

Universidad Internacional de La Rioja (UNIR)

ESIT

Máster Universitario en Industria 4.0

**Transformación
digital tienda
artesanías,
fabricación local
mediante FA y
obtención de
sinergias.**

Trabajo Fin de Máster

presentado por: Ortiz Beltrán, Víctor Lenin

Director: Sánchez, Miguel Ángel

Ciudad: Quito, Ecuador
Fecha: 23 septiembre 2020

Resumen

Arcilla, elemento natural sostenible y reutilizable, material óptimo para la Alfarería Decorativa, enfoca nuestro ecosistema IoT a recurrir de la impresora 3D FDM Ender 3 PRO repotenciada con placa MRR ESPA en su electrónica y acoplada al CERAMIC KIT PRO para transformarla en nuestro modelo **Dispositivo** IoT ganador de entre 3 casos estudiados como la solución óptima para técnicas de impresión LDM domésticas para objetos funcionales e integración **Middleware** gracias a sinergia de conectividad WiFi explotada a través de la **Plataforma** IoT ThingSpeak para ejecutar funciones: ingest, almacenamiento y monitorización en tiempo real de datos del proceso de impresión. La ejecución nativa de MATLAB dota un valor agregado abordando funciones de analítica al **Proceso** y el soporte MRR ESPA con firmware Marlin 2.0 permite levantar un servidor web para habilitar su telecontrol vía WEB. Finalmente, el presupuesto referencial indicado marcará el inicio de su implantación futura a mediano plazo.

Palabras Clave: Arcilla Dispositivo Middleware Plataforma Proceso

Abstract

Clay, a sustainable and reusable natural element, an optimal material for Decorative Pottery, focuses our IoT ecosystem to use the 3D printer FDM Ender 3 PRO repowered with an MRR ESPA plate in its electronics and coupled to the CERAMIC KIT PRO to transform it into our IoT **Device** model winner of 3 cases studied as the optimal solution for domestic LDM printing techniques for functional objects and **Middleware** integration thanks to WiFi connectivity synergy exploited through the ThingSpeak IoT **Platform** to execute functions: ingest, storage and real-time monitoring of data of the printing process. The native MATLAB execution provides added value by addressing analytical functions to the **Process** and the MRR ESPA support with Marlin 2.0 firmware allows to build a web server to enable its remote control via WEB. Finally, the reference budget indicated will mark the beginning of its future implementation in the medium term.

Keywords: Clay Device Middleware Platform Process

Índice de Contenidos

CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Motivación.....	1
1.2. Planteamiento del trabajo.....	2
1.3. Estructura del trabajo	2
1.3.1. Contexto y estado del arte	2
1.3.2. Descripción general de la contribución del TFM	3
1.3.3. Desarrollo específico de la contribución del TFM	4
1.3.4. Conclusiones y trabajo futuro.....	5
CAPÍTULO 2	6
2. CONTEXTO Y ESTADO DEL ARTE	6
2.1. Descripción general del contexto del proyecto	6
2.2. Tecnologías involucradas.....	8
2.2.1. Fabricación Aditiva y servicios de impresión 3D On Line	8
2.2.2. Capacidad para integración de tecnología FDM con tecnología LDM	17
2.2.3. Ganancia de sinergia de tecnología LDM con tecnología FDM	23
2.2.4. Placa Controladora, Placa de Potencia e Interconexión WiFi para LDM	26
2.2.5. Plataformas IoT, Integración y Almacenamiento de DATA	33
2.2.6. Control remoto de impresora 3D vía página WEB	38
2.3. Conclusiones:	41
CAPÍTULO 3	43
3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CONTRIBUCIÓN DEL TFM	43
3.1. Objetivos:.....	43
3.1.1. Objetivo General	43
3.1.2. Objetivos Específicos	43
3.2. Metodología del trabajo.....	43
3.3. Especificaciones generales Ecosistema IoT.....	44
3.4. Relación con la metodología Design Thinking.....	45

