log local1 debug
    tune.ssl.default-dh-param 2048

defaults
    log global
    mode http
    compression algo gzip
    option httplog
    option dontlognull
    retries 3
    option redispatch
    option http-server-close
    option forwardfor
    maxconn 2000
    timeout connect 5s
    timeout client 15m
    timeout server 15m

frontend public
    bind :::80 v4v6
    bind :::443 v4v6 ssl crt /etc/ssl/snakeoil.pem
    option forwardfor except 127.0.0.1
    use_backend webcam if { path_beg /webcam/ }
    use_backend webcam_hls if { path_beg /hls/ }
    use_backend webcam_hls if { path_beg /jpeg/ }
    default_backend octoprint

backend octoprint
    acl needs_scheme req.hdr_cnt(X-Scheme) eq 0

    http-request replace-path ^([\^ :]*)\ /(.*) \1\ /\2
    http-request add-header X-Scheme https if needs_scheme { ssl_fc }
    http-request add-header X-Scheme http if needs_scheme !( ssl_fc )
    option forwardfor
    server octoprint1 127.0.0.1:5000
    errorfile 503 /etc/haproxy/errors/503-no-octoprint.http

```

```
pi@raspberrypi ~
GNU nano 5.4 /etc/haproxy/haproxy.cfg
use backend webcam_hls if { path_beg /jpeg/ }
default_backend octoprint

backend octoprint
acl needs_scheme req.hdr_cnt(X-Scheme) eq 0

http-request replace-path ^([\ :]*)\/(.*)\/\1\/\2
http-request add-header X-Scheme https if needs_scheme { ssl_fc }
http-request add-header X-Scheme http if needs_scheme !{ ssl_fc }
option forwardfor
server octoprint1 127.0.0.1:5000
errorfile 503 /etc/haproxy/errors/503-no-octoprint.http

backend webcam
http-request replace-path /webcam/(.*) /\1
server webcam1 127.0.0.1:8080
errorfile 503 /etc/haproxy/errors/503-no-webcam.http

backend webcam_hls
server webcam_hls_1 127.0.0.1:28126
errorfile 503 /etc/haproxy/errors/503-no-webcam-hls.http

frontend public2
bind :::81 v4v6
bind :::444 v4v6 ssl crt /etc/ssl/snakeoil.pem
option forwardfor except 127.0.0.1
default_backend octoprint2

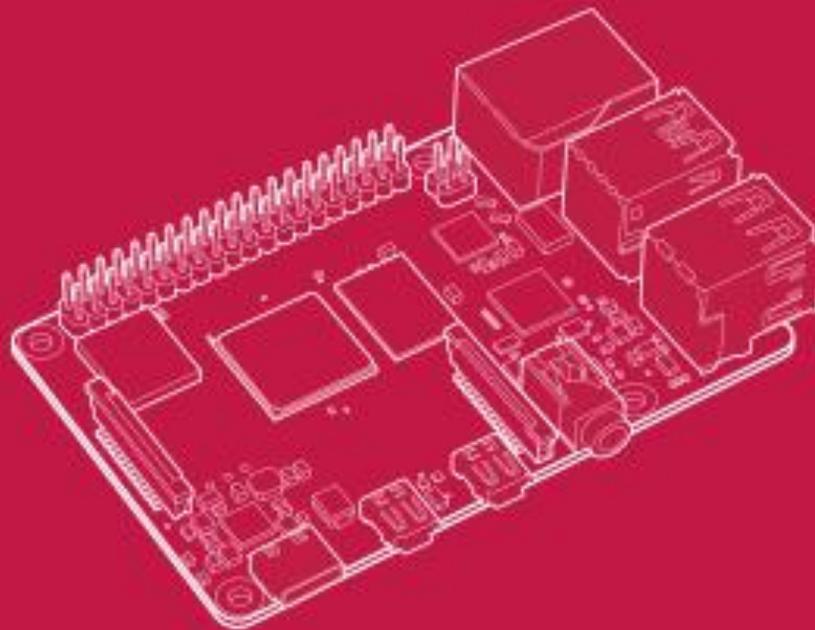
backend octoprint2
acl needs_scheme req.hdr_cnt(X-Scheme) eq 0

http-request replace-path ^([\ :]*)\/(.*)\/\1\/\2
http-request add-header X-Scheme https if needs_scheme { ssl_fc }
http-request add-header X-Scheme http if needs_scheme !{ ssl_fc }
option forwardfor
server octoprint1 127.0.0.1:5001
errorfile 503 /etc/haproxy/errors/503-no-octoprint.http

^G Help      ^O Write Out  ^W Where Is   ^K Cut        ^I Execute    ^C Location   ^U Undo       ^_ Set Mark   ^] To Bracket ^_ Previous
^X Exit      ^R Read File  ^N Replace    ^P Paste      ^J Justify    ^G Go To Line ^Y Redo       ^E Copy       ^_ Where Was  ^_ Next
```

Raspberry Pi 4 Computer

Model B



Overview



Raspberry Pi 4 Model B is the latest product in the popular Raspberry Pi range of computers. It offers ground-breaking increases in processor speed, multimedia performance, memory, and connectivity compared to the prior-generation Raspberry Pi 3 Model B+, while retaining backwards compatibility and similar power consumption. For the end user, Raspberry Pi 4 Model B provides desktop performance comparable to entry-level x86 PC systems.

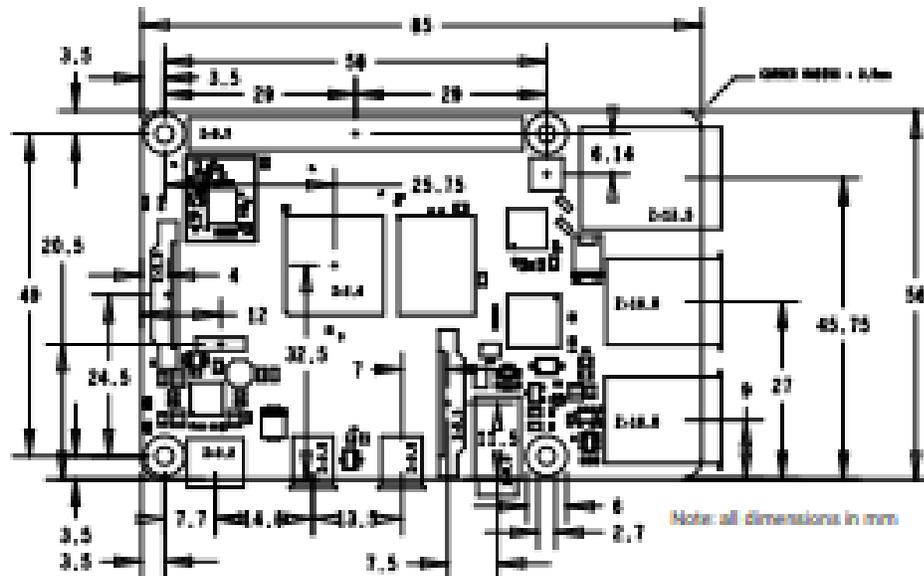
This product's key features include a high-performance 64-bit quad-core processor, dual-display support at resolutions up to 4K via a pair of micro-HDMI ports, hardware video decode at up to 4Kp60, up to 4GB of RAM, dual-band 2.4/5.0 GHz wireless LAN, Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet, USB 3.0, and PoE capability (via a separate PoE HAT add-on).

The dual-band wireless LAN and Bluetooth have modular compliance certification, allowing the board to be designed into end products with significantly reduced compliance testing, improving both cost and time to market.

Specification

Processor:	Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz
Memory:	1GB, 2GB or 4GB LPDDR4 (depending on model)
Connectivity:	2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 5.0, BLE Gigabit Ethernet 2 × USB 3.0 ports 2 × USB 2.0 ports.
