

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA



INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR,
MODALIDAD DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

“SISTEMA DE CONTROL REMOTO PARA IMPRESORA 3D”

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Producción Industrial y Tecnología Sostenible

AUTOR: Danny Javier Valenzuela Maila

DIRECTOR: Ing. Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD

Ibarra – octubre – 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003829106		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Valenzuela Maila Danny Javier		
DIRECCIÓN:	Río Yasuní 1-62 y Río Tahuando		
EMAIL:	djvalenzuelam@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062604664	TELÉFONO MÓVIL:	0989269499

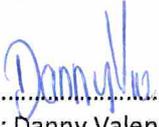
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Sistema de control remoto para impresora 3D
AUTOR (ES):	Valenzuela Maila Danny Javier
FECHA: DD/MM/AAAA	17/10/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 18 días del mes de octubre de 2023

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Danny Valenzuela

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 18 de octubre de 2023

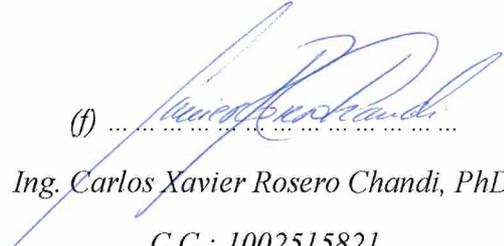
Ing. Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de titulación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Unidad Académica de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

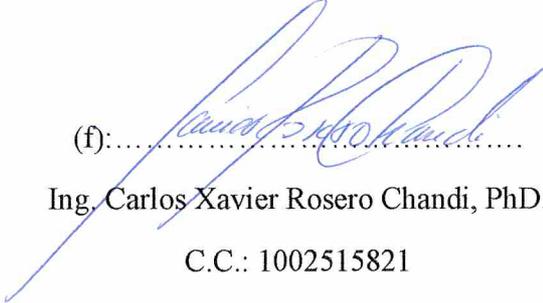
(f)


Ing. Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD.

C.C.: 1002515821

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Tribunal Examinador del trabajo de titulación “SISTEMA DE CONTROL REMOTO PARA IMPRESORA 3D” elaborado por Danny Javier Valenzuela Maila, previo a la obtención del título del Ingeniero en Mecatrónica, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f): 

Ing. Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD.

C.C.: 1002515821

(f): 

Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría, MSc.

C.C.: 1002641288

DEDICATORIA

A mis padres, por ser mis guías, mis consejeros y mis amigos, gracias por enseñarme el valor de la educación y por brindarme todo su apoyo para alcanzar mis metas académicas, su amor incondicional y sacrificio han sido esenciales en mi camino hacia el éxito.

A mis hermanos, por brindarme su apoyo moral en las noches de estudio y por ser una fuente constante de motivación, su presencia en mi vida ha sido un regalo invaluable y su apoyo ha sido fundamental para superar los desafíos que se presentaron durante esta investigación.

A mi familia en general, por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera académica. Su amor y aliento han sido una fuente constante de inspiración y motivación para alcanzar mis objetivos. sin su apoyo, este logro no hubiera sido posible.

No podría haber llegado hasta aquí sin su apoyo. ¡Gracias!

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios, por ser mi guía, mi inspiración y mi fortaleza. A mis padres por su incondicional apoyo, amor y sacrificio que fue necesario para alcanzar mis objetivos académicos y por estar a mi lado en cada momento de mi vida.

Agradezco también a mis hermanos, por su apoyo y comprensión durante este proceso, y por ser una fuente constante de motivación y conocimiento.

Agradezco a mis amigos y seres queridos, por su aliento y ayuda incondicional a lo largo de esta etapa de mi vida.

Agradezco a mis profesores en especial a mi tutor Ing. Xavier Rosero y asesor Ing. Cosme Mejía, por su guía, conocimiento y dedicación, que han sido fundamentales en mi formación académica.

Al Ing. Xavier Lima por su apoyo constante y por brindarme los recursos necesarios para llevar a cabo mi tesis. Su guía y mentoría me ayudaron a superar obstáculos y a alcanzar mis objetivos académicos.

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es implementar OctoPrint en un teléfono celular para controlar y monitorear una impresora 3D, además de los sensores BLTouch y de agotamiento de filamento. OctoPrint se utiliza para controlar la impresora 3D, ya que el dispositivo móvil funciona con el sistema operativo Android, específicamente Octo4a, y se monitorea desde un dispositivo móvil a través de la aplicación OctoRemote. La implementación de este sistema permite el control y monitoreo remoto de la impresora 3D, lo que resulta en una mayor comodidad y flexibilidad durante el proceso de impresión. Los sensores adicionales mejoran la precisión y la detección de problemas durante la impresión, lo que resulta en piezas impresas de mayor calidad. Durante las pruebas, se realizan varias impresiones utilizando diferentes materiales y configuraciones. OctoPrint opera de manera eficiente y estable, permitiendo un control preciso de la impresora 3D. Además, los sensores BLTouch y de agotamiento de filamento demuestran la importancia de su implementación, ya que evitan errores y optimizan el proceso de impresión. En conclusión, la implementación de OctoPrint en un teléfono celular, junto con los sensores BLTouch y de agotamiento de filamento, mejora significativamente el rendimiento y la calidad de las impresiones 3D. Este enfoque ofrece a los usuarios una mayor flexibilidad y control sobre sus impresoras, beneficiando tanto a entornos domésticos como profesionales.

Palabras clave: Control remoto, OctoPrint, impresora 3D.

ABSTRACT

The main objective of this work is to implement OctoPrint in a cell phone to control and monitor a 3D printer, in addition to the BLTouch and filament run-out sensors. OctoPrint is used for controlling the 3D printer, as the mobile device operates on the Android operating system, specifically Octo4a, and it is monitored from a mobile device through the OctoRemote application. The implementation of this system allows for remote control and monitoring of the 3D printer, resulting in greater convenience and flexibility during the printing process. The added sensors improve accuracy and problem detection during printing, resulting in higher-quality printed parts. Several prints are made using different materials and configurations during the tests. OctoPrint operates efficiently and stably, allowing precise control of the 3D printer. Furthermore, the BLTouch and filament run-out sensors demonstrate the importance of their implementation as they prevent errors and optimize the printing process. In conclusion, implementing OctoPrint on a cell phone, along with the BLTouch and filament run-out sensors, significantly improves the performance and quality of 3D prints. This approach offers users greater flexibility and control over their printers, benefiting home and professional environments.

Keywords: Remote control, OctoPrint, 3D printer.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Justificación	2
1.4. Alcance	3
CAPÍTULO II REVISIÓN LITERARIA.....	4
2.1. Estado del arte.....	4
2.2. Impresión 3D	7
2.2.1. Tecnologías de impresión 3D	8
2.3. Manufactura aditiva	9
2.4. Materiales utilizados en la impresión 3D.....	10
2.4.1. ABS	10
2.4.2. PLA.....	10
2.4.3. PETG	11
2.5. Partes de la impresora 3D	12
2.6. Sistema IoT	13
2.6.1. Sistema IoT en la impresión 3D	14
2.7. OctoPrint.....	15
2.7.1. Aplicaciones compatibles con OctoPrint para dispositivos móviles	16
2.7.2. OctoRemote for OctoPrint.....	16
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO.....	17
3.1. Modelo de investigación.....	17
3.2. Diseño de la investigación	17
3.3. Desarrollo e implementación del sistema	20

3.4.	Criterios y requerimientos para el desarrollo del proyecto Octo4a	21
3.5.	Fase 1 – Implementación de los sensores	22
3.5.1.	Tarjeta controladora.....	22
3.5.2.	BLTouch.....	22
3.5.3.	Final de filamento.....	23
3.6.	Fase 2 – OctoPrint.....	26
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS		33
4.1.	Pruebas del dispositivo	33
4.1.1.	Etapa de prueba 1	33
4.1.2.	Etapa de prueba 2	35
4.2.	Resultados.....	42
4.2.1.	Prueba de filamento.....	42
4.2.2.	Prueba de nivelación.....	42
4.2.3.	Prueba de control de temperaturas de impresión.....	43
4.2.4.	Prueba de control de motores	43
4.2.5.	Prueba de funcionamiento de la cámara	43
4.2.6.	Prueba de impresión de manera remota.....	43
4.2.7.	Prueba de aplicación móvil.....	44
4.2.8.	Prueba de consumo energético	44
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		45
5.1.	Conclusiones.....	45
5.2.	Recomendaciones	46
CAPÍTULO VI ANEXOS		51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Propiedades Mecánicas y Térmica del ABS [15].....	10
Tabla 2.2. Propiedades mecánicas y térmicas del PLA [20].	11
Tabla 2.3. Propiedades mecánicas y térmicas del PETG [22].....	11
Tabla 4.1. Variables monitoreadas y controladas.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Geeetech Prusa I3 X.....	4
Figura 2.2. Impresión de una vivienda aplicando impresión 3D.....	5
Figura 2.3. Modelo fundido de polea	7
Figura 2.4. Principio de funcionamiento de impresora 3D.....	9
Figura 2.5.Diagrama sobre el proceso de impresión 3D	9
Figura 2.6. Impresora 3D.....	12
Figura 2.7.Aplicaciones compatibles con OctoPrint	16
Figura 3.1. Sistema para implementar.	21
Figura 3.2. Diagrama general del sistema a implementar.	22
Figura 3.3. Placa Creality V4.2.7.	22
Figura 3.4. Tapa de la tarjeta controladora.....	23
Figura 3.5 .Conexión de los sensores a la placa controladora.	24
Figura 3.6. Pieza agregada para el sensor BLTouch (a) prototipo (b) pieza instalada... 24	
Figura 3.7. Pieza agregada para el sensor de final de filamento (a) prototipo (b) pieza instalada.....	25
Figura 3.8. Pantalla de la impresora actualizadas (a) sensor activado (b)software actualizado.....	25
Figura 3.9. Octo4a en dispositivo móvil.....	26
Figura 3.10. Pantalla inicial de Octo4a.....	27
Figura 3.11. Configuración de perfil – OctoPrint.....	28
Figura 3.12. Pantalla principal del sistema de control diseñado.	28
Figura 3.13. Configuración de IP de cámara.	29
Figura 3.14. Comprobación del funcionamiento de cámara.....	29
Figura 3.15. Visualización de impresora 3D en el sistema de control.	30
Figura 3.16. Creación del nuevo bot.....	30
Figura 3.17. Configuración del plugin de Telegram	31

Figura 3.18. Telegram comunicándose con la impresora 3D (a) comandos de comunicación (b) respuesta del sistema en Telegram.	31
Figura 4.1. Funcionamiento del sensor final de filamento (a) sensor con material (b) sensor sin material (c) alerta enviada a la pantalla de la impresora 3D.....	33
Figura 4.2. Matriz obtenida del sensor BL-Touch de la placa de impresión.....	34
Figura 4.3. Nivelación de cama con calibrador	35
Figura 4.4. Datos de nivelación tomados con el calibrador.....	35
Figura 4.5. Pantalla del sistema OctoPrint con temperaturas iniciales.....	36
Figura 4.6. Pantalla del sistema OctoPrint con temperaturas modificadas.	37
Figura 4.7. Temperatura medida sobre la cama de impresión por el termómetro infrarrojo.	37
Figura 4.8. Puntos de medición con el termómetro infrarrojo.....	38
Figura 4.9. Pantalla de movimiento de motores y previsualización de cámara.....	38
Figura 4.10. Prueba de calidad de imagen y fluidez de la cámara.	39
Figura 4.11. Documentos cargados en el Sistema OctoPrint.	40
Figura 4.12. Previsualización del proceso de impresión 3D por capas.	40
Figura 4.13. Interfaz de la aplicación móvil OctoRemote (a) pestaña de temperaturas, (b) pestaña de estado de impresión, (c) pestaña de control.	41
Figura 4.14. Consumo energético de impresora 3D con el sistema implementado.....	42

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Actualmente, la fabricación aditiva es usada cada vez con más frecuencia ya que facilita la construcción y obtención de prototipos rápidos de bajo costo; de igual forma ayuda en determinados procesos como la reproducción de partes o piezas con geometrías complejas o de difícil adquisición. Además, esta tecnología apoya al crecimiento en todo tipo de industrias como electrónica, biotecnológica, médica entre otros [1].

En Ecuador, estudiantes relacionados con la ingeniería deciden adquirir una impresora 3D, con la finalidad de desarrollar proyectos tecnológicos en beneficio de la sociedad. Cabe recalcar que antes estas impresoras eran de difícil adquisición y tenían costos sumamente elevados, hoy en día estas existen en gran variedad y es considerada una tecnología viable económicamente [2].

La Universidad Técnica del Norte cuenta con el Laboratorio de Manufactura de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica la misma que dispone de impresoras 3D. Estas máquinas pueden fabricar elementos de medianas dimensiones, pero esto conlleva a que pueden demorarse alrededor de 48 horas o más imprimiendo, lo que se torna casi imposible para el ser humano controlar todo el proceso de impresión sin moverse de la estación de trabajo.

Dentro del laboratorio mencionado anteriormente, a menudo se llevan a cabo impresiones de prototipos con diferentes dimensiones. En muchos de los casos se originan fallas al momento de la fabricación aditiva tales como despegarse de la cama de impresión, problemas en el código G, pequeños aspectos que el operario omite en el diseño. Estas fallas no son detectadas por sí mismas, lo que produce que la impresora siga expulsando material como si estuvieran imprimiendo con normalidad. En varias ocasiones esto termina estropeando gravemente la impresora generando pérdidas representativas tanto en componentes de esta como de material de impresión, por lo tanto, es evidente que la implementación de un sistema que monitoree el proceso de impresión 3D, que controle ciertas variables y las diferentes funciones de la máquina de manera remota es necesario.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema de control remoto para una impresora 3D por modelado de deposición fundida.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar las variables a monitorizar y controlar en una impresora 3D.
- Diseñar el sistema de adquisición de datos y hardware para la interconexión con el sistema remoto a implementar.
- Implementar el sistema diseñado
- Validar el sistema implementado

1.3. Justificación

En la actualidad es necesario crear y promover una sociedad sostenible basada en las nuevas tecnologías de prototipado rápido, debido a que existe un crecimiento en todo tipo de industrias es fundamental adaptar y usar tecnología escalable que genere un crecimiento de calidad sin necesidad de dejar de ser eficiente [3].

La impresión 3D en el laboratorio de Ingeniería Mecatrónica es empleada frecuentemente ya que ofrece un abanico de propuestas didácticas para los estudiantes y docentes que llevan a cabo distintas investigaciones, además de innovar en nuevos métodos de aprendizaje [4].

La necesidad de implementar un sistema remoto de control para la impresora 3D del Laboratorio de Manufactura de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica es evidente, ya que ayudaría a reducir los costos de material de impresión al igual que de repuestos por daños debido a impresiones fallidas, además del tiempo que se emplea para la fabricación de determinados diseños funcionales los cuales tienden a durar 24 horas o más en imprimirse.

El control del proceso de impresión ayudaría a ahorrar material de manera significativa siempre y cuando la impresión haya presentado errores. La manufactura por adición de capas puede verse afectada por varios factores externos a la impresora como lo son la calidad del material usado, la humedad presente en el ambiente de trabajo, la

irregularidad de la superficie de trabajo o incluso la intervención accidental de algún objeto o persona.

De acuerdo con lo antes mencionado, el desarrollo de este proyecto no solo beneficiará a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica sino también a los estudiantes de las carreras de Ingeniería Textil e Ingeniería Industrial de la Universidad Técnica del Norte ya que ellos suelen hacer uso de la impresora 3D. Este sistema le brindaría confianza al operario de controlar la máquina de manera remota, ya que podrá verificar el correcto avance del proceso de impresión de tal manera que visualizará en tiempo real el proceso y de ser necesario, podría detener el proceso.

1.4. Alcance

El presente proyecto permitirá mantener un control remoto del proceso de impresión de una impresora 3D, para ello se implementará sensores que permitan detectar la ausencia de material de impresión y verificar la correcta calibración de la cama de impresión, las mismas que son variables críticas en el proceso de impresión y además una cámara que ayudará a visualizar el estado del proceso en tiempo real.

Todos estos datos se enviarán a un sistema remoto basado en OctoPrint el cual es un software de código abierto que permitirá implementar las nuevas funcionalidades requeridas para que el sistema de control remoto sea completo.

El sistema remoto presentará una interfaz diseñada para el efecto, al finalizar el operario podrá saber el estado del proceso de impresión en el computador y recibirá notificaciones del proceso de impresión en su dispositivo móvil, controlará los diseños a imprimir y su ejecución.

Recibirá alertas en caso de alteraciones de variables de impresión o de los sensores instalados y podrá controlar la impresora.

Se realizarán pruebas correspondientes a cada una de las funcionalidades a implementar.