3.4.1	Empatía	45
3.4.2	Definición	46
3.4.3	Ideación	47
3.4.4	Prototipado.....	48
3.4.5	Testeo.....	50
CAPÍTULO 4		52
4. DESARROLLO ESPECÍFICO DE LA CONTRIBUCIÓN DEL TFM.....		52
4.1. Estudio tecnológico comparativo.....		52
4.1.1	Elementos Modelo 1 → Dispositivo IoT LDM	52
4.1.2	Elementos Modelo 2 → Dispositivo IoT LDM	54
4.1.3	Elementos Modelo 3 → Dispositivo IoT LDM	56
4.1.4	Esquemas Ecosistema IoT → Plataforma ThingSpeak	59
4.2. Descripción de la solución.....		61
4.3. Alcance y limitaciones.....		63
4.3.1. Alcance		63
4.3.2. Limitaciones		64
4.4. Arquitectura e integración de tecnologías		64
4.4.1	Creality Ender 3 Pro.....	64
4.4.2	Ceramic 3D Printing KIT PRO	67
4.4.3	MRR ESPA	72
4.4.4	ESP3D WEBUI	76
4.4.5	THINGSPEAK.....	77
4.4.6	MATLAB	81
4.5. Resultados Esperados		83
4.6. Presupuesto.....		84
4.7. Planificación.....		85
CAPÍTULO 5		86
5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO		86
5.1. Conclusiones		86

5.2. Trabajo Futuro	89
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	96

Índice de ilustraciones

Ilustración 1-1: Impresión 3D de cerámica decorativa	1
Ilustración 1-2: Objetos funcionales cerámicos.....	2
Ilustración 2-1: Tienda Kirei Crafts & Arts EC	6
Ilustración 2-2: Técnica Binder Jetting.....	10
Ilustración 2-3: Técnica SLA.....	11
Ilustración 2-4: Técnica DLP	12
Ilustración 2-5: Técnica CDLP	13
Ilustración 2-6: Técnica LDM	14
Ilustración 2-7: Técnica Nano Particle Jetting.....	15
Ilustración 2-8: Servicios de impresión 3D.....	17
Ilustración 2-9: Técnica FDM.....	18
Ilustración 2-10: Sistema de Extrusión	19
Ilustración 2-11: Filamentos para FDM.....	21
Ilustración 2-12: Impresoras 3D LDM domésticas	22
Ilustración 2-13: Principio básico dispensador fluidos.....	23
Ilustración 2-14: Mecanismo extrusor válvula de barrera.....	25
Ilustración 2-15: LDM Wasp Extruder	25
Ilustración 2-16: Esquema Electrónica Impresora 3D	26
Ilustración 2-17: Vanguardia Controladores.....	26
Ilustración 2-18: Vanguardia Shield	29
Ilustración 2-19: Variantes RAMPS shield	29
Ilustración 2-20: Variante MKS Gen V1.4 shield	30
Ilustración 2-21: Variante SKR V1.4 shield	31
Ilustración 2-22: Elementos Auxiliares.....	33
Ilustración 2-23: Single Board MRR	33
Ilustración 2-24: Búsqueda Plataforma IoT código abierto.....	34
Ilustración 2-25: ThingSpeak	34
Ilustración 2-26: Ubidots	35
Ilustración 2-27: Kaa	36
Ilustración 2-28: OpenEnergyMonitor	37
Ilustración 2-29: Thinger.io	37
Ilustración 2-30: OctoPrint	39
Ilustración 2-31: Win32 Disk Imager	39
Ilustración 2-32: ESP3D WEBUI.....	40
Ilustración 3-1: Waterfall	43