GPIO:	Standard 40-pin GPIO header (fully backwards-compatible with previous boards)
Video & sound:	2 × micro HDMI ports (up to 4Kp60 supported) 2-lane MIPI DSI display port 2-lane MIPI CSI camera port 4-pole stereo audio and composite video port
Multimedia:	H.265 (4Kp60 decode); H.264 (1080p60 decode, 1080p30 encode); OpenGL ES, 3.0 graphics
SD card support:	Micro SD card slot for loading operating system and data storage
Input power:	5V DC via USB-C connector (minimum 3A ¹) 5V DC via GPIO header (minimum 3A ¹) Power over Ethernet (PoE)–enabled (requires separate PoE HAT)
Environment:	Operating temperature 0–50°C
Compliance:	For a full list of local and regional product approvals, please visit https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/conformity.md
Production lifetime:	The Raspberry Pi 4 Model B will remain in production until at least January 2026.

Physical Specifications



WARNINGS

- This product should only be connected to an external power supply rated at 5V/3A DC or 5.1V/ 3A DC minimum¹. Any external power supply used with the Raspberry Pi 4 Model B shall comply with relevant regulations and standards applicable in the country of intended use.
- This product should be operated in a well-ventilated environment and, if used inside a case, the case should not be covered.
- This product should be placed on a stable, flat, non-conductive surface in use and should not be contacted by conductive items.
- The connection of incompatible devices to the GPIO connection may affect compliance and result in damage to the unit and invalidate the warranty.
- All peripherals used with this product should comply with relevant standards for the country of use and be marked accordingly to ensure that safety and performance requirements are met. These articles include but are not limited to keyboards, monitors and mice when used in conjunction with the Raspberry Pi.
- Where peripherals are connected that do not include the cable or connector, the cable or connector must offer adequate insulation and operation in order that the relevant performance and safety requirements are met.

SAFETY INSTRUCTIONS

To avoid malfunction or damage to this product please observe the following:

- Do not expose to water, moisture or place on a conductive surface whilst in operation.
- Do not expose it to heat from any source; Raspberry Pi 4 Model B is designed for reliable operation at normal ambient room temperatures.
- Take care whilst handling to avoid mechanical or electrical damage to the printed circuit board and connectors.
- Avoid handling the printed circuit board whilst it is powered and only handle by the edges to minimise the risk of electrostatic discharge damage.

¹ A good quality 2.5A power supply can be used if downstream USB peripherals consume less than 500mA in total.



Artillery Sidewinder X1



Generic PETG
0.4mm Nozzle



Low Quality - 0.28mm



20%



Ence...



Ence...



Lista de objetos

Axle_Left.STL

Axle_Right.STL

Crank.STL

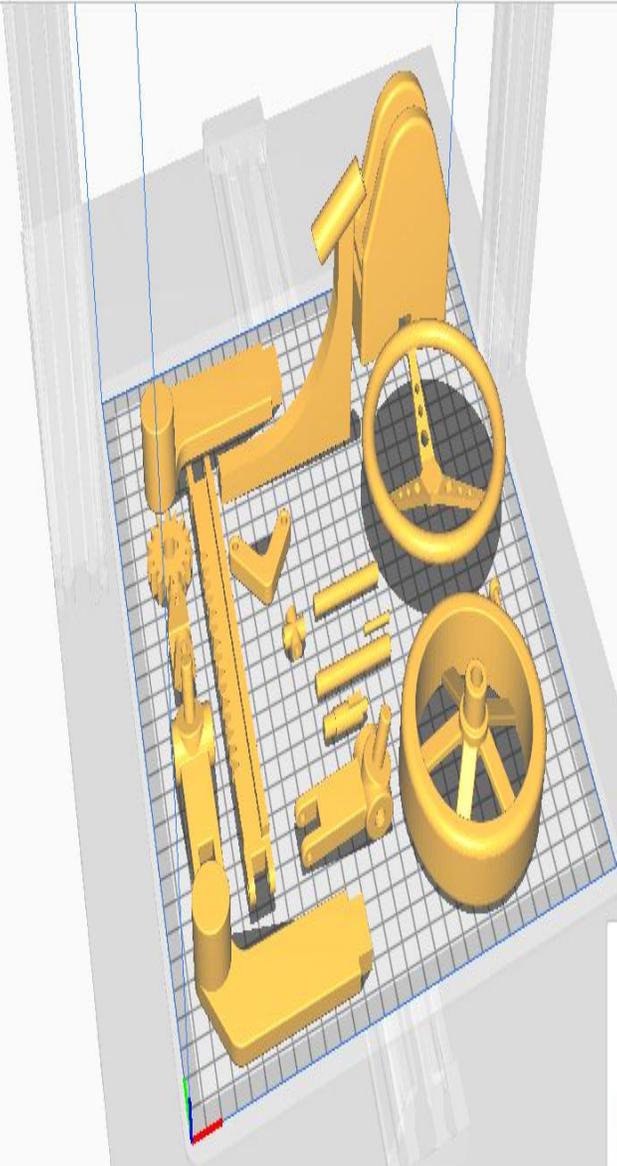
Gear.STL

Linkage.STL

Linkage_Pins.STL

ASX1_Axle_Left

277.6 x 272.9 x 111.8 mm



🕒 1 día 9 horas 30 minutos



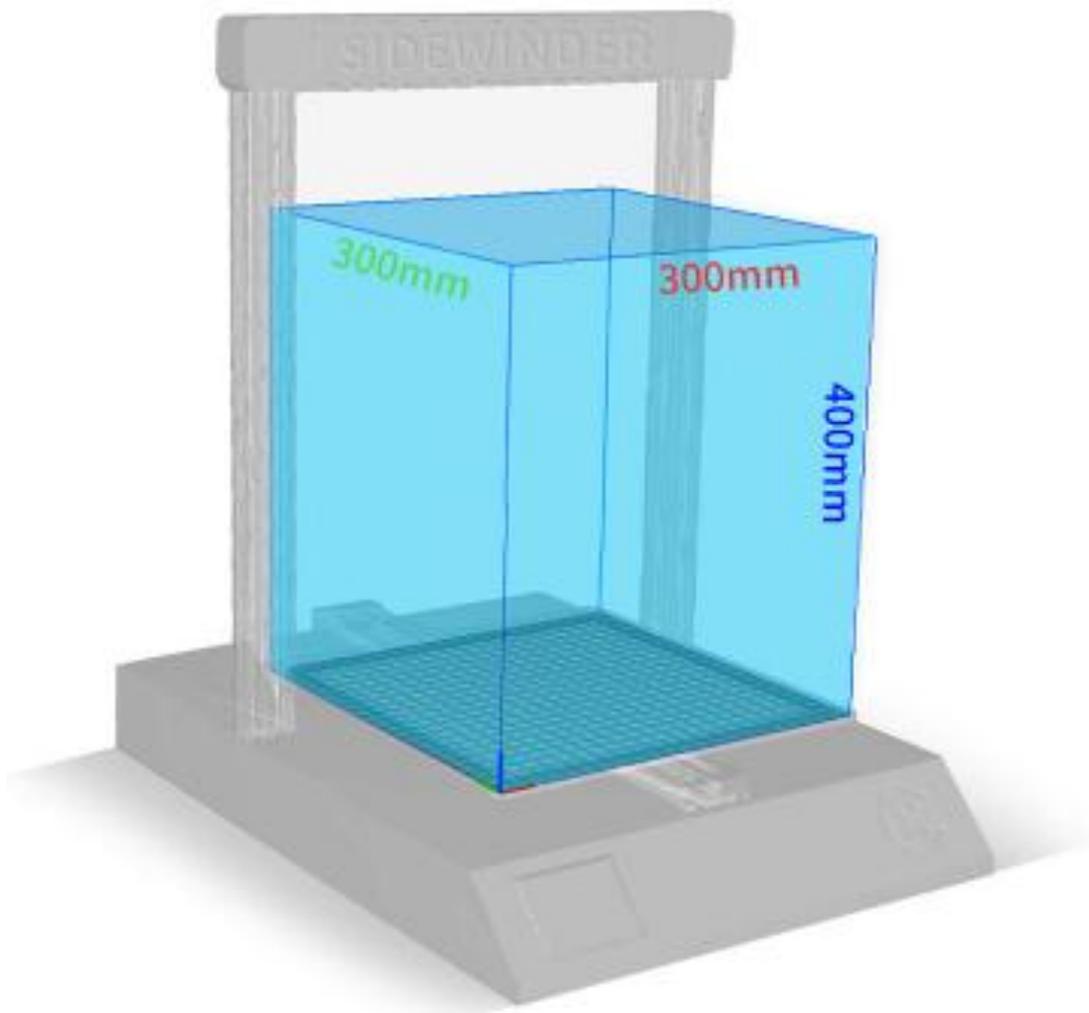
📊 410g - 134.09m

Vista p...