CAPÍTULO II

REVISIÓN LITERARIA

2.1. Estado del arte

El conocimiento en ciertas áreas de la industria muchas veces es limitado ya que al momento de visualizar diseños tridimensionales la única forma mediante un computador, pero esto no es suficiente para la industria e incluso para fomentar el aprendizaje; por ello la necesidad de implementar un prototipo de impresora 3D es evidente ya que puede ser controlada por un computador o inalámbricamente con ayuda de un módulo bluetooth. Para ello, se realizaron las adaptaciones necesarias en una impresora 3D Prusa I3 X como se muestra en la Figura 2.1, además se insertó el módulo para tener control de esta mediante un dispositivo móvil y una aplicación gratuita desarrollada en App Inventor. Como resultado, brindó la oportunidad de desarrollar habilidades de diseño de forma integral y productiva, otorgando la capacidad de perfeccionar un diseño o prototipo 3D con costos mucho menores a los tradicionales [4].



Figura 2.1. Geeetech Prusa I3 X [5].

Un artículo científico desarrollado en Quito – Ecuador presentó los factores primordiales que inciden en la implementación de técnicas de prototipado rápido en empresas dedicadas al diseño de mobiliaria, para ello se realizó un análisis de campo en empresas y a personas a fines, además, se determinó la factibilidad de implementación del prototipado rápido así como la influencia de diferentes factores que impiden la

implementación de la misma mostrando evidencia de lo antes mencionado y finalmente se llega a la conclusión de que dicha tecnología es importante dentro de la industria del diseño mobiliario y se demostró la oportunidad de mercado que brindaría esta tecnología [6].

En impresión 3D existe una variedad de materiales en el mercado a nivel mundial, estos sirven para distintas aplicaciones y por ende tienen disímiles componentes de fabricación [7]. Los filamentos más comunes son el ácido poliláctico (PLA), poliuretano termoplástico (TPU), tereftalato de polietileno glicol (PETG) y acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). Estos materiales tienen diferentes propiedades mecánicas y provocan daños a la impresora 3D ya que deben alcanzar temperaturas de fundición superiores a los 240 °C, estas temperaturas y la fricción del material e incluso errores de calibración pueden provocar averías de los componentes de las máquinas de impresión 3D como en el Hot End. Para ello se propone desarrollar un sistema multicabezal para optimizar el tiempo de impresión y ahorro de material, además de evitar daños provocados por el cambio repentino de filamento en las impresoras 3D [8].



Figura 2.2. Impresión de una vivienda aplicando impresión 3D [10].

La impresión 3D ha revolucionado el mundo considerablemente, una clara e importante muestra es el caso de la construcción de viviendas en estos últimos años como se muestra en la Figura 2.2, ya que la construcción de domicilios gracias a esta tecnología es más asequible. Se aplicó la metodología “DESIGN THINKING” para analizar los beneficios que conlleva el uso de la impresión 3D en el sector de la construcción en Colombia, puesto que la tecnología de modelado por deposición fundida (FDM) ayudó

con la fabricación de viviendas en menos de 24 horas a un costo sumamente bajo, también se comprobó cual sería el terreno óptimo para la implementación de este proyecto [9].

La actualización o retro adaptación de impresoras 3D inspirada en modelos de bajo costo, usualmente usan piezas construidas con otras máquinas como lo son cortadoras láser, máquinas CNC, impresoras 3D. En la mayoría de las ocasiones lo que se busca es mejorar la estructura física de la máquina y de igual forma el software de la impresora, esto se logra introduciendo una interfaz web para tener el control total de la impresora de manera remota y así llevar seguimiento en tiempo real a las impresiones u operaciones que se estén ejecutando. Se realizó una calibración completa de la máquina y verificación del correcto funcionamiento de los sensores implementados. Lo cual dio como resultado una opción sustentable para reactivar la máquina en desuso, obteniendo buenas piezas de impresión y como material potencial de aprendizaje relacionado con la fabricación aditiva, creatividad, innovación y la representación práctica de soluciones a estudiantes y docentes [11].

Actualmente los sistemas de fabricación aditiva y creación de prototipos se han asociado a tecnologías de automatización o sistemas de internet de las cosas (IoT). Las impresoras 3D que tienen softwares antiguos tienden a ser ruidosas e ineficientes, por ello se propuso readaptar una impresora 3D de software libre y de bajo costo; esta impresora 3D tiene partes que fueron impresas en otras máquinas (FDM), con el objetivo de reducir costos buscando mejorar la estructura física. Para la readecuación del software se implementó el sistema de control remoto OctoPrint que ayuda a tener control completo de la impresora 3D en tiempo real. Finalmente se validó la readecuación y se calibró la máquina presentando un perfil sustentable al reactivar un equipo en desuso y a fomentar los procesos de enseñanza y aprendizaje en estudiantes y docentes [12].

La construcción de modelos utilizando tecnología FDM permite la construcción completa de un modelo a partir de un archivo digital como se visualiza en la Figura 2.3, por consiguiente, esta tecnología actualmente es muy recurrida y tiene buena acogida, puesto que es una clara muestra de que la tecnología es un recurso para ayudar a la comunidad a captar conocimiento de manera sencilla y práctica. Dentro del proceso de fabricación de un modelo se conoce que se debe tomar en cuenta muchos parámetros de impresión ya que pueden influir considerablemente en la construcción, además existen condiciones ambientes que se debe tener en cuenta al momento de llevar a cabo una

impresión 3D ya que pueden dañar el material de impresión o a su vez la impresora misma [13].



Figura 2.3. Modelo fundido de polea [10].

La técnica de Impresión 3D cuenta con una gran precisión y velocidad en la fabricación de piezas plásticas o prototipos funcionales. Estas cualidades han permitido a esta técnica expandirse a áreas como la medicina, la ingeniería, la gastronomía y más. La fabricación aditiva ha permitido reemplazar piezas fabricadas con métodos tradicionales ya que tienen costos de fabricación muy altos o a su vez no son muy comunes por ejemplo acoples estructuras de rodamientos, etc. Las máquinas que son readecuadas con estos elementos deben ser calibradas y tener una tolerancia entre +0.4 y +0.6 mm el cual es un rango aceptable y común entre las impresoras del mercado [14].

La impresión 3D se ha utilizado para construir sistemas de depósitos de semiconductores orgánicos embebidos para lo cual se han requerido elementos existentes en el mercado y una readecuación del software de una impresora 3D. El proceso se realizó basándose en una impresora 3D convencional y se modificó el actuador, instalando un sistema de depósito tipo rodillo de acero inoxidable para evitar que el material semiconductor orgánico sufra alteraciones en sus propiedades y el control de este se realizó por un panel LCD [15].

2.2. Impresión 3D

Gracias a la globalización del mercado, se ha generado una gran competencia entre empresas, mercados y productos promoviendo de esta manera el uso en las industrias de modelos flexibles de producción a través de la inclusión de tecnologías que permitan la fabricación de objetos en tres dimensiones [16]. Una de las tecnologías

actualmente empleadas es la impresión 3D. La impresión 3D se considera una alternativa rápida y de bajo costo frente a técnicas más tradicionales de manufactura, además permite la creación de instrumentos, herramientas y estructuras altamente especializadas, con diseños sumamente complejos y materiales a elegir entre una amplia gama de posibilidades.

La Fabricación Digital o impresión 3D permite materializar objetos a partir de archivos digitales, utilizando una máquina controlada por una computadora. Gracias a este mecanismo se logran varias ventajas, como mejorar procesos de diseño, obtener piezas personalizadas y reducir costos de producción. La Fabricación Digital o impresión 3D permite materializar objetos a partir de archivos digitales, utilizando una máquina controlada por una computadora [17]. Gracias a este mecanismo se logran varias ventajas, como mejorar procesos de diseño, obtener piezas personalizadas y reducir costos de producción. Existen varias técnicas de impresión, así como también diferentes materiales.

Las impresoras 3D suelen clasificarse, según su uso y prestaciones, en domésticas (o de escritorio) e industriales, muchas impresoras utilizan tecnología aditiva las cuales son utilizadas para fundir un material plástico. Otras impresoras utilizan la tecnología sustractiva, este tipo de máquinas pueden realizar esculturas a partir de un bloque macizo [18].

La invención de la impresión 3D apunta a dos objetivos principales: reducir el tiempo necesario para obtener la primera versión de un producto y eliminar varias restricciones de los métodos de producción tradicionales. Por ejemplo, gracias a la impresión 3D se produce geometrías complejas, partes interconectadas sin ensamblado y objetos individuales a bajo costo [19]. En los últimos años, la impresión 3D ha ganado protagonismo, sin embargo, está lejos de ser una tecnología completamente nueva, ya que ha sido utilizada en diferentes campos desde hace tiempo. Adicionalmente, nuevas impresoras 3D aparecen en el mercado, gracias a la apertura que tienen hacia el público en general y no únicamente a profesionales.

2.2.1. Tecnologías de impresión 3D

- *Aditivas:* Se basan en la superposición de un material, capa a capa, hasta llegar a la forma final de la pieza.
- *Sustractivas:* a partir de un bloque sólido de material, se extrae el exceso para dar forma a la pieza final.

- *Híbridas*: Combinan dos o más de estas tecnologías.
- *Por conformado*: A través de una serie de transformaciones sobre el material, este se modela en función de la forma buscada utilizando fuerza y moldes.

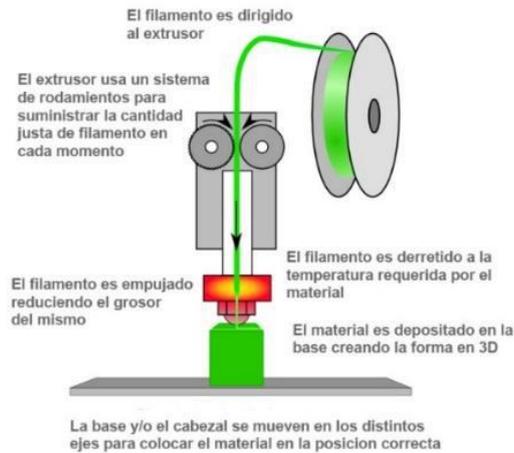


Figura 2.4. Principio de funcionamiento de impresora 3D [20].

En la Figura 2.4 se observa de manera detallada el funcionamiento de la parte más importante de la impresora 3D el HotEnd, este es el encargado de fundir el material y depositarlo sobre la superficie de impresión creando así capa por capa el objeto previamente diseñado.

2.3. Manufactura aditiva

En el campo de la impresión 3D, la manufactura asistida es el proceso de unificar materiales obteniendo de esta forma un objeto modelado en 3D, mediante la técnica capa sobre capa haciendo uso de programas de diseño asistido por computador [21]. Por consiguiente, existen varias tecnologías de fabricación aditiva las cuales difieren en el material utilizado, sin embargo, todas derivan del mismo principio mediante el uso de impresoras 3D.

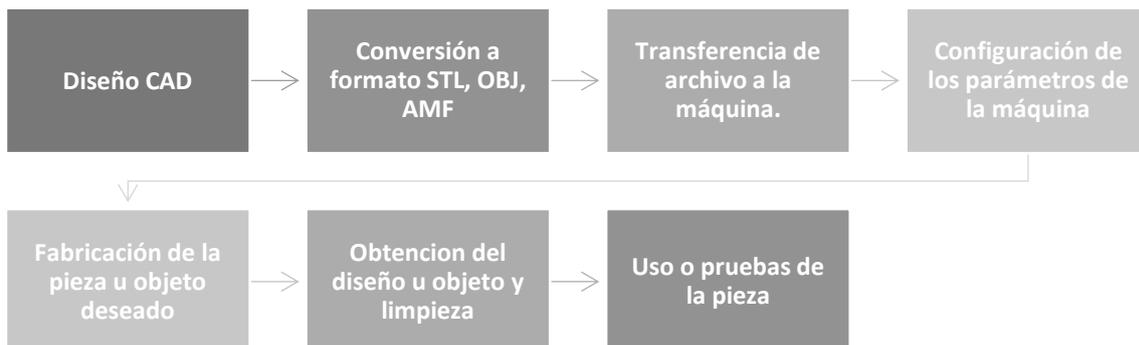


Figura 2.5. Diagrama sobre el proceso de impresión 3D [22].

Por lo tanto, se define a una impresora 3D como una máquina diseñada para crear objetos físicos o maquetas volumétricas, con un ahorro importante en los tiempos y en materiales a través de la manufactura o proceso aditivo [22]. Las impresoras 3D realizan siete actividades secuenciales para obtener una pieza, las cuales se detallan en la Figura 2.5.

2.4. Materiales utilizados en la impresión 3D

Existen varios tipos de materiales disponibles para la impresión 3D, cada uno con características específicas de acuerdo con el uso funcional que se requiera de la pieza a imprimir [23]. Las impresoras 3D trabajan con filamentos hechos de material termoplástico, el cual se derrite al salir del extrusor, siendo los materiales más comunes y utilizados el ABS y PLA. Sin embargo, existen otros materiales utilizados en la industria como el PC o Policarbonato, Nailon, Resina, entre otros.

2.4.1. ABS

El ABS es el material más utilizado en la industria de la impresión 3D, está compuesto por acrilonitrilo, butadieno y estireno [24]. Tal como se indica en Tabla 2.1, es un material idóneo reutilizable por sus características mecánicas y térmicas así por como la versatilidad y amplio rango de condiciones de trabajo ya que resiste las más altas temperaturas, pero no es un material biodegradable.

Tabla 2.1. Propiedades Mecánicas y Térmica del ABS [15].

Propiedades Mecánicas		Propiedades Térmicas	
Tensión de rotura (MPa)	40	Temperatura de extrusor (C°)	230-260
Alargamiento a la rotura (%)	30	Temperatura de plataforma (C°)	80-100
Resistencia a la flexión (MPa)	68	Cámara	-
Módulo de elasticidad (GPa)	1,5 – 3,5	Velocidad de impresión (mm/s)	30-60

2.4.2. PLA

El ácido poliláctico o PLA es el material biodegradable más popular en la industria debido a que es un polímero muy versátil porque está hecho de materiales ricos en almidón como el trigo, maíz, remolacha, entre otros; por esta razón no desprende olores

desagradables como otros materiales [25]. Es muy utilizado por las personas que son nuevas en el mundo de la impresión 3D debido a que es fácil imprimir.

La principal diferencia con otros filamentos es su precio y sobre todo no necesita de una plataforma de calefacción para imprimirse [26]. En la Tabla 2.2 se especifican las características principales del PLA.

Tabla 2.2. Propiedades mecánicas y térmicas del PLA [26].

Propiedades Mecánicas		Propiedades Térmicas	
Tensión de rotura (MPa)	45	Temperatura de extrusor (C°)	190-220
Alargamiento a la rotura (%)	3 -7	Temperatura de plataforma (C°)	50-70
Resistencia a la flexión (MPa)	50	Cámara	190-220
Módulo de elasticidad (GPa)	2,7 – 4	Velocidad de Impresión (mm/s)	30-60

2.4.3. PETG

El Polietileno Tereftalato es uno de los materiales fáciles de impresión 3D, tiene características similares al PLA, no obstante, sus propiedades mecánicas son mejores como se detalla en la Tabla 2.3. Gracias a la presencia del glicol, hace que el PET modifique sus propiedades convirtiéndolo en un filamento dúctil, menos quebradizo, ocasionando que no se deforma fácilmente, convirtiéndose así en una gran competencia frente al ABS [27].

Tabla 2.3. Propiedades mecánicas y térmicas del PETG [29].

Propiedades Mecánicas		Propiedades Térmicas	
Tensión de rotura (MPa)	55	Temperatura de extrusor (C°)	220-250
Alargamiento a la rotura (%)	2 -5	Temperatura de plataforma (C°)	60-80
Resistencia a la flexión (MPa)	70	Cámara	190-220
Módulo de elasticidad (GPa)	2,1 – 2,7	Velocidad de Impresión (mm/s)	30-60

El PETG no genera gases nocivos al imprimir y es 100% reciclable, sin embargo, el olor suele ser más fuerte que el PLA. Además, tiene una excelente adhesión a la capa lo que permite a que sea menos propenso a deformarse [28]. Es recomendable utilizar filamento PETG para la impresión de piezas o productos que tengan que soportar

esfuerzos sostenidos o repentinos. En la Tabla 2.3 se muestran las propiedades mecánicas y térmicas pertenecientes al PETG.

2.5. Partes de la impresora 3D

De acuerdo con el modelo y marca de las impresoras, las partes pueden variar. En este caso se hará énfasis en las principales partes de la impresora que se encuentra en el Laboratorio de Mecatrónica marca CREALITY [30].