Ilustración 3-2: Design Thinking	45
Ilustración 3-3: Fase Empatía.....	45
Ilustración 3-4: Fase Definición	46
Ilustración 3-5: Fase Ideación.....	47
Ilustración 3-6: a) Esquema Ecosistema IoT - Fase Prototipado	49
Ilustración 3-7: b) Modelos solución LDM – Fase Prototipado	49
Ilustración 3-8: Fase Testeo	50
Ilustración 4-1: Prusa i3 MK3S	52
Ilustración 4-2: Clay Extrusor	53
Ilustración 4-3: Placas: Arduino MEGA + RAMPS 1.4	53
Ilustración 4-4: OctoPrint bajo Raspberri Pi.....	54
Ilustración 4-5: Creality Ender 3 Pro	54
Ilustración 4-6: Elementos Kit PRO	55
Ilustración 4-7: Placa MRR ESPA	56
Ilustración 4-8: Entorno ESP3D WEB UI	56
Ilustración 4-9: Anet A8	57
Ilustración 4-10: Elementos WASP Clay Kit.....	57
Ilustración 4-11: Placa SKR V1.3	58
Ilustración 4-12: OctoPrint bajo Raspberri Pi.....	58
Ilustración 4-13: Ecosistema IoT basado en ThingSpeak	59
Ilustración 4-14: Ecosistema IoT Modelo 1	60
Ilustración 4-15: Ecosistema IoT Modelo 2	60
Ilustración 4-16: Ecosistema IoT Modelo 3	60
Ilustración 4-17: Ecosistema IoT Modelo Óptimo	62
Ilustración 4-18: Creality Ender 3 PRO	64
Ilustración 4-19: Ensamblado Creality Ender 3 PRO	65
Ilustración 4-20: Configurado Cura Creality Ender 3 PRO	66
Ilustración 4-21: Ceramic KIT PRO	67
Ilustración 4-22: Ensamblado Ceramic KIT PRO	68
Ilustración 4-23: Conexión INPUT a impresora 3D	70
Ilustración 4-24: Conexión OUTPUT a impresora 3D	71
Ilustración 4-25: MRR ESPA	72
Ilustración 4-26: Conexión MRR ESPA a impresora 3D	74
Ilustración 4-27: Accediendo ESP3D WEBUI	76
Ilustración 4-28: MRR ESPA - ThingSpeak	77
Ilustración 4-29: Configuración del ESP32 con el IDE de Arduino	79
Ilustración 4-30: Enviando datos a la nube usando ESP32:	80

Ilustración 4-31: MATLAB - ThingSpeak.....	81
Ilustración 4-32: Acceso Caja Herramientas MATLAB.....	82
Ilustración 5-1: Plataforma Propósito General como MIDDLEWARE.....	89
Ilustración 5-2: Despliegue en Microsoft Azure planteado.	90
Ilustración A-1: Ecosistema IoT → Modelo 1	96
Ilustración A-2: Montaje RAMPS a Arduino MEGA.....	97
Ilustración A-3: Conexión placa RAMPS	97
Ilustración A-4: Conexión placa Raspberry PI	99
Ilustración A-5: Acople Kit Clay XYZ Extrusor	99
Ilustración A-6: Ecosistema IoT → Modelo 2.....	100
Ilustración A-7: Conexión Drivers TMC 2130.....	101
Ilustración A-8: Integración ESP3D	101
Ilustración A-9: Componentes “Ceramic 3D Printing KIT PRO”	102
Ilustración A-10: Ecosistema IoT → Modelo 3.....	103
Ilustración A-11: Conexión placa SKR 1.4.....	104
Ilustración A-12: Conexión Drivers TMC 2209.....	105
Ilustración A-13: Conexión pantalla TFT35 V3	106
Ilustración A-14: Conexión placa Raspberry PI	106
Ilustración A-15: Conexión pines RPI a SKR 1.4.....	106
Ilustración A-16: Componentes KIT LDM Wasp Extruder	107
Ilustración A-17: Diagrama Grantt → Planificación.....	108

Índice de Tablas

Tabla 2-1: Matriz DAFO Kirei Crafts & Arts	7
Tabla 2-2: Evolución del mercado de la impresión 3D de cerámica	8
Tabla 2-3: Características Raspberry Pi	27
Tabla 2-4: Características ESP8266 – ESP32	27
Tabla 2-5: Características Arduino	28
Tabla 2-6: Variantes GT shield	30
Tabla 2-7: Variantes SKR shield	31
Tabla 4-1: Parámetros del Ceramic KIT PRO	69
Tabla 4-2: Presupuesto Referencial	85
Tabla 5-1: Componentes Microsoft Azure	90