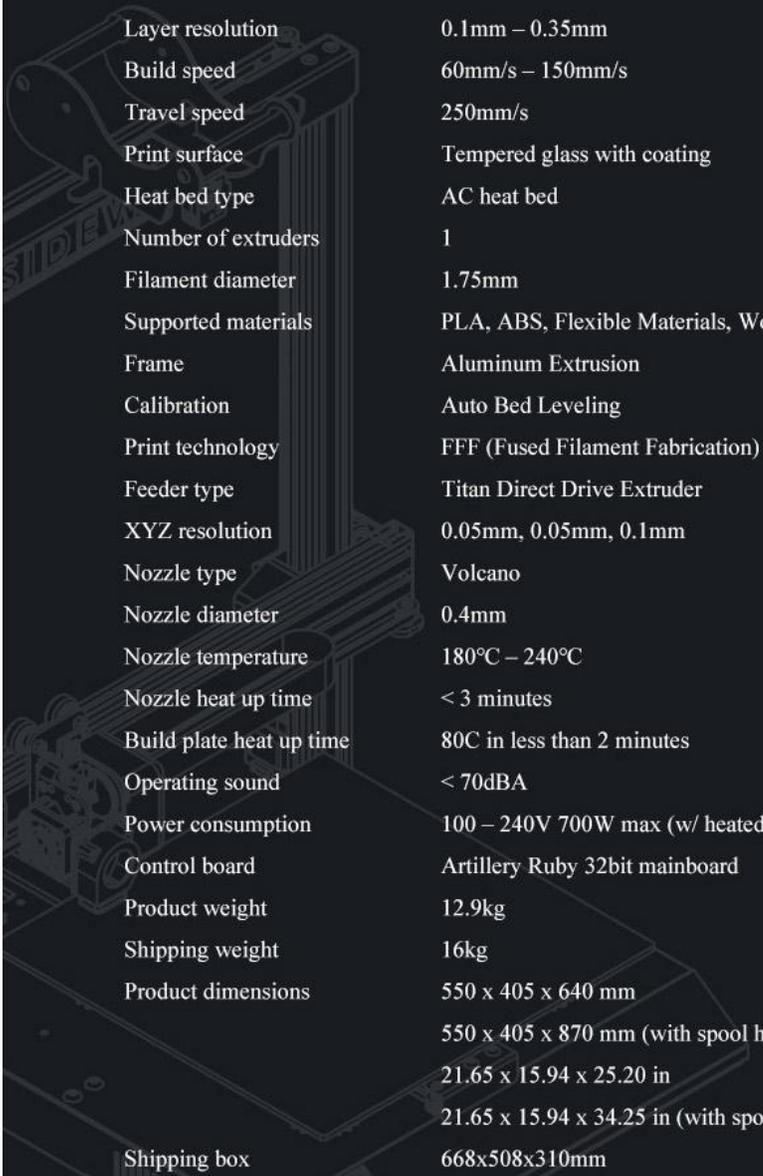
Guardar en disco

Great expectation & empowered creativity

Large printing space of 300mm*300mm*400mm provides more space for your creative platform.



SPECIFICATIONS

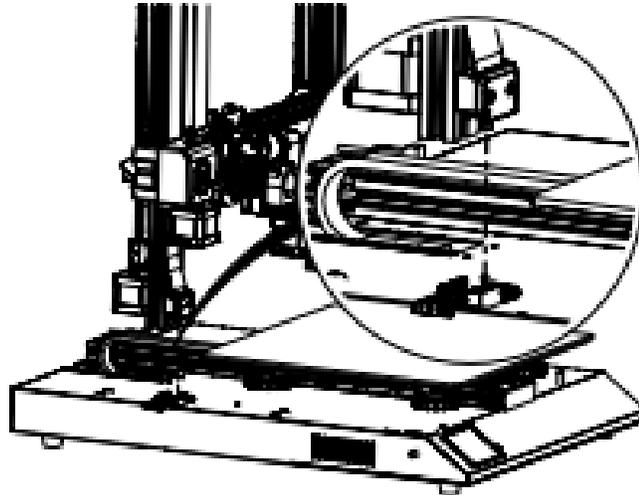


Build volume	300 x 300 x 400 mm 11.81 x 11.81 x 15.75 in
Layer resolution	0.1mm – 0.35mm
Build speed	60mm/s – 150mm/s
Travel speed	250mm/s
Print surface	Tempered glass with coating
Heat bed type	AC heat bed
Number of extruders	1
Filament diameter	1.75mm
Supported materials	PLA, ABS, Flexible Materials, Wood, PVA, HIPS
Frame	Aluminum Extrusion
Calibration	Auto Bed Leveling
Print technology	FFF (Fused Filament Fabrication)
Feeder type	Titan Direct Drive Extruder
XYZ resolution	0.05mm, 0.05mm, 0.1mm
Nozzle type	Volcano
Nozzle diameter	0.4mm
Nozzle temperature	180°C – 240°C
Nozzle heat up time	< 3 minutes
Build plate heat up time	80C in less than 2 minutes
Operating sound	< 70dBA
Power consumption	100 – 240V 700W max (w/ heated bed turned on)
Control board	Artillery Ruby 32bit mainboard
Product weight	12.9kg
Shipping weight	16kg
Product dimensions	550 x 405 x 640 mm 550 x 405 x 870 mm (with spool holder) 21.65 x 15.94 x 25.20 in 21.65 x 15.94 x 34.25 in (with spool holder)
Shipping box	668x508x310mm
Maximum Print Speed:	150 mm/s
Maximum Travel Speed:	250mm/s
Maximum Build Plate Temperature	130°C
Connectivity:	USB, TF Card, USB Stick

ASSEMBLY

STEP 1

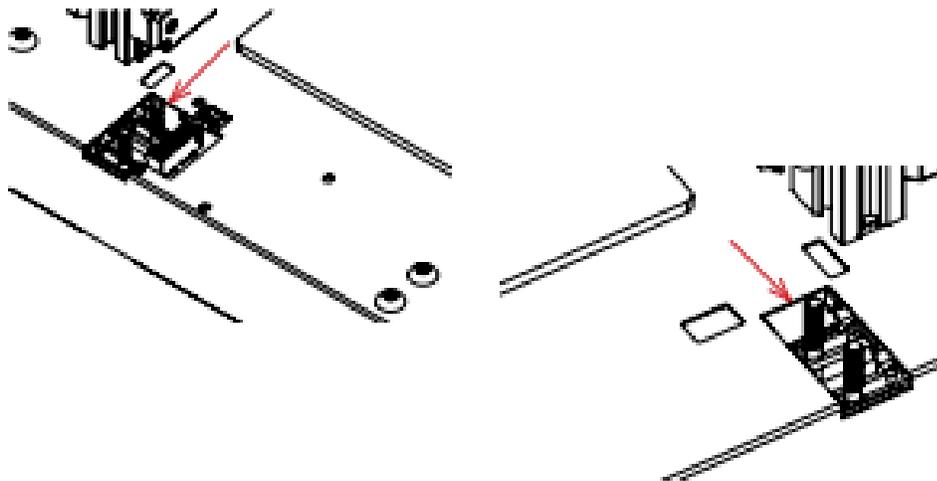
Align the XZ gantry to the base, make sure the connector is perfectly aligned to the female connector on the base.