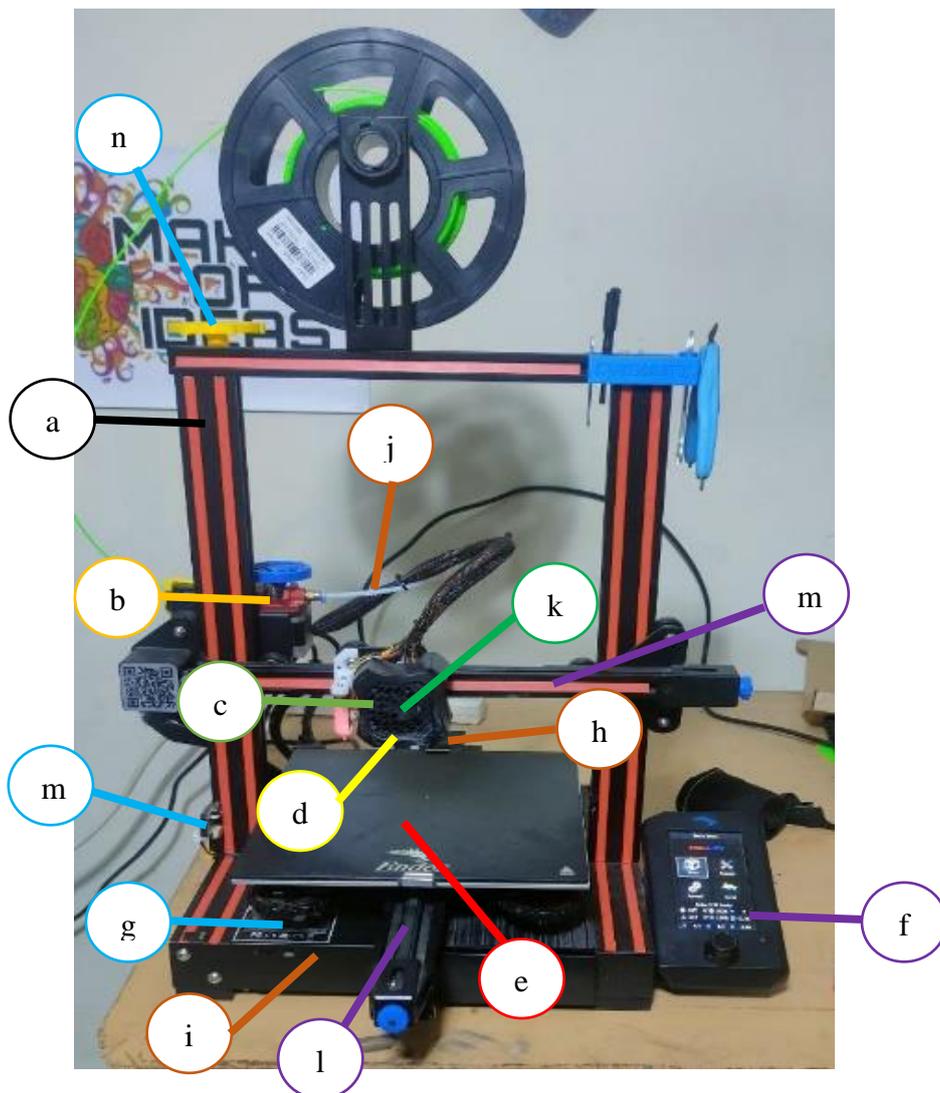


Figura 2.6. Impresora 3D.

En la Figura 2.6 se indican las partes de la impresora 3D mediante círculos con letras que se detallan a continuación:

- a) *Marco*: Soporte principal que contiene los elementos eléctricos y mecánicos de la impresora 3D.

- b) *Extrusor*: Pieza que empuja y tira el filamento hacia la boquilla hasta fundirlo y crear la pieza 3D mediante el proceso de fabricación aditiva.
- c) *Hotend*: También llamado fusor, es la parte encargada de fundir el filamento.
- d) *Boquilla o nozzle*: Pieza por donde sale el filamento fundido. En la Ender 3 Pro, la boquilla es hecha de latón.
- e) *Cama*: Superficie plana que genera calor y se encarga de ayudar a adherir las piezas a la plataforma durante la impresión.
- f) *Pantalla*: Interfaz que permite al usuario monitorear y ajustar las condiciones de impresión deseada.
- g) *Fuente de alimentación*: Unidad que suministra energía.
- h) *Motores paso a paso*: Permiten el movimiento de las diferentes partes de la impresora en los ejes X, Y & Z.
- i) *Tarjeta madre*: Cerebro de la máquina que controla los movimientos y acciones de la impresora.
- j) *Tubo Bowden*: Hecho de PTFE (politetrafluoroetileno), facilita a que el filamento se desplace suavemente entre el extrusor y el HotEnd, permitiendo una impresión de mayor calidad.
- k) *Ventiladores*: Se encarga de enfriar el filamento recién depositado para que la pieza rápidamente se solidifique y el plástico fundido no se deforme.
- l) *Bandas dentadas*: También conocida como banda de tiempo, convierte un movimiento rotacional del motor a un movimiento lineal.
- m) *Rieles*: barras o guías que permiten el movimiento preciso y uniforme del cabezal de impresión y depositar el material adecuadamente.
- n) *Tornillo sin fin*: Conocido también como husillo sin fin, controla a través de un motor paso a paso el movimiento vertical del cabezal de impresión.
- o) *Sensores de final de carrera*: Dispositivos electrónicos que detectan la posición de los ejes X, Y & Z de la impresora, los cuales de manera automática detienen el movimiento del eje cuando llegue a su límite. La impresora Creality tiene un total de 3 finales de carrera: 1 para el eje X, 1 para el eje Y y 1 para el eje Z.

2.6. Sistema IoT

IoT o Internet de las cosas es una arquitectura emergente, basada en la interconexión en red de objetos cotidianos, que llevan consigo algún tipo de inteligencia, logrando de esta manera una mayor percepción de la información ya que permite el

intercambio de bienes y servicios entre todos los elementos, máquinas, objetos incluso personas conectados a la red [31]. Su principal objetivo es la comunicación directa entre dispositivos y el usuario, así como la recolección de información.

Actualmente el sistema IoT ofrece nuevas oportunidades de acceso a la información en diferentes áreas como en la ingeniería, educación, transporte, asistencia sanitaria entre otros, convirtiéndose en un punto clave para generar grandes ingresos y por consiguiente aumentando la productividad de las empresas.

Su utilidad es ilimitada, varios estudios demuestran que la arquitectura IoT ha sido una parte fundamental en varios proyectos que buscan resolver problemas que requieren del uso de la tecnología y la conexión a la información como el desarrollo de ciudades inteligentes, aplicaciones domóticas, conectividad inteligente, electrónica de consumo, Smart Cars, monitoreo de enfermedades crónicas, conectividad inteligente, medición y control de la contaminación del medio ambiente, compras inteligentes, entre muchas otras aplicaciones [32]. La conexión de un sistema IoT se lleva a cabo en cuatro pasos:

- Captación del dato: Los sensores obtienen datos del origen físico.
- Comunicación y envío: Los datos son enviados a una plataforma o software que se encargará de almacenarlos y organizarlos.
- Tratamiento de datos: Mediante algoritmos se definen los patrones de análisis.
- Definición de protocolos: Acciones de valor.

2.6.1. Sistema IoT en la impresión 3D

Pérdida de material, fallos en las piezas impresas, tiempos de impresión muy altos y sobrecalentamientos son algunos de los problemas que se generan durante los procesos de impresión, una de las soluciones tradicionales es la vigilancia continua del operario o usuario para detectar fallos en todo el proceso [33]. Los fallos en las piezas impresas deben ser minimizados o eliminados cuando estas piezas sean utilizadas en áreas sensibles como la mecánica, medicina, industria aeroespacial, entre otras.

El Internet de las cosas (IoT) y la impresión son tecnologías innovadoras que tienen un impacto positivo en el área industrial [34]. La combinación de estas dos tecnologías es primordial para una mayor eficiencia y productividad en la obtención de objetos en 3D ya que permiten desarrollar una red de máquinas que se comunican entre sí y compartir datos. Así mismo, se pueden crear de objetos a partir de diseños digitales haciendo uso de sensores. Gracias a las capacidades de conexión inalámbrica de las

impresoras y la implementación de la arquitectura IoT se puede verificar el funcionamiento de la impresora desde cualquier lugar a través de la red doméstica.

Actualmente la mayoría de las impresoras 3D tiene un sistema de monitoreo incorporado debido a la presencia de un sensor ubicado alrededor de la boquilla que detecta la ausencia de material o fallas de la boquilla; no obstante, este sistema de monitoreo es insuficiente [35]. Para obtener una forma más amplia de monitoreo, una impresora 3D puede ser combinada con sensores y cámaras externas que obtienen datos sobre el proceso de impresión.

Mediante el análisis de los datos del proceso de impresión 3D se obtienen diferentes beneficios como:

- Mejora de los procesos de fabricación y calidad de productos.
- Monitoreo remoto en tiempo real.
- Mayor seguridad de la máquina.
- Mantenimiento oportuno de las impresoras 3D.

2.7. OctoPrint

OctoPrint es una herramienta Open Source desarrollada en el 2012 que le permite al usuario interactuar con la impresora mediante la red, tiene la capacidad de controlar, supervisar mediante cámaras y/o enviar el código G desde un navegador web en tiempo real [36]. A través de esta aplicación se pueden administrar las impresiones de forma remota y controlar el proceso de impresión, es ampliamente utilizada en todo el mundo y completamente gratuito.

Las principales ventajas de OctoPrint son:

- Cargar los códigos G sin necesidad de estar cerca de la impresora 3D
- Control absoluto de la impresora 3D
- Seguimiento del trabajo y monitorización
- Reajustar parámetros si es necesario
- Multiplataforma
- Iniciar la impresión a través de WiFi.
- Compatibilidad con la mayoría de las impresoras 3D

2.7.1. Aplicaciones compatibles con OctoPrint para dispositivos móviles

OctoPrint no cuenta con aplicaciones oficiales para dispositivos móviles, sin embargo, existen aplicaciones compatibles con OctoPrint, como se indica en la Figura 2.7.



Figura 2.7. Aplicaciones compatibles con OctoPrint.

2.7.2. OctoRemote for OctoPrint

OctoRemote es una aplicación Android que emula las funcionalidades de OctoPrint en un dispositivo móvil. A través de esta aplicación el usuario monitorea y controla la impresora 3D desde cualquier sitio dentro de su rango Wi-Fi. Posee bibliotecas de código abierto y una interfaz de usuario [37]. A continuación, se detallan, las características principales de OctoRemote:

- **Fácil configuración:** Se conecta a OctoPrint usando la clave API y la dirección IP de instancia.
- **Interfaz amigable con el usuario:** Tiene diferentes pestañas y funciones como temperatura, lapso terminal (código G). El usuario puede utilizar la app sin necesidad de aprender una nueva plataforma.
- **Vista de impresiones en tiempo real:** Desde el dispositivo móvil, y a través de la pestaña de control, el usuario puede visualizar el estado de las impresiones.
- **Control de impresión en tiempo real:** Mediante OctoRemote se puede iniciar, pausar y cancelar las impresiones.
- **Envío de notificaciones:** La app envía notificaciones al dispositivo móvil sobre eventos importantes del proceso de impresión.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Modelo de investigación

El presente trabajo de titulación se basa en un modelo de investigación documental ya que se requerirá investigar en repositorios universitarios, libros, artículos científicos. Esta metodología permitirá conocer más a fondo sobre la impresión 3D, puntos importantes de un sistema de control remoto y sistemas IOT relacionados con la impresión 3D. Adicionalmente se llevará a cabo una metodología de investigación descriptiva ya que se necesita recopilar información de determinados elementos necesarios para la modificación e implementación del sistema de control remoto para impresora 3D.

Por último, en el trabajo se utiliza el modelo de investigación aplicada, que busca controlar las distintas funciones de una impresora 3D de forma remota, basado en sistemas IOT compatibles con la impresión 3D y en concordancia con el objetivo principal.

3.2. Diseño de la investigación

En este capítulo se describe las fases correspondientes al desarrollo del sistema de control remoto para impresora 3D.

Fase 1. Identificación de las variables a monitorizar y controlar en una impresora 3D.

En esta etapa se conoce el funcionamiento de una impresora 3D, además se estudian los distintos sensores que la conforman, se indaga acerca de los sistemas IOT compatibles con el Modelado por Deposición Fundida de código abierto.

- Actividad 1: Investigación de la literatura sobre Tecnología de Adición por Capa. En esta actividad se busca información para conocer el funcionamiento de elementos electrónicos, sensores y características de la máquina para identificar sus debilidades, con el fin de mejorarlas para obtener óptimas impresiones en 3D.
- Actividad 2: Investigación acerca de sistemas de control compatibles con el Modelado por Deposición Fundida.

Se analizan los distintos sistemas de control que son compatibles con la impresión 3D, asimismo que sean de código abierto para instalar e implementar el sistema seleccionado en la impresora y de ser necesario modificar el software para emparejar con la máquina a implementar.

Fase 2. Diseño del sistema de adquisición de datos y hardware para la interconexión con el sistema remoto a implementar.

En esta fase se investiga sobre de los elementos que constan en el sistema, también se realiza un estudio de los diferentes microcontroladores capaces de ejecutar las funciones requeridas en el sistema para una posterior selección.

- Actividad 2.1. Investigación acerca de la compatibilidad del software a implementar con los microcontroladores disponibles en el mercado.

En esta actividad se analizan los softwares y requerimientos de los que son compatibles con el Modelado por Deposición Fundida con la finalidad de adquirir el microprocesador óptimo con mejores prestaciones para software.

- Actividad 2.2. Investigación y selección de sensores adicionales.

En esta actividad se analizan varias alternativas de sensores a implementar para optimizar tiempo y material de impresión en el proceso de impresión 3D.

- Actividad 2.3. Adquisición de microcontrolador y sensores adicionales

Después de una exhaustiva investigación acerca de la disponibilidad los sensores requeridos en el mercado, se procede a adquirirlos para la implementación en la máquina.

Fase 3. Implementar el sistema diseñado

En esta fase se plantea la implementación del sistema en la impresora 3D, para lo cual es necesario tener el conocimiento claro acerca de las partes de la impresora evitando dañar partes importantes, igualmente se debe analizar la cámara que se implementará en el sistema ya que brinda un monitoreo visual continuo en tiempo real.

- Actividad 3.1. Investigación acerca de cámaras compatibles con el sistema de control remoto a implementar.

En esta actividad se busca una cámara que cumpla con lo requerido y que sea compatible con el microprocesador elegido, en este caso se hace uso de la cámara que dispone un dispositivo móvil con una excelente resolución.

- Actividad 3.2. Selección del sistema de control remoto a implementar.
Se seleccionó el software de código abierto “OctoPrint”, el cual servirá como base que posteriormente se editará y configurará con la finalidad de cumplir con los requerimientos para el sistema de control remoto para impresoras 3D. Este software seleccionado cuenta con una interfaz la cual será modificada para aprovecharla en su totalidad, además tiene herramientas útiles, entre las más importantes están el control de temperaturas, el control de movimiento en los tres ejes y el acceso a la cámara de manera remota.
- Actividad 3.3. Instalación y verificación del correcto funcionamiento del software y la cámara implementada en el microprocesador
Se procede a identificar la dirección web a la que se encuentra conectada nuestro software para facilitar la conexión del computador con el dispositivo móvil, también se verifica que la versión de Octo4a sea la correcta y sea compatible.
- Actividad 3.4. Verificación del funcionamiento del software OctoPrint en el computador
En esta actividad se verifica e instala los plugins necesarios para cumplir con lo requerido, conjuntamente se comprueba la correcta conexión de la cámara web con el software porque suele tener una distinta dirección web.
- Actividad 3.5 Instalación del OctoPrint-Telegram
En esta actividad se crea el BOT en la red social para establecer la conexión y mediante códigos mantener una comunicación con la impresora 3D, previamente el plugin debe estar instalado en el computador para verificar el código de acceso.

Fase 4. Validar el sistema implementado

En la última fase, se lleva a cabo las pruebas pertinentes para verificar que el sistema este trabajando adecuadamente y se encuentra en condiciones de prestar el control remoto óptimo de todas las funcionalidades que permite la impresora 3D.

- Actividad 4.1. Obtención información de la impresora y pieza resultante en tiempo real vía remota
Con ayuda de la cámara instalada y de los datos proporcionados por el sistema se sabrá cuando la impresora culminó el proceso o si se suscitó algún error en la propia impresora que no fue capaz de detectar y corregir.

- Actividad 4.2. Implementación de manera eficiente la interfaz ofrecida por el sistema remoto instalado.

En esta actividad se envía un documento a imprimir desde el computador con el fin de comprobar el correcto funcionamiento, tanto del sistema implementado como de los sensores agregados. Además, se debe adecuar el espacio y las herramientas necesarias para tener una base estable para el microprocesador o dispositivo móvil.

3.3. Desarrollo e implementación del sistema

A través de una investigación previa, se analizaron los componentes a mejorar de la impresora 3D, con el objetivo de perfeccionar la calidad de las impresiones. Como resultado se lleva a cabo la implementación del sensor BLTouch que optimiza la obtención de datos sobre la nivelación adecuada de la cama y otro sensor de final de filamento que es el encargado de notificar la ausencia de material, con el fin de alertar a la impresora 3D y por ende al usuario u operario. Posteriormente, se conecta la impresora 3D a un sistema de control diseñado para un modelo de impresora en específico con el objetivo de monitorizarla de manera remota, es decir se controlará completamente la máquina e incluso el operario enviará documentos a imprimir desde cualquier lugar, de la misma forma tendrá la capacidad de supervisar el proceso de impresión en tiempo real mediante una cámara con excelente resolución.

El sistema OctoPrint instalado en un dispositivo móvil permite comunicar y gestionar los datos entregados por los sensores implementados, asimismo la imagen en tiempo real que se envía por el dispositivo móvil de la impresora 3D.