Acrónimos y Términos

- Kirei Crafts & Arts EC** → Nombre de la tienda de artesanías funcionales decorativas.
- FA** → “Fabricación Aditiva”
- WIFI** → “Wireless Fidelity”
- LAN** → Local Área Network
- Bluetooth** → Especificación industrial para redes inalámbricas de área personal WPAN.
- CAD** → “Computer Aided Design”
- STL** → “StereoLithography”, formato de archivo informático de CAD.
- FDM** → “Fused Deposition Modelling”
- FFF** → “Fusion Filament Fabrication”
- LDM** → “Liquid Deposition Modeling”
- VAT** → “Photopolymerization”
- SLA** → “Stereolithography”
- DLP** → “Digital Light Processing”
- CDLP** → “Continuous Digital Light Processing”
- BJ** → “Binder Jetting”
- NPJ** → “NanoParticle Jetting”
- RepRap** → “Replication Rapid Prototypers”
- Mundo Maker** → Cultura que engloba a las personas que deciden hacer en vez de comprar.
- GitHub** → Plataforma de desarrollo colaborativo de software, aloja proyectos código abierto.
- GUI** → “Interfaz Gráfica Usuario”
- IoT** → “Internet of Things”
- Cloud** → La Nube.
- Open source** → “Fuente Abierta”, software con acceso a su código de programación.
- WEB** → Diminutivo de la world wide web o www.
- PMBOK** → “Project Management Body of Knowledge”
- PMI** → “Project Management Institute”
- Scrum** → Metodología ágil para la gestión de proyectos.
- Design Thinking** → Metodología para afrontar problemas en las organizaciones.
- Framework** → Conjunto de herramientas y módulos reutilizados para varios proyectos.
- Big Data** → Describe el gran volumen de datos, estructurados como no estructurados
- DAFO** → “Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades”
- SMD** → “Surface Mounted Device”
- HOT END** → “Final Caliente”, parte final del extrusor que funde el filamento.
- END STOP** → “Parada Final”, final de carrera para determinar el inicio de impresión.
- LCD** → “Liquid Cristal Display”
- SoC** → “System on a Chip”
- ESP32** → Familia SoC de bajo costo y consumo energético con WiFi y Bluetooth nativo
- ESP8266** → Familia SoC de bajo costo y consumo energético.
- ARDUINO** → Plataforma de hardware libre.
- SBC** → “Single Board Computer”
- RASPBERRY PI** → Placa SBC de bajo coste, ordenador de tamaño reducido.
- PCB** → “Printed Circuit Board”
- PCBA** → “Printed Circuit Board Assembly”
- TSMC** → “Taiwan Semiconductor Manufacturing Company”
- ESPRESSIF** → Empresa multinacional fabless de semiconductores, matriz en Shangai.
- ETHERNET** → Estándar de redes de área local.
- SD** → “Secure Digital”
- SPI** → “Serial Peripheral Interface”
- UART** → “Universal Asynchronous Receiver-Transmitter”
- IC** → “Integrated Circuit”
- I2S** → “Inter-IC Sound”
- I2C** → “Inter-Integrated Circuit”

IDE → “Integrated Development Environment”

SHIELD → Placa de circuito impreso usada para proteger a la placa de control.

RAMPS → ”Reprap Arduino Mega Pololu Shield”

GTM32 → Placa de control desarrollada por fabricante Geeetech para impresoras 3D.

MKS → Placa de control desarrollada por fabricante MakerBase para impresoras 3D.

SKR → Placa de control desarrollada por fabricante Bigtreetech para impresoras 3D.

GT2560 → Placa de control desarrollada por fabricante Geeetech para impresoras 3D.