STEP 2

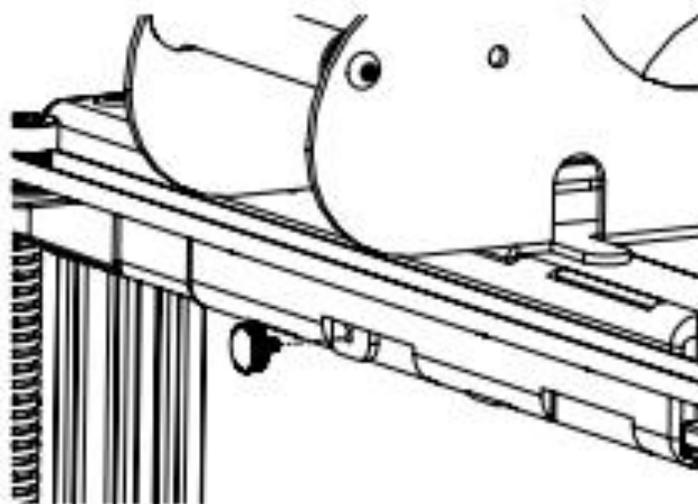
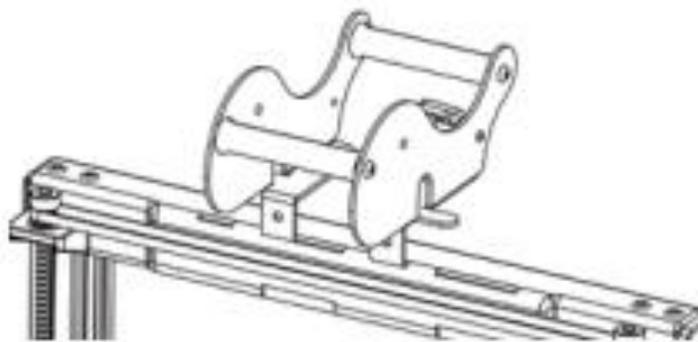
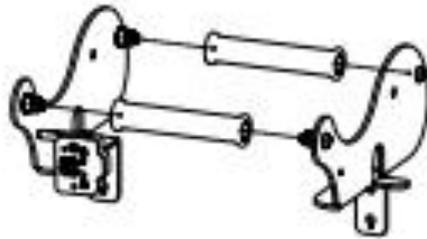
The M5 screws used to fasten the XZ gantry to the base are pre-inserted into the extrusion, use the Allen key provided to tighten the screws.

Push the aluminum extrusions against the inside of the slot when tightening the screws.



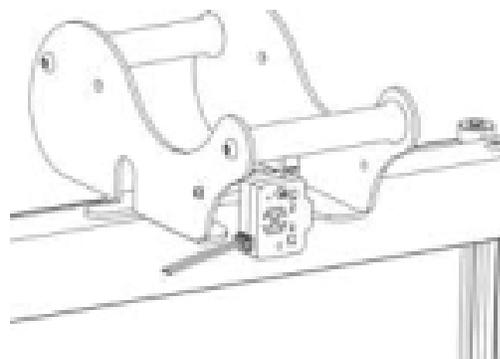
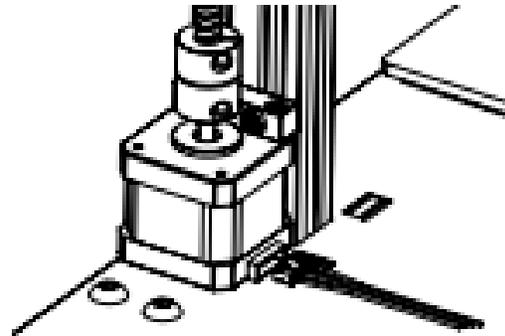
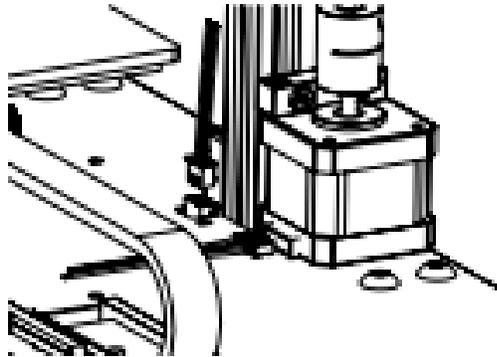
STEP 3

Assemble the spool holder as shown in picture, then slide it into the slots on the top of the top beam. Then use the knob supplied to fix it in place.



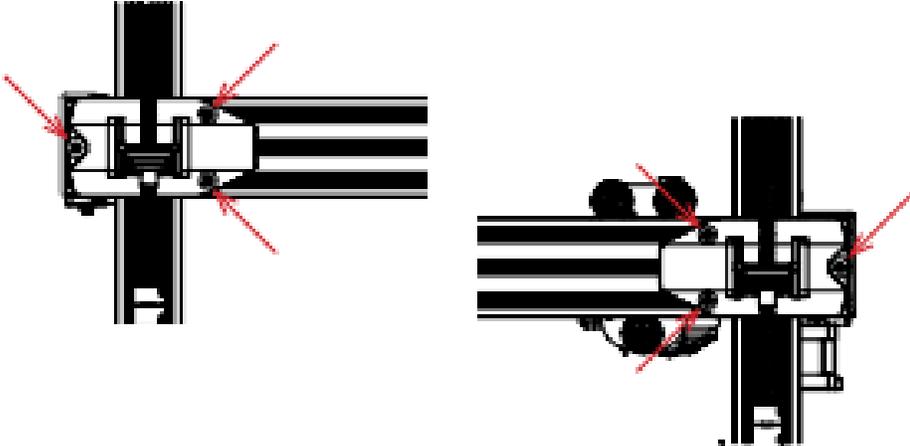
STEP 4

Connect the Z stepper motors and filament runout sensor.



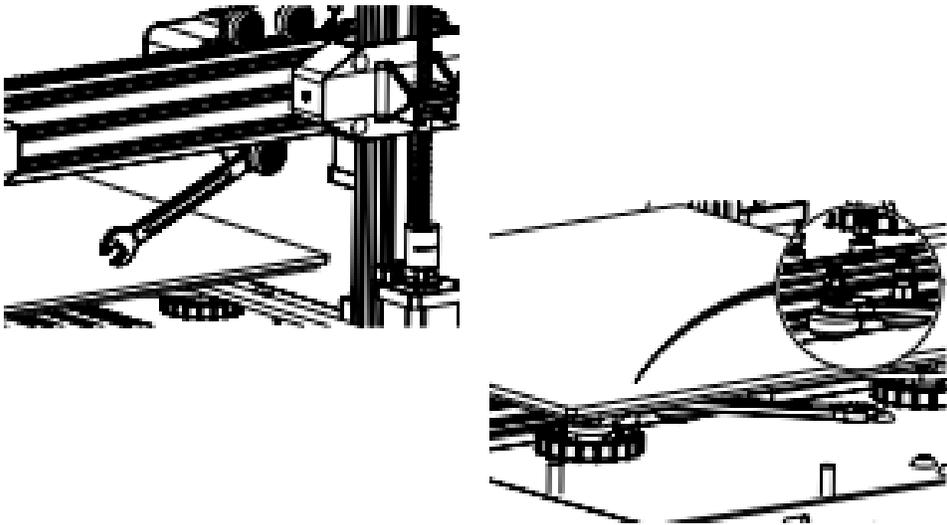
STEP 5

Loosen the 6 screws holding the carriages on both sides then tighten them **ONLY** when wheels on Z carriages not properly seating on the aluminum extrusions.



STEP 6

Adjust the bed carriage and hotend carriage by turning the eccentric nuts with the wrench supplied.