El sistema se diseñó con el propósito de controlar las distintas configuraciones en el proceso de construcción de una pieza por fabricación aditiva en una impresora 3D, tales como la temperatura, los ventiladores, la velocidad de impresión, la velocidad de extrusión, entre otros. Por su parte, si durante el proceso de impresión 3D existen varios errores que afectan a la pieza final, el sistema cuenta con una cámara que permite monitorizar el progreso de impresión y verificar que sea óptimo, sin presentar errores y a su vez determinar el estado de los sensores gracias a la información receptada por la impresora.

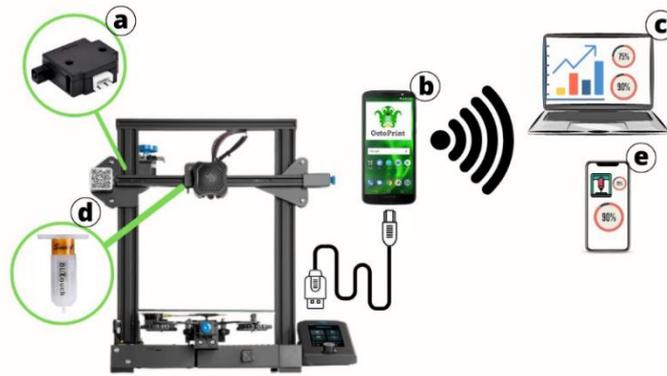


Figura 3.1. Sistema para implementar.

En la Figura 3.1, se observa el sistema que consta de dos sensores adicionales como se mencionó anteriormente; el BLTouch (d) y el final de filamento (a). Los sensores antes mencionados se conectan a la tarjeta controladora de la impresora 3D, luego se implementa el sistema Octo4a al dispositivo móvil como se muestra en (b), este a su vez envía toda la información a OctoPrint en el computador mediante un sitio web (c) o a OctoRemote en el dispositivo móvil (e) para tener acceso de manera fácil y eficiente del proceso de impresión e impresora 3D. Cabe recalcar que Octo4a de OctoPrint es instalado en el celular para la monitorización, mientras que OctoRemote se instala en el dispositivo móvil mediante el cual se accede a la monitorización.

3.4. Criterios y requerimientos para el desarrollo del proyecto Octo4a

Criterios

- Compatibilidad con cualquier impresora marca Creality, modelo Ender 3.
- Capacidad de controlar la impresora en su totalidad.
- Costo competitivo con sistemas similares en el mercado.
- Capacidad de visualizar el modelo que se está fabricando en tiempo real.
- Fácil comunicación humano-máquina.

Restricciones

- No es invasivo.
- Conexión a internet de manera fácil y rápida.
- Fácil de usar.
- Fácil de realizar mantenimiento.

En la Figura 3.2 se observa el diagrama a seguir para implementar el sistema de control en el cual constan los sensores por agregar, la máquina a controlar y el sistema que se usa como guía para el monitoreo desde un computador o una aplicación móvil.

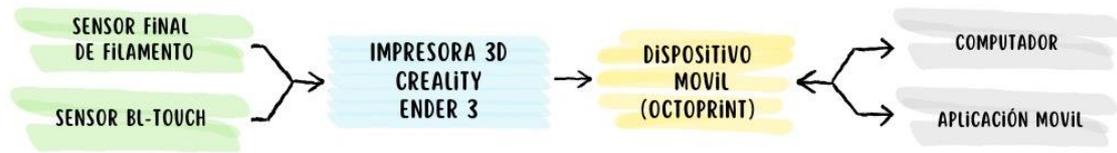


Figura 3.2. Diagrama general del sistema a implementar.

Con el fin de llevar a cabo su desarrollo de manera ordenada y comprensible, el proyecto se divide en dos fases que se detallan a continuación:

3.5. Fase 1 – Implementación de los sensores

3.5.1. Tarjeta controladora

Para iniciar el proceso de implementación de los sensores se debe tener en cuenta la capacidad de procesamiento de la placa que posee la impresora 3D; en este caso la placa es la Creality V4.2.7 mostrada en la Figura 3.3. Esta placa cuenta con los puertos (marcados de color rojo) necesarios para añadir los dos sensores seleccionados.

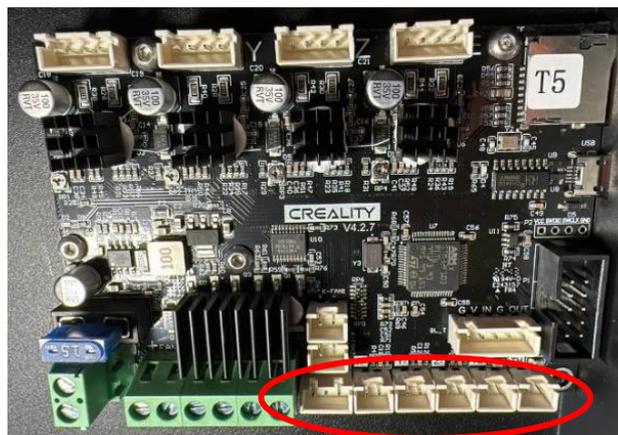


Figura 3.3. Placa Creality V4.2.7.

3.5.2. BLTouch

Este sensor ayuda a nivelar la cama de impresión automáticamente para determinar con exactitud si está inclinada o existe alguna deformación en la misma, este sensor funciona con cualquier superficie ya que su funcionamiento se basa en prevenir

errores comunes de impresión 3D en la primera capa como el warping o un extrusor atascado. La primera capa impresa de una pieza es la más importante puesto que se encuentra adherida a la placa de impresión y es la que deberá garantizar una adherencia exitosa. Para lograrlo se recomienda usar las temperaturas propuestas por el fabricante del filamento, tanto para el HotEnd como para la superficie de impresión.

3.5.3. Final de filamento

Este sensor alerta al usuario cuando existe ausencia de material o a su vez cuando el material presenta alguna ruptura para detener el proceso de impresión en su totalidad, evitando que la impresora deposite material hasta que el operario agregue filamento o solucione el problema. Una vez solucionada la advertencia se procede a reanudar la impresión, para completar las capas faltantes.

3.5.3.1. Instalación en la placa

Para conectar los sensores con la tarjeta controladora, se retira con cuidado la tapa metálica que se encuentra en la base de la impresora, ya que en la tapa se encuentra el ventilador de la tarjeta controladora que se indica en la Figura 3.4.



Figura 3.4. Tapa de la tarjeta controladora

Una vez se tenga acceso a la placa controladora se deben ubicar los puertos correspondientes, como se muestra en la Figura 3.5. Se recomienda agregar silicona en pequeñas cantidades para que los sensores agregados no se desconecten con el tiempo y

uso; así mismo realizar una limpieza de ventiladores y placa controladora cada cuatro meses aproximadamente.

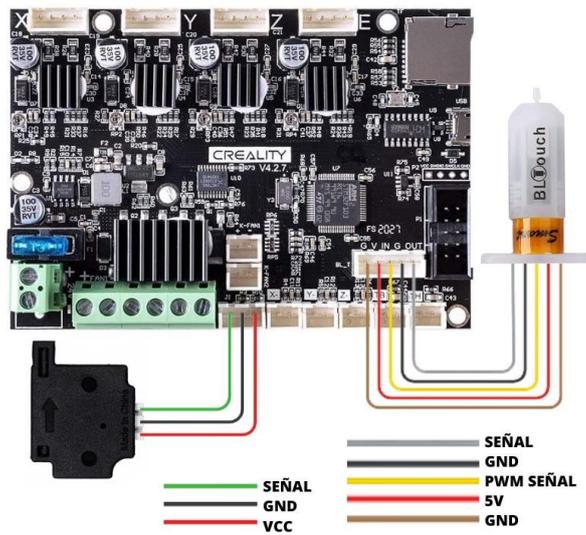
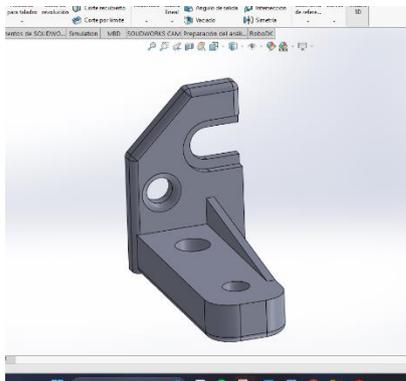
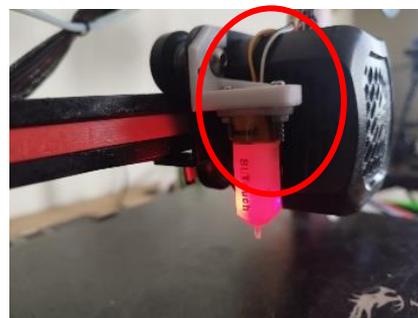


Figura 3.5. Conexión de los sensores a la placa controladora.

La instalación del sensor BLTouch en la impresora 3D se complementa con una pieza adicional. En la Figura 3.6, se diseñó en un software de prototipado como se muestra en (a) y se procedió a imprimir. Esta pieza se coloca junto al HotEnd de la impresora como se indica en (b) brindando soporte al sensor; es conveniente destacar que este sensor debe permanecer perpendicular a la cama de impresión.



(a)

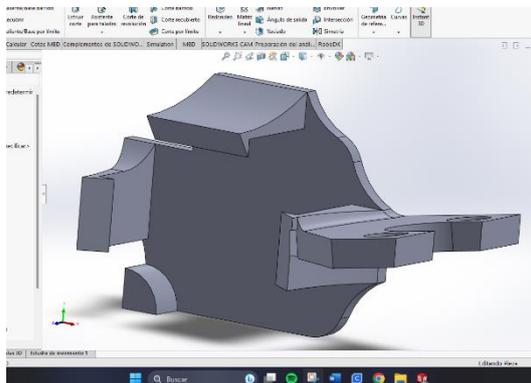


(b)

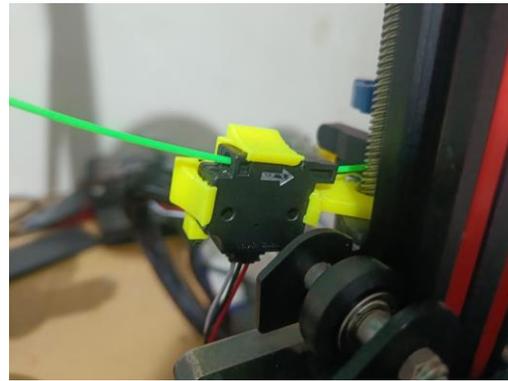
Figura 3.6. Pieza agregada para el sensor BLTouch (a) prototipo (b) pieza instalada.

En la Figura 3.7 se muestra la pieza diseñada para añadir el sensor de final de filamento, en (a) se muestra el prototipo diseñado para la impresión, mientras que en (b)

se muestra el sensor ubicado en la parte superior del motor perteneciente al eje X; esta pieza debe estar alineada a la entrada de filamento del extrusor.



(a)



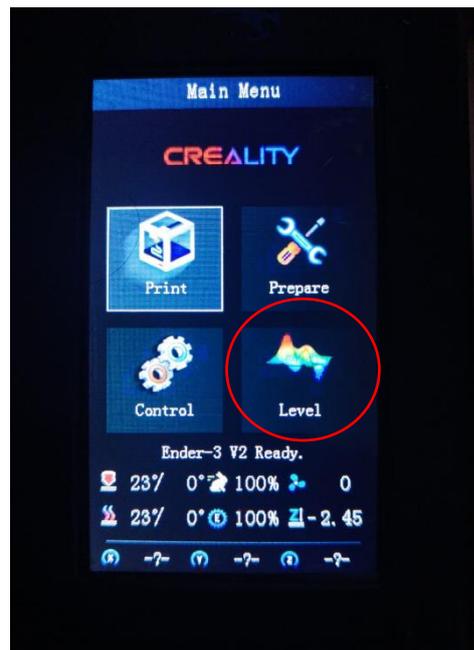
(b)

Figura 3.7. Pieza agregada para el sensor de final de filamento (a) prototipo (b) pieza instalada

Los sensores agregados requieren una actualización del software de la impresora para funcionar correctamente y permite la comunicación entre los sensores con la placa controladora. De igual forma, se debe actualizar el software de la pantalla de la impresora, porque en caso de no actualizarse no se podrán usar los sensores agregados.



(a)



(b)

Figura 3.8. Pantalla de la impresora actualizadas (a) sensor activado (b) software actualizado

En la Figura 3.8. se observa la pantalla de la impresora 3D actualizada, en (a) se puede habilitar o deshabilitar el uso del sensor de final de filamento, mientras que en (b) se muestra que la opción de nivelado ya está disponible.

3.6. Fase 2 – OctoPrint

Para implementar este sistema de control de impresoras 3D, se debe verificar que exista compatibilidad entre el sistema y la máquina, caso contrario ocasionará inconvenientes. En este caso, el sistema OctoPrint tiene compatibilidad con una tarjeta Raspberri Pi o con un microprocesador que posea una memoria RAM superior o igual a 4 GB. En consecuencia, se implementó un dispositivo móvil que cumple con los requerimientos mencionados anteriormente.

El dispositivo móvil es un Motorola modelo G7 considerado gama media baja, posee una resolución de pantalla QHD de 2560 x 1440 e integra doble cámara trasera de 12 MP+5 MP, conexión wifi 802.11 y un procesador Snapdragon 632 (8 x 1,8 GHz). Se decidió usar este dispositivo ya que implementar una tarjeta Raspberry Pi es más costosa; del mismo modo se deberían adquirir otros complementos como cámara web y cables de conexión extras. De esta manera, el celular hará uso de su cámara y más elementos que lo conforman para obtener un rendimiento óptimo.

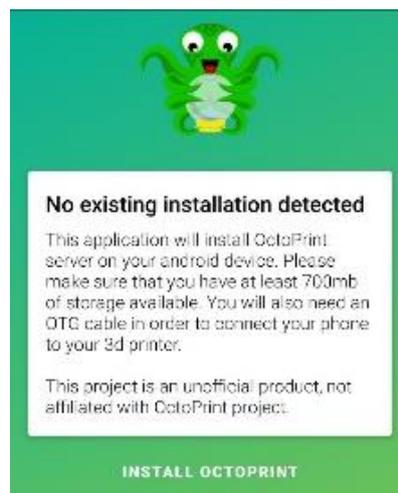


Figura 3.9. Octo4a en dispositivo móvil.

A continuación, en el celular se descarga la aplicación “Octo4a” en la versión 0.0.3, ya que la versión más actual 0.0.5 presenta un inconveniente en el procesamiento de datos. Una vez instalada la aplicación en el dispositivo se concede los permisos

correspondientes para el almacenamiento de información y acceso a la cámara. En la Figura 3.9 se muestra la pantalla de instalación correcta de la aplicación Octo4A.

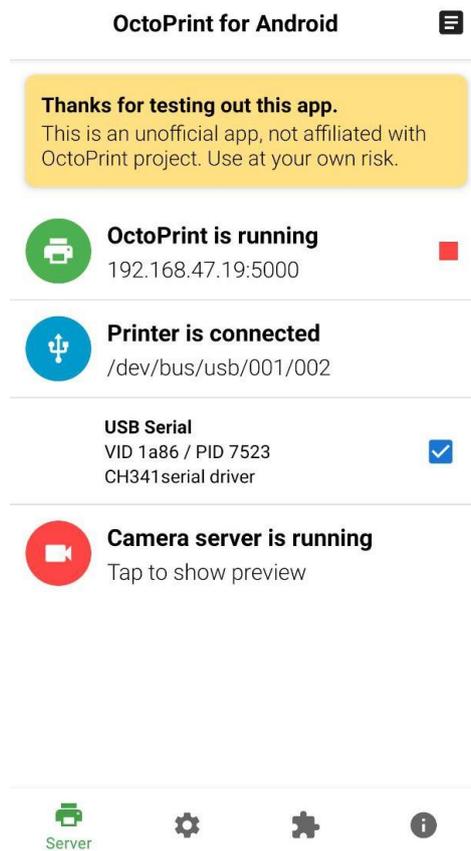


Figura 3.10. Pantalla inicial de Octo4a.

La instalación toma tiempo, porque depende de la velocidad de internet que se disponga. A continuación, en la Figura 3.10 se presenta la pantalla donde se verifica que el dispositivo se encuentra conectado a la red wifi y a su vez a la impresora 3D, también mostrará la dirección IP a la cual se encuentra conectado, la misma que permitirá acceder desde el sitio web en el computador para culminar con las configuraciones correspondientes.

En el navegador se agrega la dirección IP entregada por Octo4a para crear un perfil, configurar una clave e ingresar el modelo de la impresora 3D y conceder los permisos de comunicación necesarios como se muestra en la Figura 3.11.