MRR → “Maple Rain Research”, compañía limitada japonesa fabricante de tecnología.

ESPE → Placa de control desarrollada por fabricante MRR para impresora 3D.

ESPA → Placa de control desarrollada por fabricante MRR para impresora 3D.

THINGSPEAK → Plataforma online de código abierto de análisis para IoT

UBIDOTS → Plataforma online dirigida al mundo del IoT.

KAA → Plataforma de código abierto online para desarrollo de IoT y dispositivos inteligentes.

EMONCMS → Plataforma de código abierto online dirigido a IoT, parte de OpenEnergyMonitor

OpenEnergyMonitor → Proyecto para desarrollo sostenible basado en código abierto.

THINGER.IO → Plataforma de código abierto online que soporta múltiples tipos de protocolos.

URL → “Uniform Resource Locator”

HTML → “Hypertext Markup Language”

HTTP → “Hypertext Transfer Protocol”

MQTT → “Message Queue Telemetry Transport”

TCP → “Transport Control Protocol”

UDP → “User datagram protocol”

JSON → “JavaScript Object Notation”

API → “Application Programming Interface”

SDK → “Software Development Kit”

FRONT END → Parte del software que interactúa con los usuarios.

BACK END → Parte del software que procesa la entrada desde el *front end*.

GUI → Graphical User Interface”

ENDPOINT → Dispositivo informático remoto comunicado con la red a la que está conectado.

JAVA → Lenguaje de programación de alto nivel y plataforma informática.

SCRIPT → Documento que contiene instrucciones, escritas en códigos de programación.

C → Lenguaje de programación de alto nivel de propósito general.

C++ → Lenguaje de programación de alto nivel, extensión de C orientado a objetos.

APACHE → Servidor web HTTP de código abierto para plataformas.

AVRO → Formato open-source utilizado para la serialización de datos.

MYSQL → Sistema de gestión base de datos relacional de código abierto basado en SQL.

SQL → “Structured Query Language”

Buckets → Tipo de documento en el que los datos se divide en regiones.

IMG → “Integrated Multimedia Gateway”

RASPBIAN → Sistema operativo primario para la familia de placas SBC de Raspberry Pi.

SSID → “Service Set Identifier”

OCTOPRINT → Interfaz que corre en un navegador web.

OCTOPI → Programa ejecutable que instala OCTOPRINT y otros complementos.

ESP3DWEBUI → Interfaz de usuario web para placas basadas en ESP8266 o ESP32.

MARLIN 2.0 → Versión de firmware de código abierto para RepRap y otras impresoras 3D

FIRMWARE → Software de directa interacción con el hardware para manejarlo físicamente.

HARDWARE → Parte física, abarca todo aquello tangible en un sistema informático.

SOTWARE → Programas, abarca todo aquello intangible en un sistema informático.

MIDDLEWARE → Lógica de intercambio de información entre aplicaciones.

Streaming Analytics → Capacidades de análisis de grandes volúmenes de datos.

MATLAB → “MATrix LABoratory” es un sistema de cómputo numérico con IDE

ThingSpeakRead → Función de MATLAB para leer los datos de un canal de ThingSpeak.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

Los clientes: turistas o residentes amantes a la decoración funcional por falta de tiempo en sus agendas, a menudo no pueden trasladarse a tiendas para realizar la compra de objetos funcionales para decorar sus espacios interiores, y si logran hacerlo, suele pasar que los productos que ellos observan a veces no cumplen totalmente sus expectativas, ya sea por diferentes características indiferentes al precio de venta del artículo como: diseño, geometría, tamaño, peso, color, etc.

La tienda Kirei Crafts & Arts EC desea incursionar en un área de innovación para ganar cuota de mercado y para ello pretende abordar la fabricación inteligente de nuevos productos en el sector del diseño y artesanía, es decir aprovechar las sinergias que nos brinda la aplicación de las tecnologías habilitadoras de la industria 4.0 para lograr una transformación digital que se aplique a esta nueva línea de negocio en particular.