LEVELING THE BUILD PLATE

The Sidewinder X2 comes with Auto Bed Leveling Sensor, it will perform a self-test when you power on the printer, if it doesn't, please do not proceed and check on the cables to make sure they're correctly seated.

1. Home the printer;
2. Heat up the bed and the hotend to 70 ° C and 240 ° C respectively;
3. Go to **Tools** -> **Level**;
4. Slide a piece of A4 paper between the nozzle and the build plate;
5. Move the hotend to all 4 corners to repeat **step 6**;
6. Turn the leveling knob under the bed closest to the nozzle until the piece of paper slides, with just a bit of drag;
7. From the menu, go to **Tools** -> **More** and click on **Auto-Level**;
8. The printer will initialize the auto bed leveling procedure, wait till it finishes;
9. Click **EEPROM Save**;
10. Do the following only if the nozzle is scratching on the build plate or the nozzle too far from the build plate;
11. Heat up the bed and the hotend to 70 ° C and 240 ° C respectively;
12. Go to **Tools** -> **More** -> **Z=0**;
13. The nozzle will move to the center and at 0 height;
14. Slide the A4 paper between the nozzle and bed again, use **+0.025** and **-0.025** button to adjust the nozzle distance from the build plate until the piece of paper slides, with just a bit of drag;
15. Click **EEPROM Save** once you're happy with the drag on the A4 paper;
16. Repeat **Step 2** to **Step 9**.
17. To enable compensation for auto-leveling, add **M420 S1 Z10** after **G28** in starting Gcode.

Technical Specification

Printing

Technology:	FDM (Fused Deposition Modeling)
Build Size:	400mm * 400mm * 450 mm
Print accuracy:	0.05-0.3 mm
Positioning Accuracy:	X/Y 0.0125mm , Z 0.0020mm
Extruder Quantity:	Single
Nozzle Diameter:	0.4 mm
Print Speed:	20~100mm/s
Travel Speed:	60mm/s
Machine power:	~600W
Supported Materials:	PLA, ABS, HIPS, Wood, TPU

Temperature

Ambient Operating Temperature:	8°C - 40°C
Operational Extruder Temperature:	max 260°C
Operational Print Bed Temperature:	100°C

Software

Slicer Software:	Cura, Smply3D, Repetier-HOST
Software Input Formats:	.STL, .OBJ, .JPG, PNG
Software Output Formats:	GCode
Connectivity:	Memory card; Data cable

Electrical

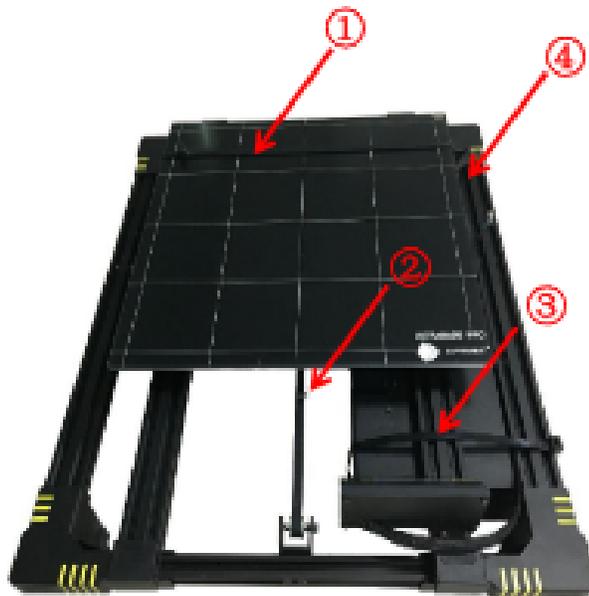
Input rating:	110V/220V AC, 50/60Hz
---------------	-----------------------

Physical Dimensions

Printer Dimensions:	651mm * 612mm *720mm
Net Weight:	~20Kg

Installation section

1. Installation section contains: ①Install the frame ②Install the display ③ Wiring ④Install the filament holder and filament
2. Be cautions during assembly as some parts may have sharp edges.
3. It is suggested to use a flat desktop and place the parts in an orderly manner for quick assembly.
4. The color of some parts may be different from what in the manual, but the assembly is the same.
5. Firmware has been pre-uploaded to the motherboard. After completing the assembly, please load the filament and level the platform then you could start the first test print.



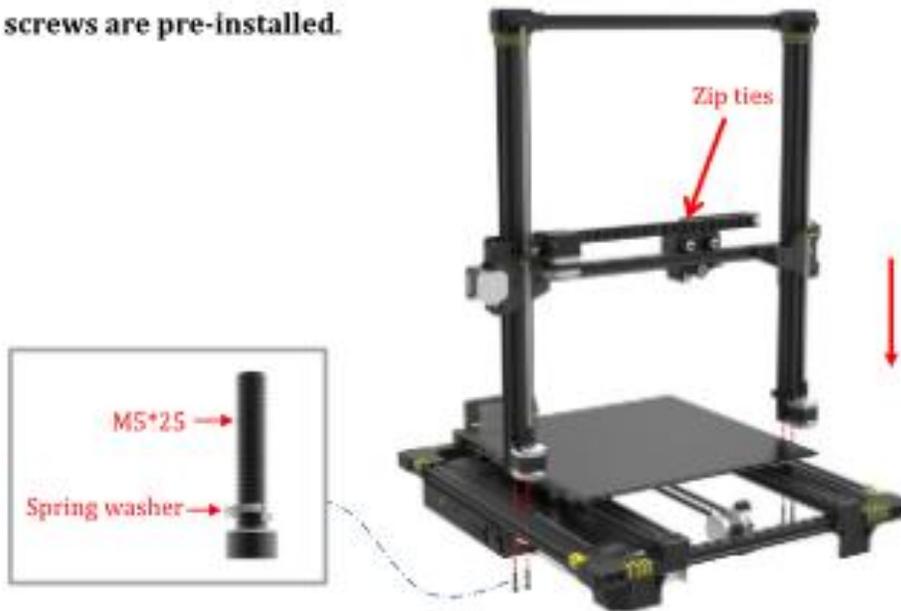
Note: before assembly please use pliers and other tools to remove those zip ties and wrapping materials.

Team **ANYCUBIC**

Installation section

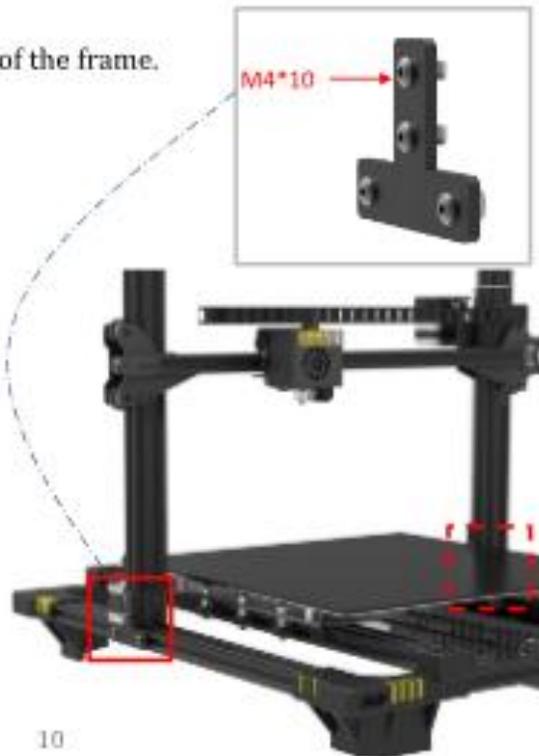
1. Install frame

(1) Please use pliers to cut the zip ties before assembly. Fix the frame to the base by 4 pieces of M5*25 screws and spring washers. Fasten the screws **after all the screws are pre-installed.**



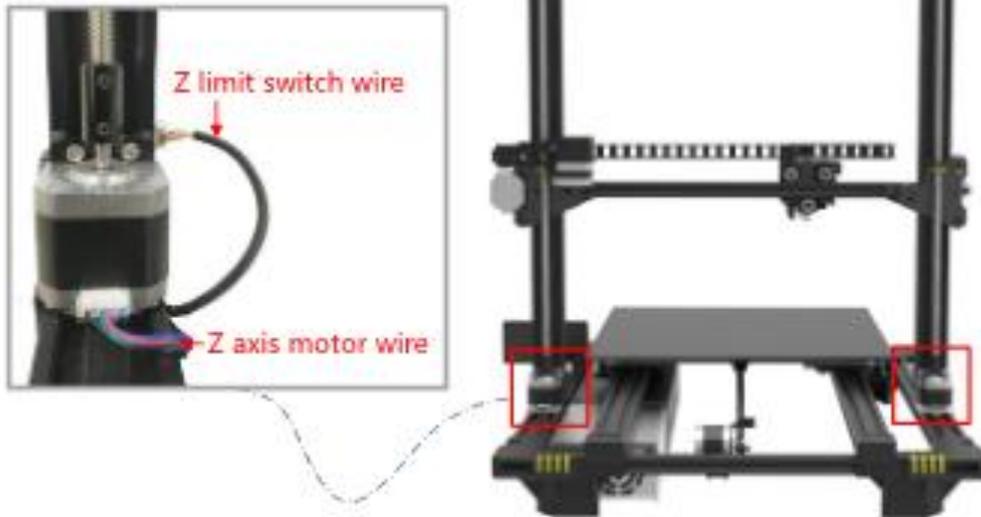
(2) Install the T plates on both sides of the frame.