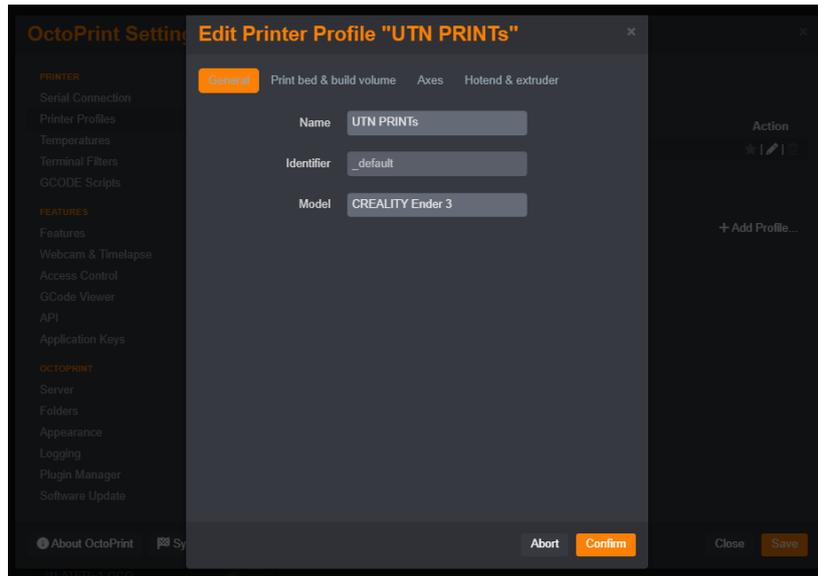


Figura 3.11. Configuración de perfil – OctoPrint.

Una vez se culmine la configuración del sistema se procede a comprobar que la aplicación Octo4a se esté comunicando con el sistema OctoPrint para realizar cambios en la impresora 3D desde el computador como se indica en la Figura 3.12.

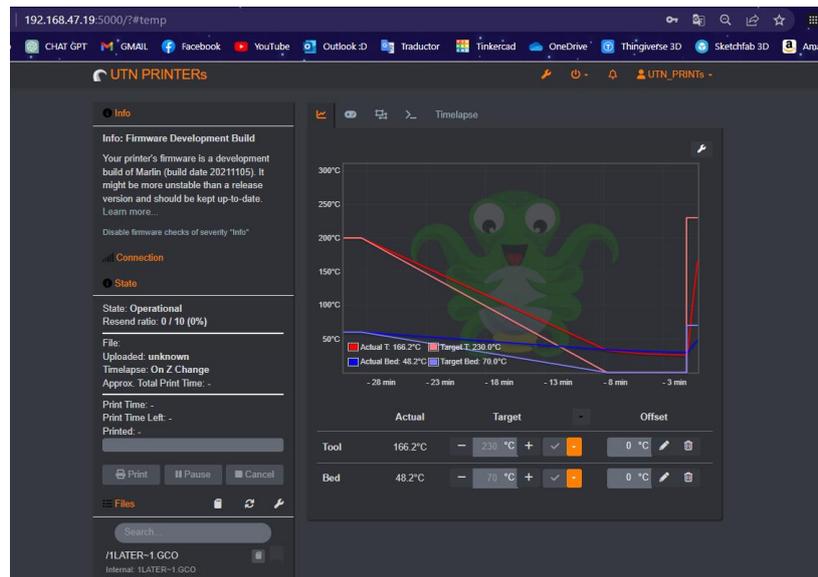


Figura 3.12. Pantalla principal del sistema de control diseñado.

Para acceder a la cámara y ver en tiempo real el proceso de impresión, se configura la dirección de IP de la cámara del celular en ajustes de OctoPrint, ya que suele conectarse con la misma dirección IP que la del sistema y esta debe ser distinta como se observa en la Figura 3.13.

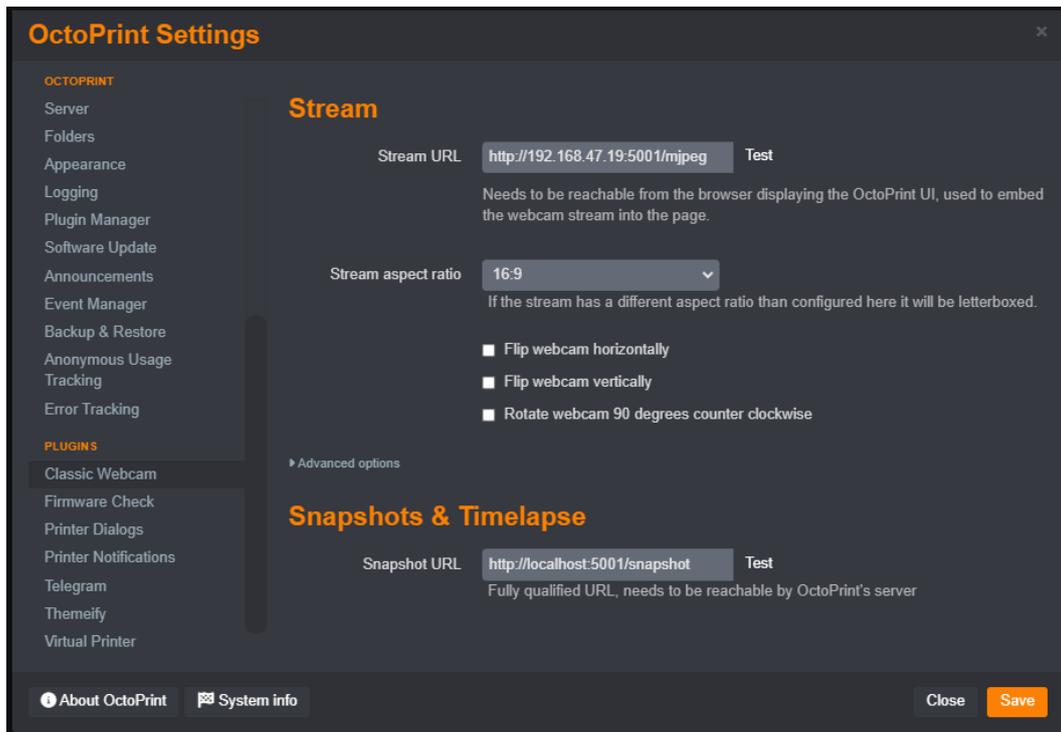


Figura 3.13. Configuración de IP de cámara.

Para comprobar que la cámara esté funcionando correctamente, se ingresará la dirección IP en una nueva ventana del navegador y se observará la impresora en tiempo real como se muestra en la Figura 3.14. En caso de presentar algún error de conexión se debe reiniciar Octo4a para que se actualicen las configuraciones y no presenten inconvenientes en la comunicación.

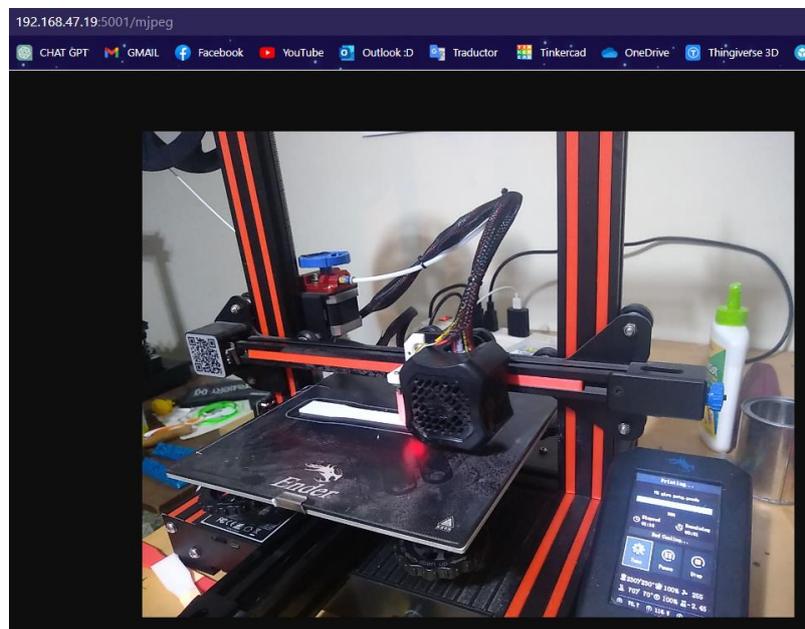


Figura 3.14. Comprobación del funcionamiento de cámara.

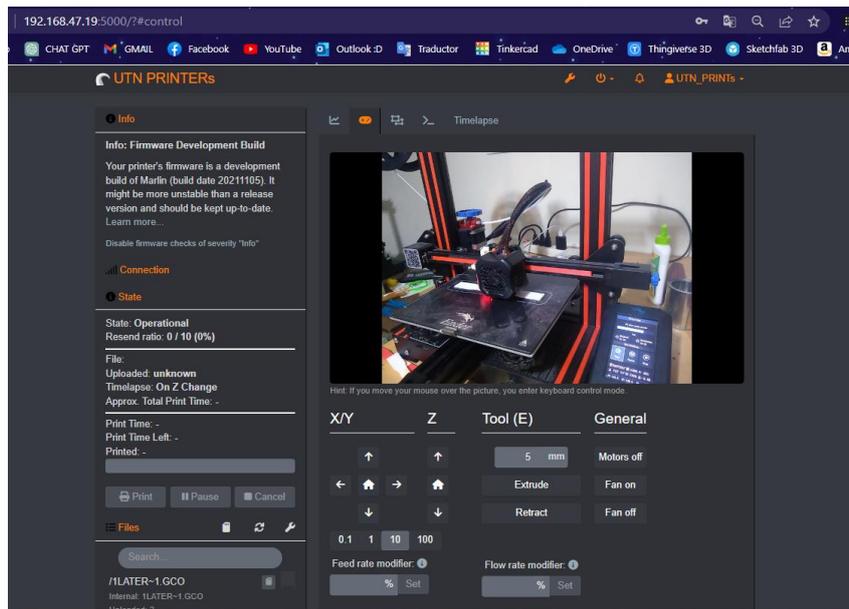


Figura 3.15. Visualización de impresora 3D en el sistema de control.

En la Figura 3.15, se observa la cámara funcionando adecuadamente en la pestaña de correspondiente donde se controla, además los motores de los distintos ejes de la impresora y también los ventiladores. Esto quiere decir que la configuración de la IP de la cámara se realizó con éxito, caso contrario en lugar de aparecer la imagen de la impresora, se muestra un mensaje indicando que existen problemas con la transmisión de video en tiempo real.

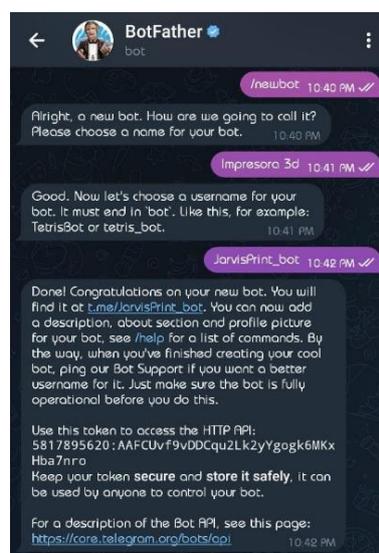


Figura 3.16. Creación del nuevo bot.

La comunicación por una red social es algo interesante que se implementó, ya que el sistema tiene la capacidad de comunicarse con la impresora 3D desde la aplicación

Telegram. Para enlazar OctoPrint con Telegram se crea y programa un bot como se indica en la Figura 3.16, con ayuda de BotFather en Telegram, el mismo que será el encargado de conectar la red social con un plugin que se instalará en OctoPrint desde el computador como se muestra en la Figura 3.17.

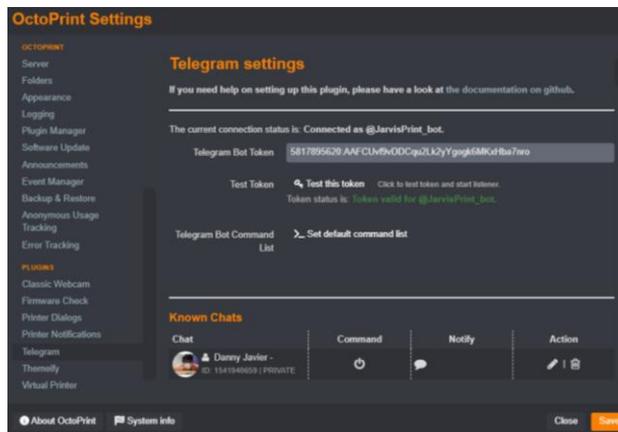
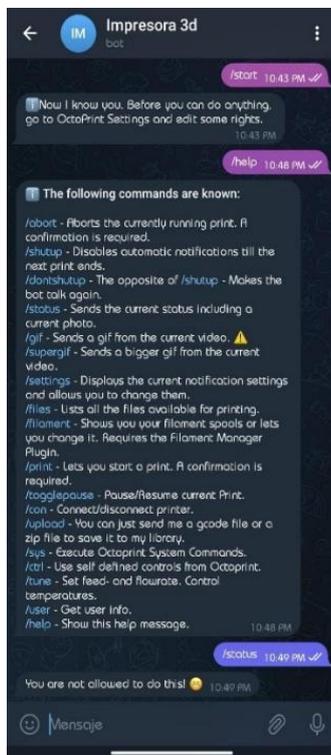
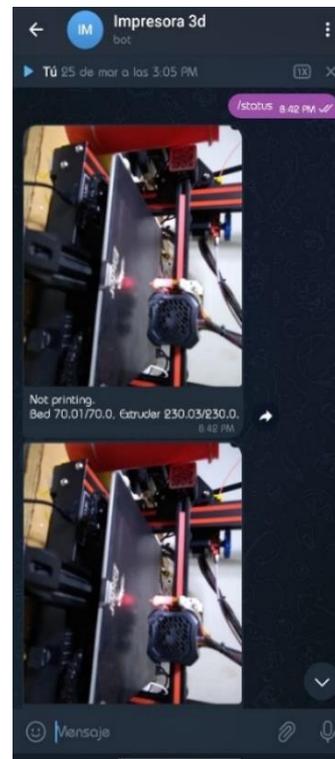


Figura 3.17. Configuración del plugin de Telegram



(a)



(b)

Figura 3.18. Telegram comunicándose con la impresora 3D (a) comandos de comunicación (b) respuesta del sistema en Telegram.

En la aplicación Telegram se ingresan determinados códigos por chat para comunicar a la impresora 3D con su operario, de tal forma que se ordenen ciertas

operaciones a realizar o entregar determinada información importante como se muestra en (a) de la Figura 3.18. Así mismo, se muestran los comandos disponibles en la aplicación que permiten requerir datos o ejecutar acciones en la impresora 3D. Por otra parte, en (b) se presentan imágenes con detalles acerca del progreso en términos de porcentaje y las temperaturas en el instante de capturar la imagen durante el proceso de impresión. Estas imágenes son generadas gracias a la funcionalidad del sistema OctoPrint.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Pruebas del dispositivo

En el siguiente apartado se describe una serie de pruebas que se llevan a cabo con la finalidad de comprobar el correcto funcionamiento de los complementos y el sistema de control implementado.

Esta fase de pruebas presenta dos etapas correspondientes a cada una de las mejoras del sistema implementado, como primera etapa de pruebas está la verificación del sensor final de filamento y sensor BLTouch. En la segunda etapa se corroborará el correcto funcionamiento del sistema de control implementado por completo es decir de cada una de las características.

4.1.1. Etapa de prueba 1

4.1.1.1. Prueba de filamento

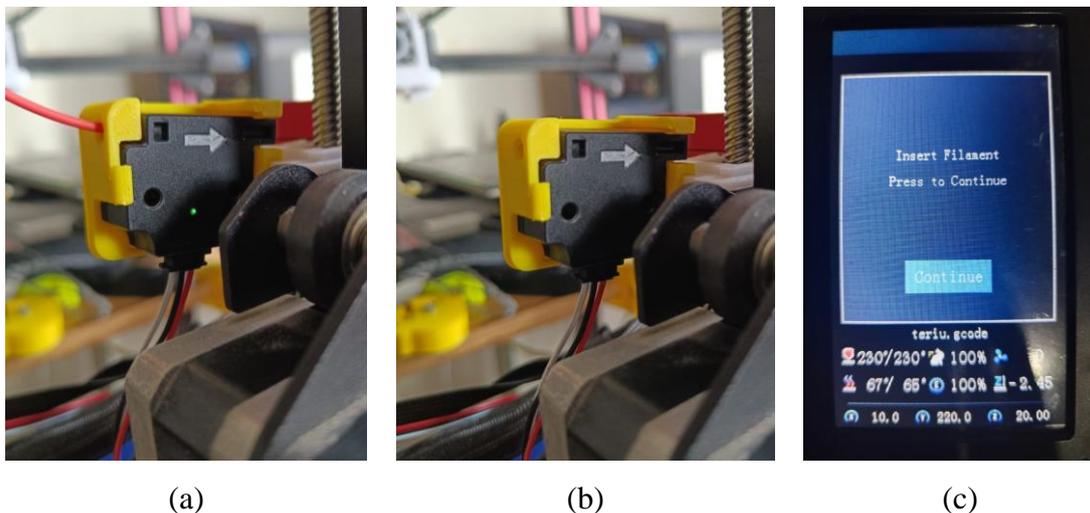


Figura 4.1. Funcionamiento del sensor final de filamento (a) sensor con material (b) sensor sin material (c) alerta enviada a la pantalla de la impresora 3D.

En (a) la Figura 4.1 se aprecia una señal luminosa de color verde en el sensor, lo que señala la presencia de material. Mientras que en (b) se muestra en el instante en que el material es retirado y el sensor envía una notificación a la pantalla de la impresora 3D como se indica en (c), acompañada de una señal sonora generada por la propia impresora. Esta notificación indica la existencia de problemas con el material de impresión y señala

que el proceso de impresión se ha detenido temporalmente. La alerta permanecerá visible en la pantalla hasta que se haya solucionado el problema.