Sin duda actualmente es relevante la fabricación aditiva en materiales cerámicos, arcilla, polímeros, ya que la industria ha revolucionado mediante la evolución de tecnologías en la fabricación de tipos de materiales como en sus métodos para la respectiva impresión 3D; adicional algo fundamental es que cuando se trabaja con FA en materiales cerámicos el resultado es un producto final personalizado, no un prototipo.



Ilustración 1-1: Impresión 3D de cerámica decorativa
Fuente: (Decoluxe, 2015)

1.2. Planteamiento del trabajo

El concepto es optimizar el proceso de fabricación de un nuevo producto como un valor agregado para su venta, a través del uso de internet vía red WiFi o red LAN para la conectividad con una plataforma IoT que habilitará la adquisición y almacenamiento de datos en el Cloud referentes a importantes aspectos del producto que el usuario final dote, a fin de generar registros digitales para su correspondiente diseño y modelado a través de herramientas de software CAD, plasmando así la fabricación aditiva bajo la aplicación de tecnología doméstica, como la impresión 3D .

Se escogerá como base la técnica FDM pero con extrusores adaptados para nuestro material de construcción, entonces; aplicaremos la variante LDM para fabricación de piezas de forma más sencilla y con diseños más complejos para trabajos en Cerámica, Alfarería; en donde la arcilla o los polímeros serán usados como principales materiales para la elaboración de: floreros, tazones, vasos, platos, tazas, jarrones, vajillas o incluso pequeñas esculturas, es decir; toda clase de objetos u accesorios decorativos para espacios internos que sean totalmente funcionales para el cliente, los mismos que estarán inmersos en volúmenes de impresión de: 200 x 200 x 180 mm como medidas promedio; logrando así una cadena de interacción: vendedor, impresora 3D, y consumidor.



Ilustración 1-2: Objetos funcionales cerámicos

Fuente: (ClayXYZ, 2018)

1.3. Estructura del trabajo

Vamos a comentar brevemente que enmarcará los tópicos tratados para cada capítulo.

1.3.1. Contexto y estado del arte.

En este capítulo describiremos la evolución tecnológica de los materiales cerámicos, como la cerámica decorativa, la cerámica estructural, la cerámica refractaria entre otras. Destacaremos a la arcilla como la solución óptima de material más adecuado para la

fabricación de objetos cerámicos en trabajos de Alfarería Decorativa, así como la consulta de los servicios de impresión en 3D On Line disponibles en el mercado, se hará hincapié en aspectos como: capacidad tecnológica (recursos), capacidad económica (tarifas), capacidad productiva (tiempos).

Del mismo modo describiremos las tecnologías más utilizadas de impresión 3D para cerámica como: Binder Jetting, SLA, DLP, CDLP, LDM y Nano Particle Jetting; abordaremos el uso de los servicios de impresión en 3D On Line e indicaremos ventajas y desventajas como una de las tendencias más básicas, sencillas y económicas.

Profundizaremos en la técnica de impresión 3D por FDM, su principio de funcionamiento, la arquitectura de componentes fundamentales qué influyen para el acabado y la fiabilidad de la impresora como: extrusor, hotend, y elementos auxiliares. Se hará referencia en variantes para acoplar el uso de Kits para lograr técnicas de impresión LDM, su ganancia en sinergia adquirida en capacidades WiFi y capacidades IoT; así como también sus reales posibilidades de implantación doméstica a nivel de usuario y la democratización en la comunidad RepRab.

Describiremos la electrónica asociada a una impresora 3D como: placas microcontroladores, placas shield y dispositivos, todos ellos de uso doméstico y de última generación centrados en una gama de características tecnológicas y tendencias apropiadas para ser optimizadas en una aplicación para un tablero de control de una impresora 3D LDM.

Finalmente abordaremos las principales plataformas IoT Open Source On Line que existen actualmente disponibles en el mercado, así como novedosas aplicaciones WEB que nos otorguen configuraciones para levantar servicios que habiliten el control remoto vía web.