Note the direction of the T nut in Aluminum profile



Installation section

(2) Move the platform to the front, and then insert the Z limit switch wires and the Z axis motor wires into the corresponding ports on **both sides** of the machine. Keep the wires in place well by zip ties and do not let them interfere with the bed movement.



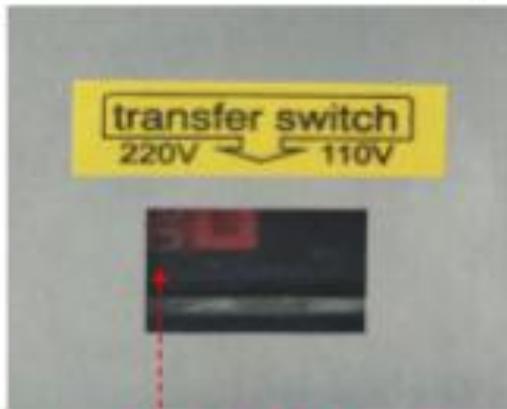
4. Install filament holder and filament

(1) Use two M3*5 screws to install the filament holder, then use two pairs of M4*8 screws and T nuts to install the filament holder to the base about 140mm from the rear.



Installation section

(2) Select the correct voltage mode according to your local voltage ratings (~110V or ~220V). The switch is inside the power supply and **220V is default**. Hex keys can be used to move the switch inside. Finally, double check the wirings and plug in the power cord and switch on the printer.



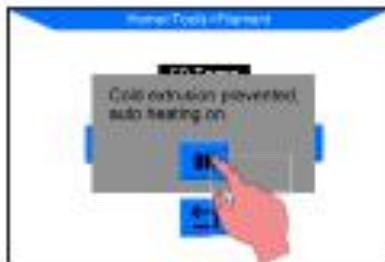
In some cases, 220V labeled as "230",
110V labeled as "115"

(3) Place the filament on filament holder, note the feeding direction of the spool.

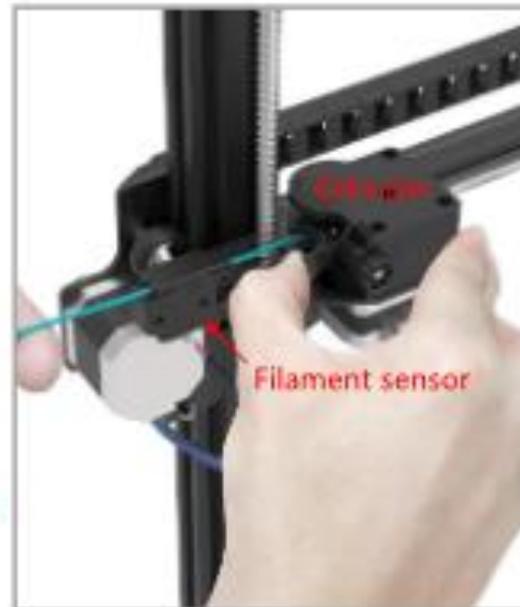


Installation section

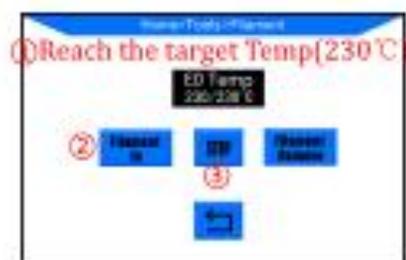
(4) **Install filament:** click "Tools"→ "Filament"→ "Filament in", and there will be pop-up window as shown below, click "OK". Straighten the end of filament, pass the filament through filament sensor, and then press the handle on the extruder and push the filament in until it just reach in the white Teflon tubing.



Note: When click "Filament in", the feeding speed maybe much faster than the normal speed. Sometimes it may be stuck in the Teflon tubing due to too much pushing. That is OK, indicating the filament has been reached in the Teflon tubing and you can stop feeding .



(5) During waiting, manually slide the print head to the left. When reaching to the target temperature (i.e. 230°C), click "Filament in" **again**, the extruder will automatically feed the filament in and the filament would be melted through the nozzle. Now, click "Stop" on the screen, you may use tweezers to clean the filament residue on the nozzle.



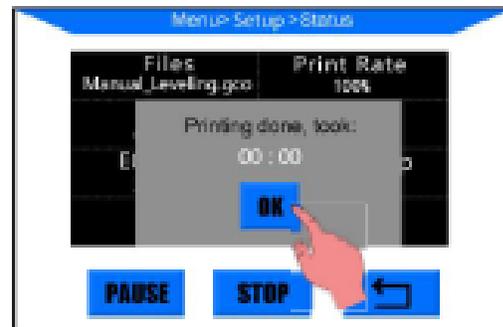
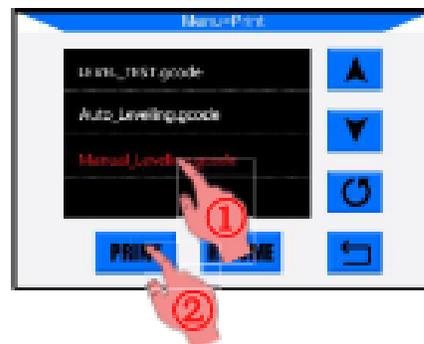
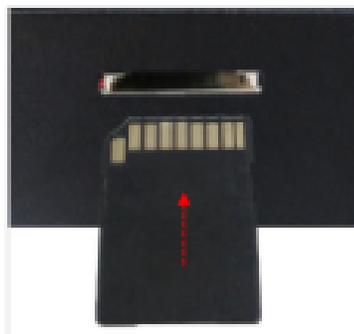
Use tweezers to clean filament residue

Leveling

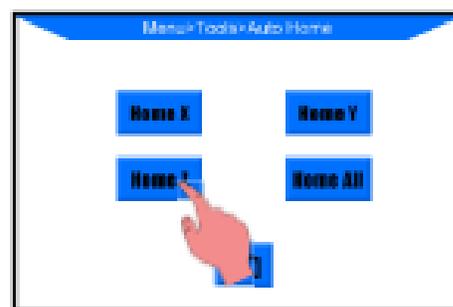
It is essential to level the platform of a 3D printer. There are two ways to level the Chiron, ① Manual Leveling (Default) & ② Assisted Auto Leveling. We suggest to use simple Manual Leveling first if you could get good results.