4.1.1.2. Prueba de nivelación

Luego, se lleva a cabo una evaluación del sensor de nivelado automático, la cual consiste en tomar mediciones en múltiples ubicaciones en la superficie de impresión. El sensor se ajusta en un total de 25 puntos específicos con el fin de generar una matriz que registra los valores relativos a la distancia entre la cama de impresión y la boquilla de la impresora 3D. Estos valores se pueden corregir a través del sistema implementado o de manera manual ajustando las tuercas de nivelación que se ubican en la parte inferior de la placa de impresión hasta alcanzar la altura ideal.

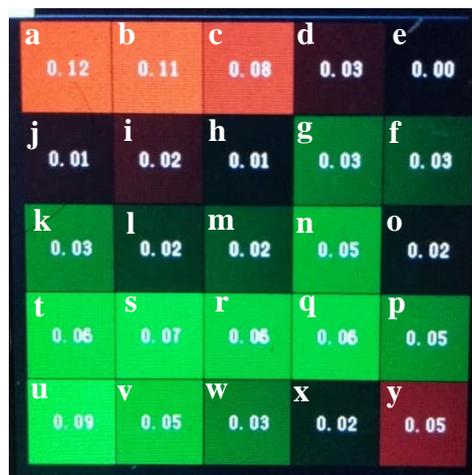


Figura 4.2. Matriz obtenida del sensor BL-Touch de la placa de impresión.

La Figura 4.2 muestra el estado actual de la superficie de impresión tras el proceso de nivelación, presentando los valores registrados en cada ubicación. Los valores resaltados en tono rojo denotan una distancia excesiva entre la placa de impresión y la boquilla, lo que puede dar lugar a fallos en el proceso de impresión. Por otro lado, el color verde indica una calibración óptima en esa zona específica, mientras que el color negro señala que la distancia entre la placa de impresión y la boquilla es mínima, lo que podría ocasionar problemas de adhesión del material.



Figura 4.3. Nivelación de cama con calibrador.

En la Figura 4.3 se muestra la toma de medidas en los mismos puntos previamente censados, con el fin de determinar el error existente entre los datos obtenidos con el sensor y los datos obtenidos manualmente con el calibrador.

a) 0.15	b) 0.11	c) 0.09	d) 0.04	e) 0.01
j) 0.01	i) 0.02	h) 0.01	g) 0.03	f) 0.03
k) 0.02	l) 0.02	m) 0.02	n) 0.05	o) 0.02
t) 0.07	s) 0.07	r) 0.06	q) 0.06	p) 0.05
u) 0.09	v) 0.05	w) 0.03	x) 0.02	y) 0.05

Figura 4.4. Datos de nivelación tomados con el calibrador.

En la Figura 4.4 se presentan las dimensiones obtenidas al emplear el calibrador en los mismos 25 puntos que previamente fueron evaluados por el sensor. Las mediciones exhiben una variación de aproximadamente (\pm) 0,01 mm, este valor confirma la correcta operatividad del sensor y corroboran la concordancia con los datos que se habían registrado previamente en la matriz.

4.1.2. Etapa de prueba 2

La Tabla 4.1 se presentan las variables que son gestionadas desde un ordenador o dispositivo móvil en el contexto de la impresora 3D. Asimismo, se exhibe el tiempo

requerido para que cada una de las configuraciones solicitadas por el usuario reciba una respuesta. Es importante destacar que la mayoría de estas configuraciones deben estar correctamente ajustadas para garantizar el éxito de la impresión.

Tabla 4.1. Variables monitoreadas y controladas.

Variables	Funcionamiento	Tiempo de respuesta
Temperatura placa de impresión	Sí	De 0°C a 60 °C en 3:26.32 min
Temperatura HotEnd	Sí	De 0°C a 200 °C en 2:01:40 min
Estado del proceso de impresión	Sí	00:03.28 min
Motores (eje x, y, z y extrusor)	Sí	00:00.34 min
Velocidad de impresión	Sí	00:06.18 min
Cámara	Sí	00:01.43 min
Visualización código G	Sí	00:01.36 min
Visualización de los movimientos realizados por la boquilla	Sí	00:01.26 min

4.1.2.1. Prueba de control de temperaturas de impresión

En esta etapa se probaron cada una de las herramientas del sistema de control, para verificar el buen funcionamiento, ya que el más mínimo error puede ocasionar la pérdida total o parcial de la pieza en fabricación. El sistema implementado brinda la opción de controlar la temperatura de la cama de impresión y de la boquilla de la impresora 3D.

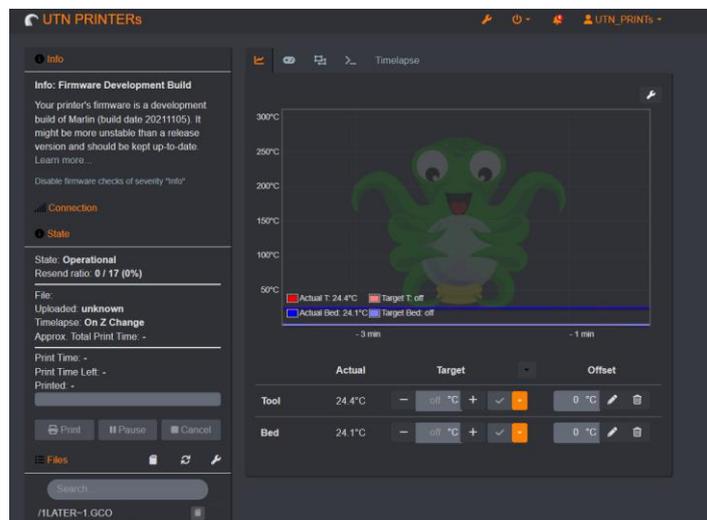


Figura 4.5. Pantalla del sistema OctoPrint con temperaturas iniciales.

En la Figura 4.5 se observan los datos iniciales, que fueron modificados por datos enviados al sistema y recibidos correctamente por la impresora variando la temperatura de la cama y boquilla como se observa en la gráfica de la Figura 4.6. La temperatura de la cama y boquilla dependen del material a fundir es por ello que esas configuraciones se deben modificar previamente al momento de laminar una determinada pieza o a su vez en el proceso de impresión.

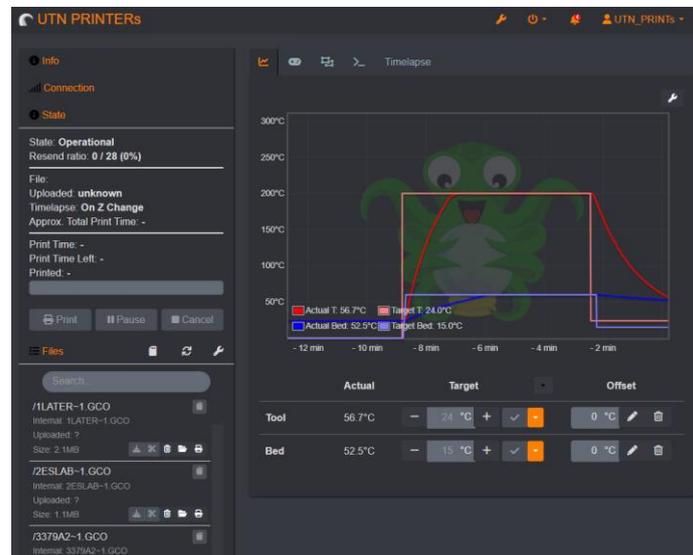


Figura 4.6. Pantalla del sistema OctoPrint con temperaturas modificadas.



Figura 4.7. Temperatura medida sobre la cama de impresión por el termómetro infrarrojo.

En la Figura 4.7 se muestra la temperatura de la cama de impresión medida con un termómetro infrarrojo de doble láser. Se requiere que la información mostrada en el sistema implementado y el termómetro coincidan con el objetivo de verificar los valores.

Por lo tanto, se envía una temperatura mediante el sistema para confirmar con los valores otorgados por el termómetro.

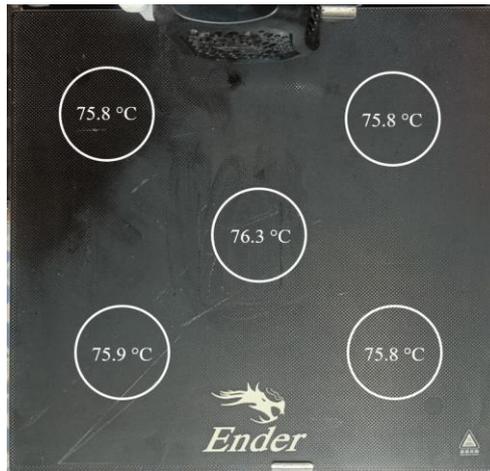


Figura 4.8. Puntos de medición con el termómetro infrarrojo.

En la Figura 4.8 se observan 5 puntos donde se midió la temperatura con el termómetro infrarrojo, los mismo que indicaron que la temperatura no se esparce uniformemente sobre la placa de impresión. La medida de temperatura se tomó en la cama de impresión puesto que en el HotEnd se dificultó al ser una superficie muy irregular y pequeña mientras que el termómetro infrarrojo tenía complicación al momento de captar la medida.

4.1.2.2. Pruebas de control de motores

Se procede a probar el movimiento de los motores y sensores finales de carrera.

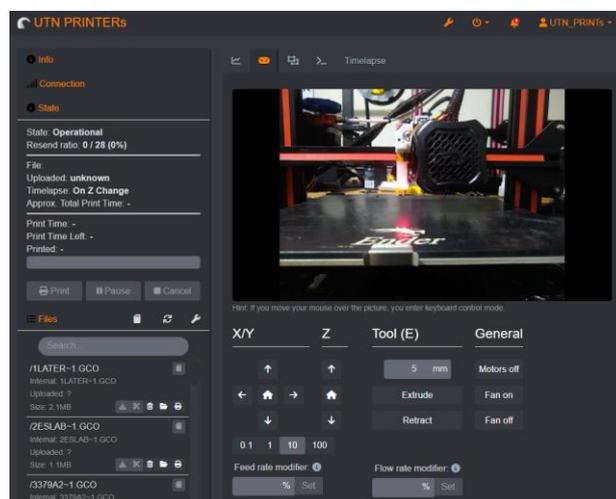


Figura 4.9. Pantalla de movimiento de motores y previsualización de cámara.

En la Figura 4.9 se muestran los distintos movimientos que puede realizar la impresora desde el sistema, además de los botones que tiene figura de “casa” que significan los puntos de origen en cada eje de movimiento. En las pruebas de movimientos de los ejes se comprobó el correcto funcionamiento de cada motor, la conexión con los sensores finales de carrera y sensor de nivelación, debido a que llevan al Hot End hasta su punto de origen para lo cual es necesaria la comunicación entre motores y sensores.

4.1.2.3. Funcionamiento de la cámara

La cámara es primordial en el desarrollo del proceso de impresión, por lo que se procede a verificar la fluidez del video y la calidad, la misma que se encuentra directamente relacionada con las características del dispositivo móvil que se usa. Esta información es entregada por el dispositivo móvil al sistema de control implementado.

En la Figura 4.10 se muestra la calidad de video, la latencia o fluidez en tiempo real, la cual depende del estado de conexión a internet que se disponga, tanto en la impresora como en el dispositivo de control. Se debe tener en cuenta que el sistema se encuentra conectado a una dirección IP distinta a la de la cámara por lo que se debe configurar previamente en los ajustes del sistema OctoPrint como se mencionó anteriormente.

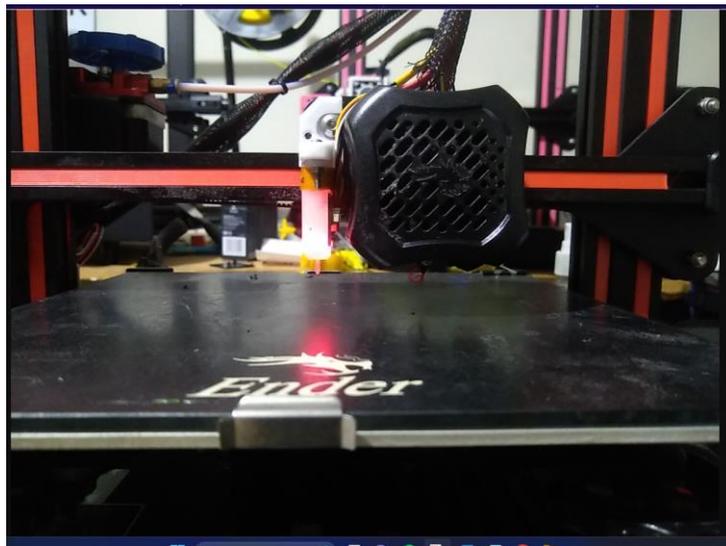


Figura 4.10. Prueba de calidad de imagen y fluidez de la cámara.

4.1.2.4. Prueba de impresión de manera remota

El sistema presenta la capacidad de enviar documentos en formato código G directamente a la impresora y comenzar un proceso de impresión de forma remota o a su

vez solo tener documentos almacenados en el sistema para una posterior impresión, como se visualiza en la Figura 4.11.

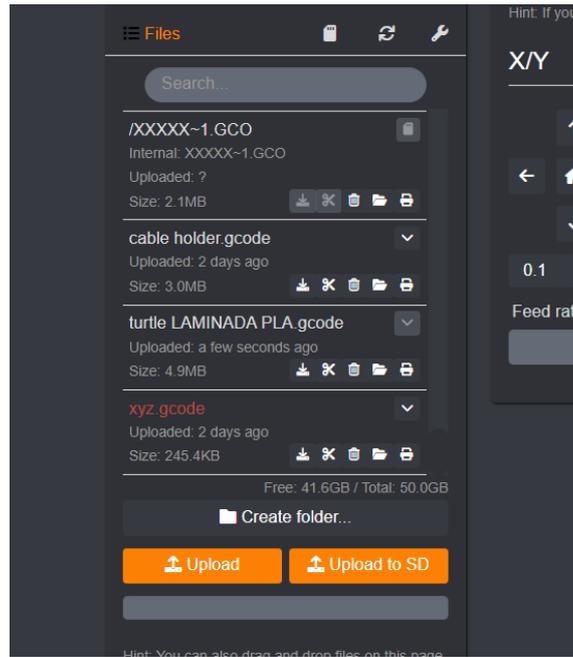


Figura 4.11. Documentos cargados en el Sistema OctoPrint.

En la Figura 4.12 se muestran los movimientos que realiza la boquilla en tiempo real para fabricar el diseño que se cargó previamente en el sistema y realizar las distintas modificaciones en cuanto a velocidad o flujo de la impresión dependiendo el caso.

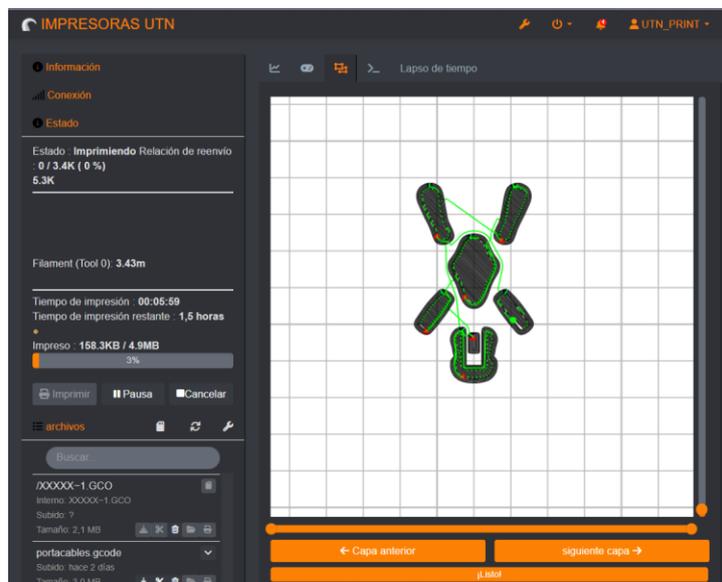


Figura 4.12. Previsualización del proceso de impresión 3D por capas.

En este punto se prueba la aplicación en el dispositivo móvil, para ello se realiza un análisis general de las configuraciones que permite acceder la aplicación móvil, ya que es muy similar a la interfaz del computador y cuenta con las mismas configuraciones.