1.3.2. Descripción general de la contribución del TFM.

En este capítulo describiremos de una forma general los puntos que se contemplarán en este proyecto, se presentará los objetivos generales y específicos, los mismos que estarán enfocados con el estudio comparativo tecnológico que se desarrollará, así como con la obtención del correspondiente presupuesto para resolver la solución planteada.

Para alcanzar nuestros objetivos también expondremos la metodología que se adapte a nuestras condiciones de proyecto, dependiendo de los requerimientos buscaremos apoyarnos en la aplicación de modelos como: PMBOK , PMI, secuencial, espiral o incluso Scrum, etc. Aquí la idea es seleccionar el modelo idóneo para nuestra problemática ya que esta deberá justificarse en todo el ciclo de vida del proyecto.

Detallaremos la especificación de requerimientos que contemplaremos para ensamblar nuestro ecosistema IoT propuesto y la relación con uno de los métodos más aplicados actualmente para buscar y abordar las estrategias creativas que los diseñadores utilizan durante el proceso de diseño, la metodología Design Thinking que en español que en español se traduce literalmente como: "Pensamiento de Diseño".

1.3.3. Desarrollo específico de la contribución del TFM.

En este capítulo describiremos de una forma detallada los puntos que se contemplaron para este proyecto, se presentará un estudio tecnológico comparativo con respecto a la electrónica que es la encargada de gestionar todos los procesos que se van a llevar a cabo por una impresora 3D, compararemos y seleccionaremos de entre diferentes variantes que ofrece el mercado, la solución óptima para el uso de una tarjeta microcontroladora doméstica de última generación que habilite capacidades de conectividad WiFi para su uso como una aplicación para un tablero de control LDM.

Del mismo modo lo haremos con las capacidades IoT disponibles para el uso de la plataforma que mejor se adapte, se buscará características que brinden funciones de captura y almacenamiento de datos (Cloud) en tiempo real del proceso de producción y que adicional otorgue compatibilidad total con el hardware del ecosistema IoT seleccionado. Aquí estará inmersa nuestra tarjeta microcontroladora elegida y el uso de aplicaciones WEB para lograr el control remoto de la impresión 3D.

Indicaremos los detalles de los resultados arrojados por el estudio tecnológico comparativo de los 3 casos de repotenciación de la electrónica de una impresora FDM doméstica acoplado a un kit para impresión en arcilla por medio del uso de placas shield y controladoras, así como la exposición puntual de su solución óptima seleccionada.

Describiremos al caso ganador como la solución óptima planteada a través de esquemas, diagramas y tablas para ilustrar sus prestaciones, ventajas y desventajas; del mismo modo se discutirá su alcance y potenciales limitaciones.

La arquitectura e integración de tecnologías será ilustrada en todos sus niveles, para ello haremos hincapié en cada detalle de su ciclo.

Detallaremos como la incorporación de mecanismos y elementos internos tales como: pistones, juntas, reguladores y válvulas de presión se establecen como componentes fundamentales que acoplados a elementos primarios como el cabezal, extrusor, hotend, influyen en el acabado y la fiabilidad de la impresora para lograr obtener una solución óptima

en métodos para procesos de deposición de capas con materiales fluidos y densos como son el uso de la arcilla o los polímeros.

También se detallará la sinergia adquirida, específicamente en el uso de microcontroladoras modernas con prestaciones como: WiFi, Bluetooth, Cámara WEB, CPU en 32 bits bajo frecuencia de operación de 240 Mhz, soporte para interfaces WEB totalmente optimizadas para una aplicación como un tablero de control. Para las interfaces WEB detallaremos el uso de: comandos, lenguajes de programación, frameworks o librerías seleccionadas para solventar el control remoto de la impresora vía WEB y como un complemento a esta funcionalidad incluiremos el monitoreo en tiempo real de su proceso de fabricación a través de una cámara web compatible con el hardware involucrado.