1、Manual Leveling

Step 1. Insert memory card into the slot at the bottom right side of the printer. On the Home Menu of the touch screen, click "Print", then choose the file "Manual_Leveling.gcode" and **print** it to set the machine to manual leveling mode. When printing done in seconds, click "OK" and return to the Home Menu.



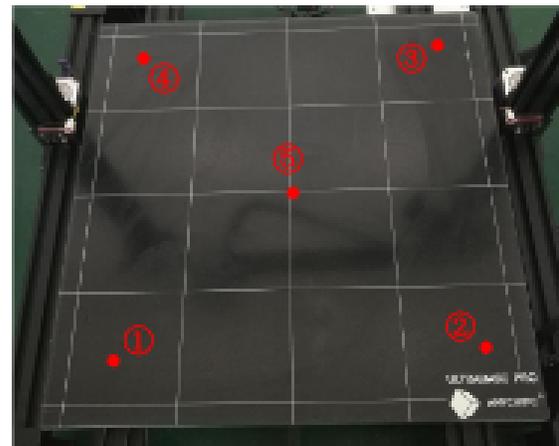
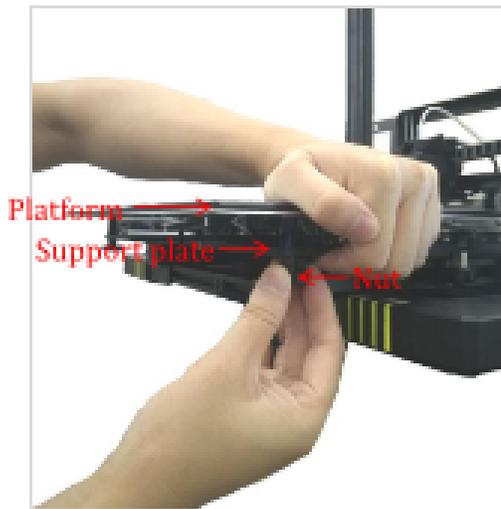
Step 2. Manually move the print head to the far left side until touch the X limit switch. Click "Tools" → "Home" → "Home Z".



Leveling

Step 3. (If the printer has been printed before leveling, please use tweezers to clean the residue on the nozzle, otherwise it would affect the leveling results.)

Put a piece of paper onto the print platform, and then manually move the print head and platform back and forth to let the print head travel to the 4 points and center spot one by one (①→②→③→④→⑤), as shown below. (Avoid nozzle rub against the platform directly without the paper in-between)



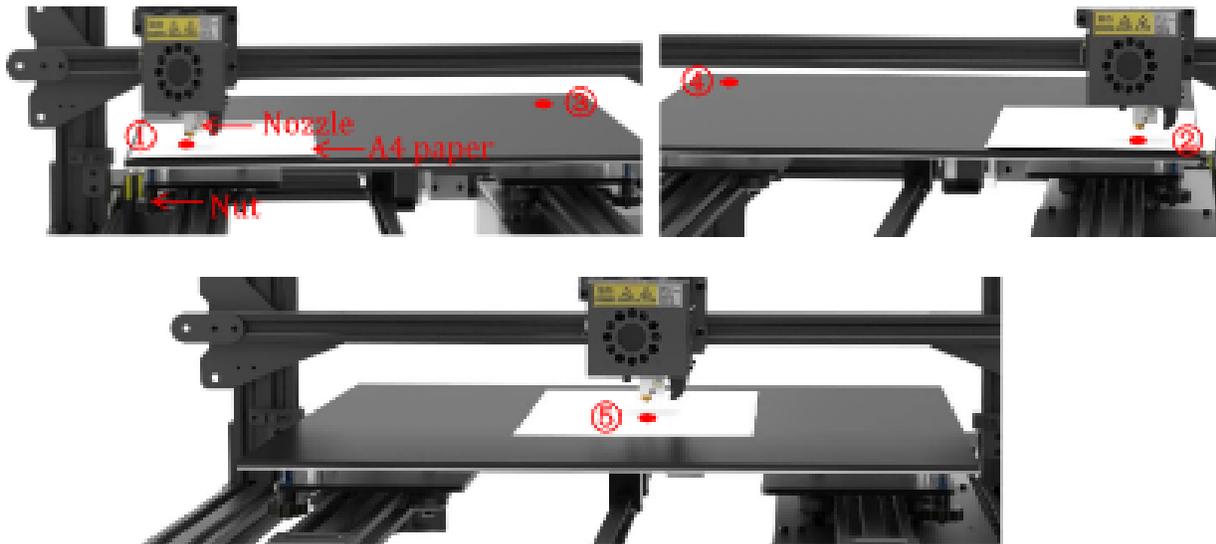
Step 4. When nozzle has been moved to point ①, press the platform and support plate, then manually adjust the corresponding nut underneath the print platform. **Loosen the nut clockwise, the platform rises. Tightened the nut counterclockwise, the platform descends.**

The purpose is to adjust the distance between nozzle and print platform to about a piece of paper thin (~0.1-0.2mm). Therefore, when just feel the drag resistance as pulling the paper around, it means good leveling for this particular point.

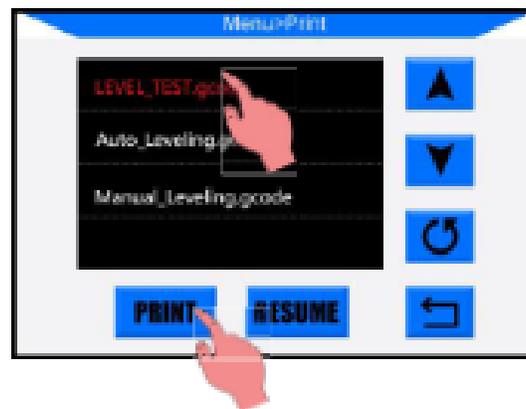
(Note: "just feel the drag resistance" means the paper can be moved, but with resistance)

Please do so to the rest points and center spot. Perform double check to ensure the results, and check the points in diagonal order: ①→③, ②→④.

Note: ANYCUBIC promise the nature levelness of the Ultrabase Pro is within 0.25mm because it is HUGE.



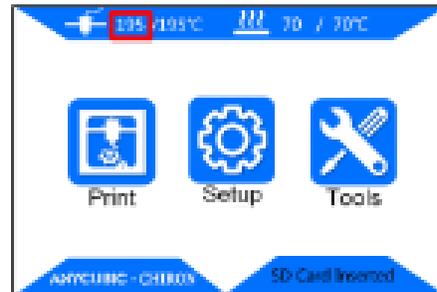
Step 5. Test print: On the Home Menu, click "Print", select "LEVEL_TEST.gcode" and then click "PRINT" to verify the leveling results. Refer to Page20&21 for more details, and it may need fine adjustment few times to achieve the best results.



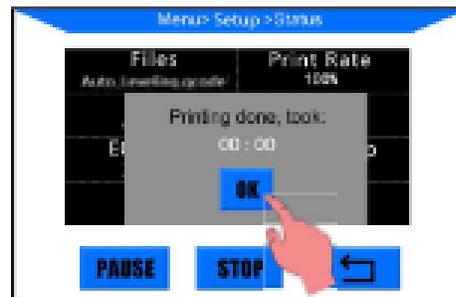
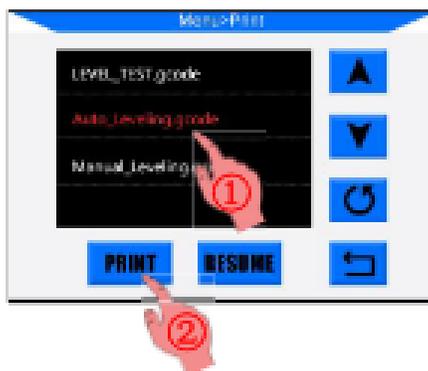
2. Assisted Auto Leveling **[Please read before action]**

Step 1. Before leveling, if the nozzle is hot and in order to **avoid burns** when installing the leveling sensor, it is highly recommended to **cool it down first**. Click "Tools" → "Cooling" on the screen, wait until the temperature in the highlighted box drops down to below 60°C before proceed with the leveling.