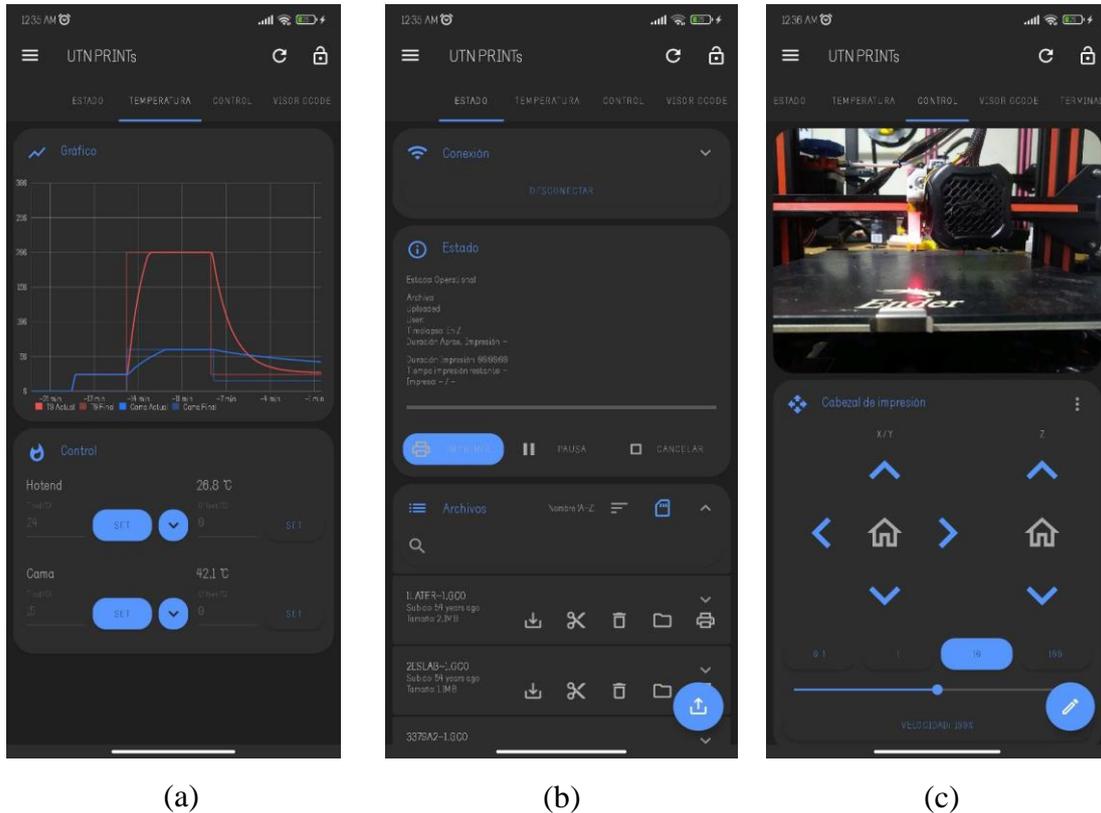


Figura 4.13. Interfaz de la aplicación móvil OctoRemote (a) pestaña de temperaturas, (b) pestaña de estado de impresión, (c) pestaña de control.

En (a) de la Figura 4.13 se muestra la interfaz del apartado de temperatura que presenta la aplicación OctoRemote, mientras que en (b) se indica la pestaña del estado de impresión de la aplicación y en (c) finalmente se observa el apartado de control, donde se permiten mover los ejes de la impresora 3D y visualizar la misma en tiempo real. En general, se observa que OctoRemote tiene las mismas opciones que posee la interfaz del computador y de igual manera posee la capacidad de mover o configurar varios parámetros desde el celular. La aplicación se puede descargar desde Play Store completamente gratuita y se debe ingresar la dirección IP a la que se encuentre conectado el sistema para después enlazarse con la impresora y monitorear a la misma.

Si en el almacenamiento del dispositivo móvil se dispone de documentos ya laminados es decir en formato código G, se puede enviar directamente a imprimir mediante la aplicación OctoRemote.

4.1.2.5. Prueba de consumo energético

En la Figura 4.14 se observa el consumo energético de la impresora 3D en una prueba que duro 38 minutos, en la cual se monitorizo el proceso de impresión. La barra de color verde corresponde al estado de la impresora 3D sin el sistema implementado, es decir que los sensores aún no fueron agregados. Por lo tanto, el valor obtenido fue de 13,3 (kWh). A diferencia de la barra de color naranja donde se obtuvo un valor de 13,528 (kWh) debido a que corresponde al estado de la impresora 3D con el sistema de control implementado, dicho de otra manera, los sensores añadidos están funcionando adecuadamente.

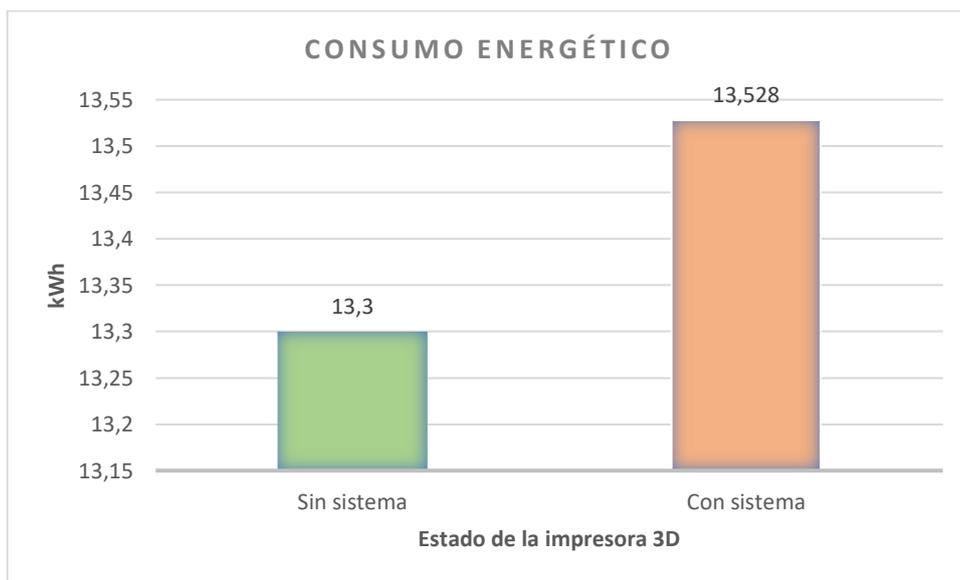


Figura 4.14. Consumo energético de impresora 3D con el sistema implementado.

4.2. Resultados

4.2.1. Prueba de filamento

Dentro de esta prueba, se procedió a retirar el material de impresión, lo que indujo al sensor a emitir una notificación de carencia de filamento de impresión tras un lapso de 3,5 segundos a la impresora 3D. Posteriormente, la máquina procedió a suspender el proceso de impresión evitando que se generen capas.

4.2.2. Prueba de nivelación

En el ensayo de nivelación, se empleó el sensor BLTouch para efectuar la calibración de la superficie de impresión, el cual proporcionó mediciones de la distancia entre la placa de impresión y la boquilla de la impresora en 25 puntos distintos. Luego,

se repitieron dichas mediciones utilizando un calibrador pie de rey, lo que arrojó resultados similares, con variaciones de tan solo 0,01 mm en ciertos puntos específicos. En consecuencia, se puede deducir que las lecturas otorgadas por el sensor son precisas y sumamente beneficiosas en el contexto del proceso de impresión.

4.2.3. Prueba de control de temperaturas de impresión

En la prueba de control de temperaturas, se empleó un termómetro infrarrojo con el propósito de cuantificar la temperatura en cinco ubicaciones distintas sobre la plataforma de impresión. Conforme a la configuración del software instalado, la temperatura de la superficie de impresión se ajustó a 76°C, y la discrepancia observada en comparación con la medición del termómetro infrarrojo se cifró en $(\pm)0.004^{\circ}\text{C}$, valor que en este contexto puede considerarse insignificante.

4.2.4. Prueba de control de motores

En la prueba de motores, se procedió a activar los distintos motores responsables de los ejes de la impresora 3D, incluyendo el motor del extrusor, con un tiempo de respuesta de 0,5 segundos. Cabe mencionar que el motor del extrusor generó una advertencia de limitación, indicando que el movimiento no es posible a menos que el HotEnd alcance una temperatura mínima de 200°C.

4.2.5. Prueba de funcionamiento de la cámara

La cámara desempeña un papel fundamental en el contexto del proceso de impresión 3D, ya que posibilita la observación en tiempo real de su progreso. La prueba efectuada arrojó resultados satisfactorios, dado que la cámara incorporada posee una resolución de 1080 HD y ofrece una transmisión de video fluida. Cabe destacar que la fluidez del video se halla intrínsecamente ligada a la calidad de la conectividad a internet disponible.

4.2.6. Prueba de impresión de manera remota

La prueba fue concluida con éxito, lo que indica que el proceso de impresión 3D se ejecutó de manera satisfactoria, corroborando la precisión del código G transmitido al sistema implementado y la idoneidad de las configuraciones adicionales aplicadas al modelo. La prueba realizada culminó correctamente, esto quiere decir que se completó el proceso de impresión 3D exitosamente y por ende el código G enviado al sistema

implementado fue correcto y las configuraciones adicionales realizadas al modelo fueron adecuadas.

4.2.7. Prueba de aplicación móvil

La aplicación móvil es interactiva con el usuario, presentando una interfaz similar a la página web OctoPrint. La aplicación se caracteriza por su fluidez y la habilidad de remitir archivos para su impresión, así como vigilar su progreso. Adicionalmente, la aplicación cuenta con la capacidad de efectuar la descarga directa al dispositivo móvil de un time-lapse que comprime el desarrollo del proceso de impresión.

4.2.8. Prueba de consumo energético

En la prueba de consumo de energía, se llevó a cabo una comparación entre el consumo de la impresora 3D antes de realizarle mejoras y el consumo después de la implementación de los dos sensores junto con el sistema de monitorización. En consecuencia, se puede deducir que el sistema de monitorización y las mejoras incorporadas a la impresora 3D presentan un consumo reducido, lo que hace que su instalación sea factible y viable.

Los resultados arrojados en cada prueba evidencian que el desempeño de la impresora 3D con el sistema implementado es sobresaliente, proporcionando al usuario una experiencia de monitoreo remoto mejorada, dado que ofrece una transmisión de video fluida de alta calidad en tiempo real. Además, brinda un control completo sobre las configuraciones en una impresora 3D y la capacidad de interrumpir este proceso.

El propósito de las pruebas realizadas al sistema y a la impresora 3D con los sensores agregados fue identificar posibles fallos en el sistema, ya que un error en el proceso puede resultar en impresiones defectuosas o daños significativos en la máquina. Se concluyó que el control proporcionado por el sistema implementado es óptimo, sin embargo, no se puede garantizar el éxito de un proceso de impresión 3D debido a factores externos a la máquina que pueden causar que el prototipo salga defectuoso parcial o totalmente. Es importante tener en cuenta que la impresión 3D tiene una amplia gama de aplicaciones potenciales, como la producción de piezas para automóviles, la protección de los profesionales de la salud en la lucha contra el coronavirus, entre otros.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La investigación literaria ha proporcionado una valiosa comprensión acerca de la operatividad idónea de una impresora 3D, su relevancia en el contexto contemporáneo, la anatomía diversificada de sus componentes, así como la función específica que desempeña cada elemento que integra su estructura.
- El sistema diseñado para el control de la impresora 3D demostró un desempeño satisfactorio al establecer una comunicación eficaz con la impresora, permitiendo la visualización en tiempo real de su estado. Además, brindó a los usuarios la capacidad de supervisar y ajustar los parámetros del proceso de impresión 3D de manera remota, accesible desde cualquier dispositivo con conexión a Internet o a través de la red social Telegram.
- Los sensores incorporados demostraron ser los ideales para la impresora 3D al optimizar significativamente los procedimientos, resultando en una eficiente administración de recursos y una mejora sustancial en la calidad de los productos impresos.
- Las pruebas realizadas al sistema de control presentaron la eficiencia que tiene el sistema en cuanto comunicación con el usuario, ya que la impresora 3D recibe y entrega datos de manera adecuada con el sistema, ya sea desde el celular, computador, aplicación móvil o red social.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda revisar previamente las prestaciones que brinda la tarjeta de control de la impresora 3D que se disponga, ya que en algunos modelos las prestaciones son limitadas y no aceptan modificaciones o actualizaciones de softwares.
- Se debe analizar el mercado ecuatoriano e información de los sensores a reemplazar para evitar la importación de estos, ya que el tiempo de la importación y la poca información podría ser un problema.
- Se debe configurar adecuadamente la aplicación OctoRemote ya que la dirección IP de la cámara suele variar, esto provoca que la transmisión de video en tiempo real presente problemas.
- La red wifi a la que se encuentre conectado el dispositivo móvil con el sistema de control debe ser buena ya que de esto dependerá la fluidez con la que la impresora responda las configuraciones solicitadas desde la interfaz y la calidad de video.

BIBLIOGRAFÍA

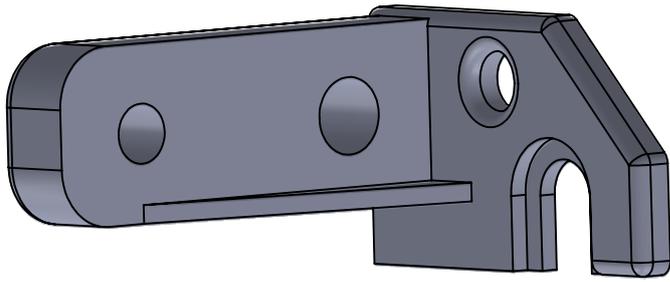
- [1] EVELYN VASCONEZ SALTOS and ANGELO VITERI LUCERO, “IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE IMPRESORA 3D CONTROLADA INALÁMBRICAMENTE POR BLUETOOTH MEDIANTE UNA PLATAFORMA ANDROID,” 2018. Accessed: Nov. 20, 2022. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14619/1/UPS-GT001984.pdf>
- [2] S. V. Oliva, “LA IMPRESIÓN 3D COMO TECNOLOGÍA DE USO GENERAL EN EL FUTURO.” Accessed: Nov. 28, 2022. [Online]. Available: https://zaguan.unizar.es/record/70820/files/texto_completo.pdf
- [3] D. C. 2021 Bogotá, “UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL MODALIDAD VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL VIRTUAL,” 2021.
- [4] E. Vasconez and A. Viteri, “Implementación de un prototipo de impresora 3D controlada inalámbricamente por Bluetooth mediante una plataforma Android,” 2017.
- [5] “Austral 3D Rosario.” Accessed: Oct. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.austral3d.com.ar/Volveremospronto>
- [6] C. Barba, K. Peñaherrera, K. Nieto, M. C. Meza, and M. Rivera, “Factores que inciden en la implementación de técnicas de prototipado rápido en empresas dedicadas al diseño de mobiliario en Quito, Ecuador,” *Universidad Ciencia y Tecnología*, vol. 25, no. 108, pp. 57–65, Mar. 2021, doi: 10.47460/uct.v25i108.431.
- [7] HP Development Company, “Materiales de impresión 3D de HP,” 2021.
- [8] G. Ruiz and D. Alvarez, “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MULTICABEZAL A UNA IMPRESORA 3D.” Accessed: Nov. 21, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7875/2/ARTÍCULO.pdf>
- [9] JUAN DIEGO MAHECHA VARGAS, “ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA APLICANDO LA METODOLOGÍA ‘DESIGN THINKING,’” 2021. Accessed: Nov. 20, 2022. [Online]. Available: https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/26729/1/506470_MAHECHA.pdf

- [10] “La primera casa impresa en 3D de España está en Valencia | Las Provincias.” Accessed: Oct. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.lasprovincias.es/valencia-ciudad/primera-casa-impresa-20180223181305-nt.html>
- [11] Zotes David, “Monitoreo en tiempo real de un sistema de fabricación aditiva para Octoprint,” 2019. Accessed: Apr. 18, 2023. [Online]. Available: https://riubu.ubu.es/bitstream/handle/10259/5075/Zotes_Gonzalez.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [12] M. R. Siepamann, “Actualización de impresoras 3D con monitoreo e impresión en línea,” Dec. 2022.
- [13] C. C. MACAS MONTAÑO and K. J. PILCO LLERENA, “CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE FUNDICIÓN MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE TECNOLOGÍA DE IMPRESIÓN 3D,” 2016. Accessed: May 09, 2023. [Online]. Available: <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/4676/1/85T00388.pdf>
- [14] Á. M. Calderón Romero, “Diseño y Construcción de una Impresora 3D de Plástico,” 2016. Accessed: May 09, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5718/1/126384.pdf>
- [15] O. Llamba, “SISTEMA DE IMPRESIÓN PARA EL DEPÓSITO DE SEMICONDUCTORES ORGÁNICOS EMBEBIDOS EN MATERIALES POLIMÉRICOS,” 2018.
- [16] Galbiati Ariel, “Impresión 3D, tecnología y polímeros,” pp. 2–4, 2019.
- [17] E. Canessa, “Impresión 3D de Bajo Costo para la Ciencia, la Educación y el Desarrollo Sustentable.”
- [18] F. Bordignon, A. A. Iglesias, and Á. Hahn, “DISEÑO E IMPRESIÓN DE OBJETOS 3D Una guía de apoyo a escuelas.”
- [19] F. Bordignon, A. A. Iglesias, and Á. Hahn, “DISEÑO E IMPRESIÓN DE OBJETOS 3D,” 2018.
- [20] “Impresoras 3d Como Funcionan - 3D Market.” Accessed: Oct. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.3dmarket.mx/consejos-impresion/impresora-3d-amazon/>

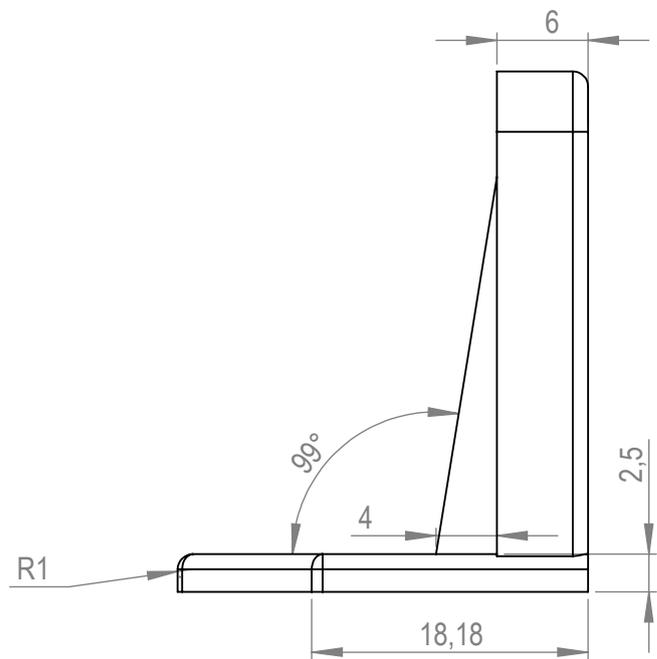
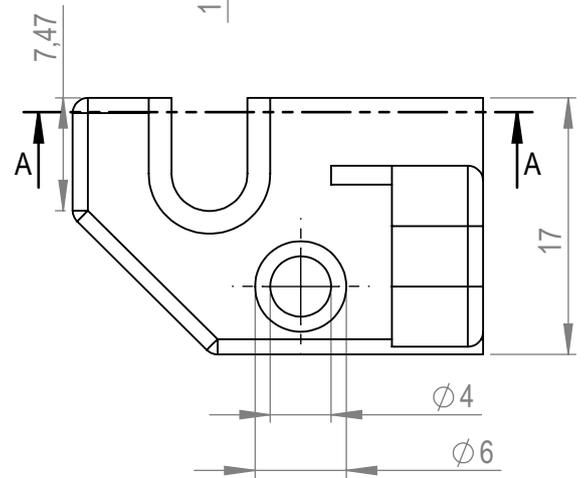
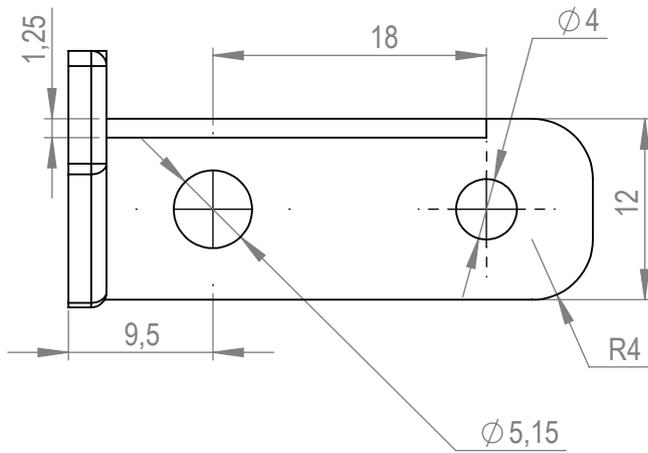
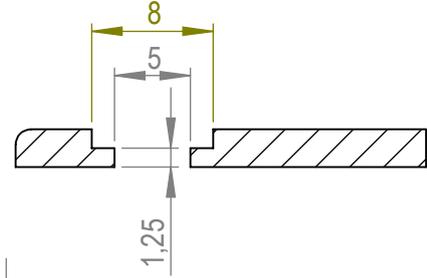
- [21] R. Christoph, R. Muñoz, and Á. Hernández, “Manufactura Aditiva Additive manufacturing,” 2016.
- [22] Adam. Jorquera Ortega, *Fabricación Digital*. Ministerio de Educación de España, 2017.
- [23] Erasmus Programme, “GUIA TÉCNICA DE IMPRESIÓN 3D,” 2017.
- [24] SICNOVA, “Filamento ABS Fusion+.” [Online]. Available: www.innofil3d.com
- [25] O. Campaña, ; Guerrero, and V. Hugo, “Mechanical and Thermal Characterization of Poly lactic Acid (PLA) reinforced with Bamboo Powder (PB),” 2018. Accessed: May 06, 2023. [Online]. Available: [<http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rpolit/v42n1/2477-8990-rpolit-42-01-00017.pdf>].
- [26] Ultimaker, “Ficha de datos técnicos PLA,” 2017.
- [27] Y. N. QUEVEDO SUPELANO and C. A. BONILLA DUEÑAS, “CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL COPOLÍMERO PETG MEDIANTE IMPRESIÓN FDM 3D,” UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, Bogotá, 2021. Accessed: May 06, 2023. [Online]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/28358/QuevedoSupelanoYei-sonNeftali2021.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [28] plasticoscarrera.com, “PETg Propiedades.”
- [29] A. F. Chica Pérez and J. M. García, “Creando Redes Doctorales Vol. VII: ‘Investiga y Comunica’ Edición a cargo de,” 2019.
- [30] Creativo3D.com, “Ender 3 Pro Guía del Usuario.” [Online]. Available: www.creality3d.cn,
- [31] J. Salazar and Y. S. Silvestre, “INTERNET DE LAS COSAS.” [Online]. Available: <http://www.techpedia.eu>
- [32] I. Francisco Javier Flores Zermeño, E. Gonzalo Cossio Franco, and F. Javier Flores, “Aplicaciones, Enfoques y Tendencias del Internet de las Cosas (IoT): Revisión Sistemática de la Literatura,” vol. 13, no. 9, p. 568, 2021.
- [33] A. : César and O. Aranda, “Plataforma SaaS de impresión 3D,” 2020.

- [34] S. Li, E. Freije, and P. Yearling, “Monitoring 3D Printer Performance using Internet of Things (IoT) Application Monitoring 3D Printer Performance using Internet of Things (IoT) Application.”
- [35] I. Bou, “Servidor de monitorización y control de una impresora 3D con integración de tecnologías diversas.,” 2018.
- [36] C. Represa, “Monitor en tiempo real de un sistema de fabricación aditiva para OctoPrint,” 2019.
- [37] P. Gharge, “OctoRemote: How to Use OctoPrint on Android | All3DP.” Accessed: May 16, 2023. [Online]. Available: <https://all3dp.com/2/octoprint-android-octoreMOTE-simply-explained/>

CAPÍTULO VI
ANEXOS



SECCIÓN A-A
ESCALA 2 : 1

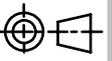


NOTA: Todos los redondeos son de 1 mm.



PROYECTO: SISTEMA DE CONTROL REMOTO PARA IMPRESORA 3D

ESCALA



PARTE: SOPORTE NIVELACIÓN

2:1

CÓDIGO: UTN-SN-001

TOLERANCIA: $\pm 0,02$

MATERIAL:

PETG

DISEÑO:

VALENZUELA

27/8/2023

HOJA:

TRATAMIENTO:

NINGUNO

DIBUJÓ:

VALENZUELA

27/8/2023

A4

RECUBRIMIENTO:

NINGUNO

REVISÓ:

ROSERO X.

17/10/2023

1/2

CANTIDAD:

1

APROBÓ:

MEJÍA C.

17/10/2023

FICA

CIME

4

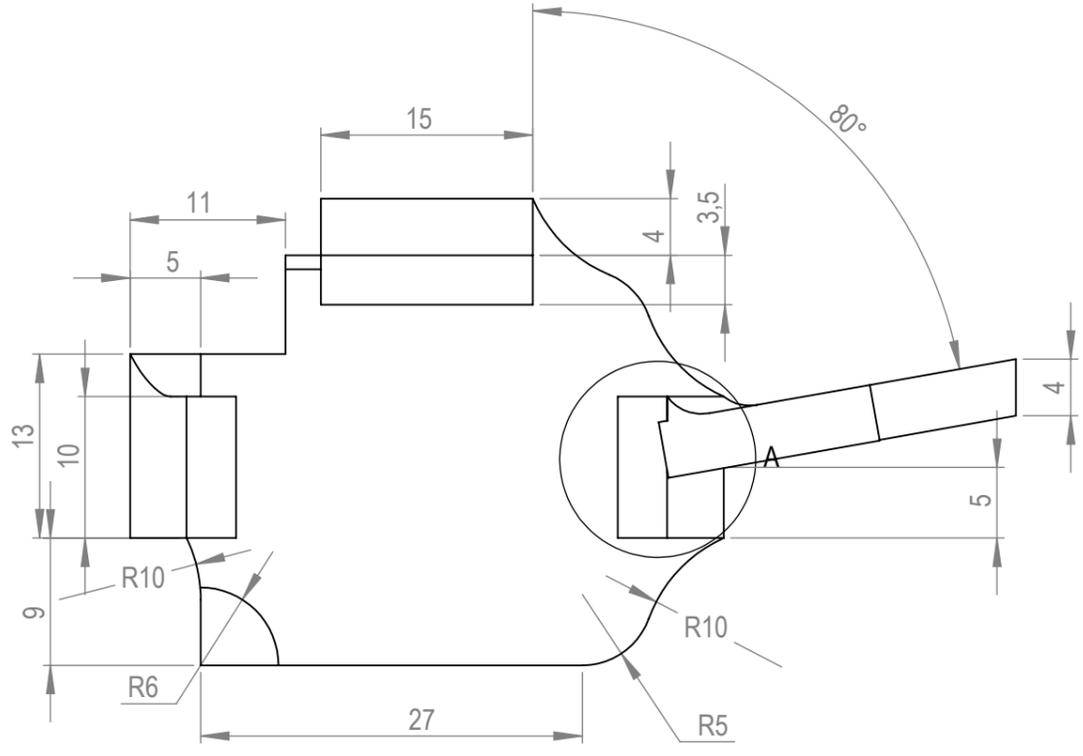
3

2

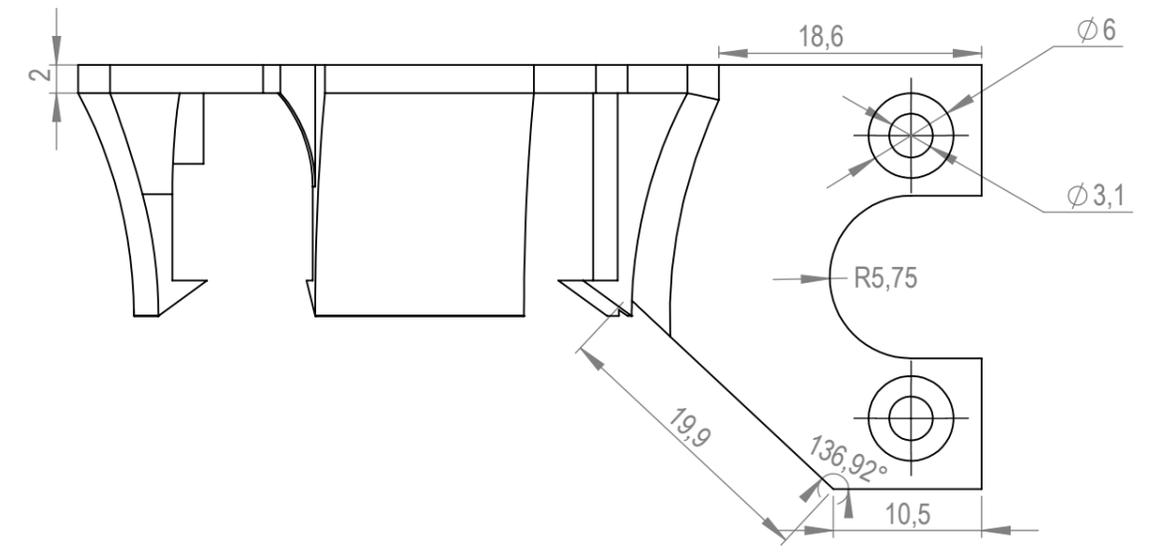
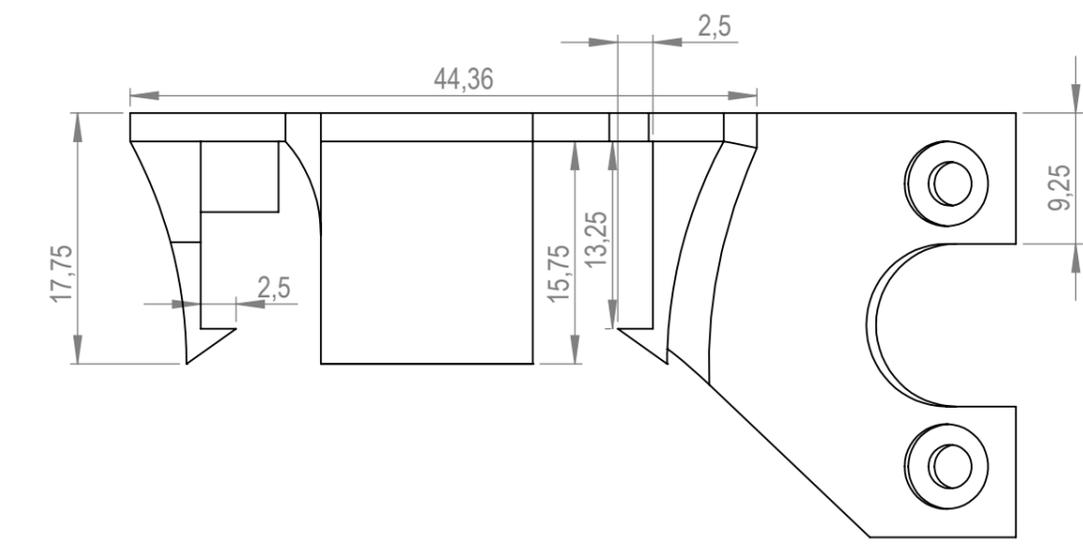
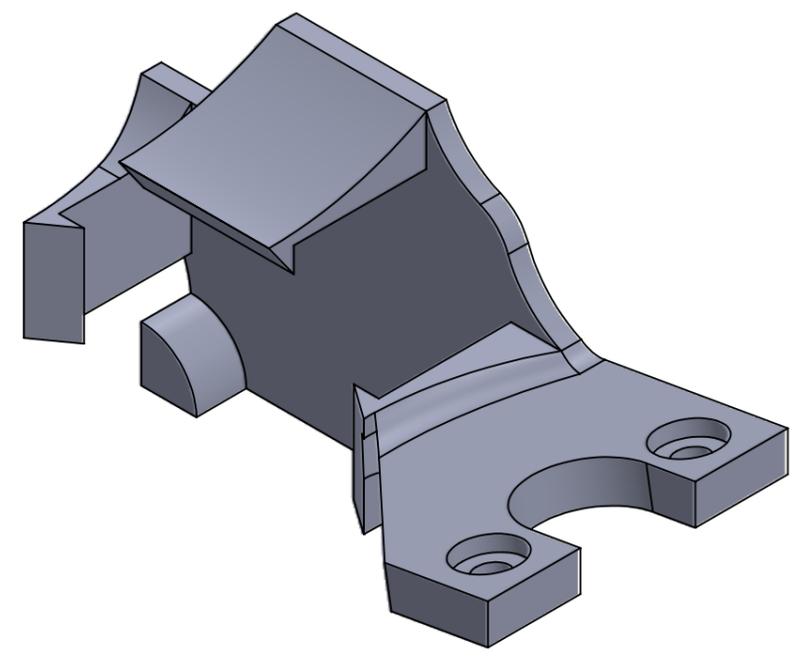
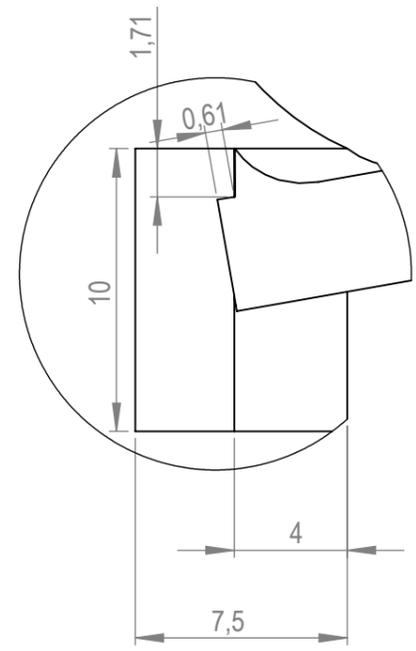
1

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A



DETALLE A
ESCALA 4 : 1



	PROYECTO: SISTEMA DE CONTROL PARA IMPRESORA 3D				ESCALA 2:1	
	PARTE: SENSOR FINAL DE FILAMENTO				TOLERANCIA: ± 0,02	
	CÓDIGO: UTN-SFF-01					
	MATERIAL:	PETG	DISEÑO:	VALENZUELA	27/8/2023	HOJA:
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	VALENZUELA	27/8/2023	A3
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	ROSERO X.	17/10/2023	2/2	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA C.	17/10/2023		

FICA CIME

8 7 6 5 4 3 2 1

NOMBRE DEL TRABAJO

Tesis Final 2.5-1.pdf

AUTOR

Danny Valenzuela

RECUENTO DE PALABRAS

11094 Words

RECUENTO DE CARACTERES

57254 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

47 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.4MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 18, 2023 2:54 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 18, 2023 2:55 PM GMT-5**● 8% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de trabajos entregados
- Fuentes excluidas manualmente
- Material bibliográfico