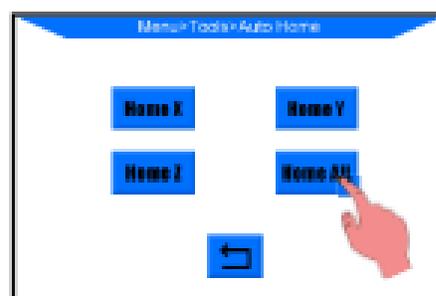
Leveling



Step 2. Click "Print" on Home menu, then choose and print the "Auto_Leveling.gcode" to set the machine to Assisted Auto Leveling mode. Click "OK" after printing done in second and return to the Home Menu.



Step 3. Click "Tools" → "Home" → "Home All", then install the leveling module as shown below.



Leveling

The signal line is connected to the port on top of the print head



The sensor is magnetically attached onto this steel block.

Step 4. Return to the Home Menu, click "Tools" → "More" → "Level" → "PROBE" and the screen will pop up messages as shown below. **Ensure the leveling sensor is installed firm and properly before click "OK"**.



Step 5. After click "OK", the machine will home all axis and probe 25 spots on the platform indicated by red spots below. The actually probe spots maybe slightly shifted due to installation differences but it would not affect the result. After probing and **before click 'OK'**, **remove the leveling sensor** (otherwise it maybe damaged during test printing)



Leveling

Due to the vibration from shipping or installation differences, factory nozzle height might be changed unpredictable. To avoid unnecessary first time frustration of nozzle rubbing against the Ultrabase Pro, the default nozzle offset of the test print has been purposely set a few millimeters (2~4mm) higher. Please follow the steps below to fine tune it.

Step 6. Test print : [Do not do test print until read to Page23] Remove the leveling sensor first, then click 'OK' to enter the "Print" interface. Choose and print the "LEVEL_TEST.gcode". The printer will automatically home and start printing when reaching to target temperature.



3. Fine adjustment

There might be 3 kinds of results for the first layer of the test prints : A-nozzle too high, B-nozzle too close, and C-proper nozzle height.

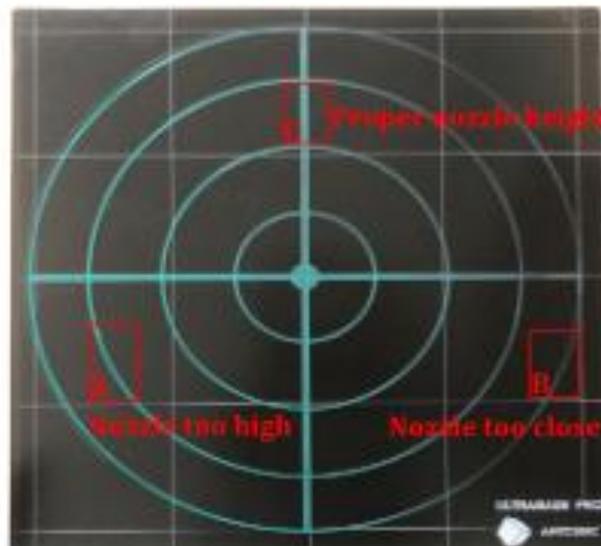
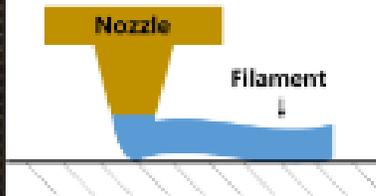


Figure.(1)

Leveling



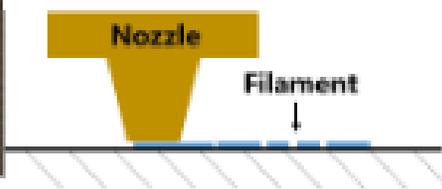
Nozzle too high



A: large gaps, filaments could not adhere to the platform



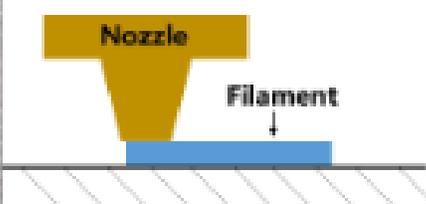
Nozzle too close



B: Lack of extrusion, the nozzle rub against the platform.



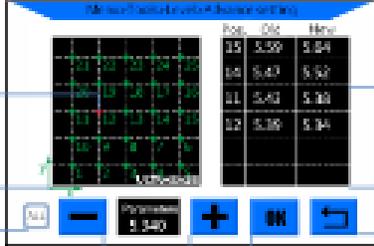
Proper nozzle height



C: Good extrusion and adhesion

When the nozzle is too high (close) from (to) the platform, it can be adjusted during or after the test print. It is suggested to adjust it during test print. **During test print, please return to Home Menu, click: "Tools" → "More" → "Level" → "ADVANCE SETTING".**

Leveling



The screenshot shows a leveling interface with a grid of spots on the left and a table of parameters on the right. The table has columns for 'No.', 'Old', and 'New'. The 'No.' column lists spots 15, 14, 11, and 12. The 'Old' column shows values 5.39, 5.47, 5.62, and 5.36. The 'New' column shows values 5.24, 5.52, 5.33, and 5.34. Below the grid are buttons for 'ALL', '-', '+', 'OK', and a return key.

No.	Old	New
15	5.39	5.24
14	5.47	5.52
11	5.62	5.33
12	5.36	5.34

Red dot(s) means the selected spot(s)

Corresponds to the position on the platform

Click to tick/untick all spots

Click '-' when nozzle is too high (0.05mm/click, **do not press continuously**)

Click '+' when nozzle is too close (0.05mm/click, **do not press continuously**)

Click OK to confirm the modification, otherwise the modified parameters are invalid

Selected spot/ Previous parameters /Modified new parameters

Maximum six modified parameters can be displayed here

Return

Nozzle Too high:

- ① for all spots: Click "ALL" and then click "-".
- ② for particular spots: Select **those** too-high-spots and click "-". As shown in **Figure(1)** Page20, you can simultaneously select the spots No.1, 10, 11, 20, 21 and click "-".

Nozzle Too close:

- ① for all spots: click "ALL" and then click "+".
- ② for particular spots: select those too close spots and click "+". As shown in figure(1) Page20, you can select the No. 5, 6, 15, 16 and 25 and click "+".

It is required to click "OK" after modification, otherwise the change will be invalid. You can click 'OK' after change all the parameters.

[VERY IMPORTANT]

- ① It is strongly suggested to use "LEVEL_TEST.gcode" testing the leveling results.
- ② Click "-" or "+" only once every time, do not press continuously to avoid nozzle hit the print platform.
- ③ After clicking "-" or "+", the modified command will not be run until the current buffer commands finished. The time for finishing the buffer commands would be vary due to different moving paths, so **please wait and allow** the buffer to finish.
- ④ Because the default nozzle offset has been set 2-4mm higher, **so initially it is OK to click "-" a few more times without unnecessary waiting.** You can always turn off the printer if pressing too much letting the nozzle hit the platform, then you can do the Assisted Auto Leveling again from Page 17. (**continue...**)

[VERY IMPORTANT]

...continue

⑤ If the nozzle directly hit and rub against the platform at the start of the test print, please just turn off and then turn on the power, go to the "ADVANCED SETTING" to increase the parameters 2-4mm for all spots, and then do the test print again to verify until nozzle no long hit platform.

⑥ Under "Assisted Auto Leveling" mode, the "ADVANCE SETTING" is functional both during printing and idle, but it is more interactive to adjust during test print. **But under "Manual Leveling" mode, the "ADVANCE SETTING" is disabled.**

It may need adjustment a few times before achieve satisfying results as shown in **Figure(2)** below.



Figure (2)