Se detallará como la conectividad Wifi e integración con una plataforma IoT de código abierto marcarán la vanguardia de esta solución óptima elegida, brindando funciones de captura y almacenamiento de datos (Cloud) en tiempo real del proceso de producción y al mismo tiempo permitiendo el uso de herramientas informáticas integradas de forma nativa para ejecutar Data Analytics en el análisis y visualización de datos así como la posibilidad de técnicas de inteligencia artificial para la toma de decisiones a fin de aportar gestión y optimización al proceso de impresión 3D.

Finalmente, una vez descrita esta solución óptima definitiva, se evaluará su respectivo análisis económico a fin de obtener un presupuesto real, el mismo que marcará su implantación a futuro en un mediano plazo.

1.3.4. Conclusiones y trabajo futuro.

Finalmente, en este capítulo indicaremos resumidamente las principales contribuciones que aportará la solución óptima seleccionada para resolver las dificultades planteadas que los amantes a la decoración de objetos cerámicos funcionales atraviesan.

Se evidenciará que estas dificultades podrán ser cubiertas. Para aquello sustentaremos la consecución de nuestros objetivos propuestos para esta problemática en base a referencias impartidas en todo el desarrollo de este TFM.

Finalmente discutiremos de líneas de trabajo futuro que podrían aportar valor añadido a esta solución propuesta, resaltaremos las perspectivas de futuro que abre este trabajo para la tienda Kirei Crafts & Arts EC en incursionar en esta nueva área de innovación a fin de ganar cuota de mercado.

CAPÍTULO 2

2. CONTEXTO Y ESTADO DEL ARTE

2.1. Descripción general del contexto del proyecto

Vamos a determinar el entorno general en el cual se inscribirá el proyecto planteado para la nueva línea de negocio de la tienda Kirei Crafts & Arts EC. bajo los siguientes puntos:

Tipo de productos y servicios.- Diseño, personalización y elaboración de tarjeta de invitaciones y artesanías decorativas (recuerdos) para eventos sociales de índole familiar o corporativo tales como: cumpleaños, aniversarios, bienvenidas, despedidas, bautizos, confirmaciones, bodas, conferencias, lanzamientos, cursos, congresos entre otros.

Sector de actividad.- Diseño y Artesanía.



Ilustración 2-1: Tienda Kirei Crafts & Arts EC

Fuente: (Kirei Crafts & Arts EC, 2015)

Grado de implantación de las tecnologías.- Se la considera nivel bajo → medio, debido a que los artículos decorativos cerámicos son elaborados manualmente, se practica alfarería usando la arcilla como el principal material.

Se utiliza impresoras modernas para la elaboración de las tarjetas de invitaciones usando gran variedad de tipos y formatos de papel. Adicional todo el sistema de gestión en la recepción y la entrega de pedidos se lo realiza a través de una página exclusiva en la red social Facebook.

Procesos internos relacionados.- Diseño, personalización y elaboración de artículos cerámicos, gestión en la recepción y la entrega de pedidos.

Aspectos relevantes sobre la cultura.- Los socios de esta tienda lo conforman dos hermanos, ambos Electrónicos de profesión y amantes a la decoración, por ello apuestan al uso de tecnología y están convencidos que un estudio comparativo a nivel tecnológico como económico de las soluciones disponibles comercialmente, marcará la partida para una implantación a futuro de esta nueva línea de negocio.

Nivel de preparación de los empleados.- Sus empleados lo conforman cuatro jóvenes estudiantes universitarios de 20 años, quienes en turnos rotativos por parejas se encargan prácticamente de administrar este negocio, ellos poseen una actitud predisposta para adaptarse a los cambios y al uso de nuevas tecnologías digitales.

A continuación, se indica el análisis DAFO levantado:

MATRIZ - DAFO		Fortalezas Internas:	Debilidades Internas:
		<p>Producto de calidad y buen desempeño funcional.</p> <p>Perspectivas positivas de productos por la base de datos de clientes, excelente imagen ganada de la tienda.</p> <p>Predisposición por socios para asumir innovaciones tecnológicas.</p>	<p>Tiempos de producción elevados debido a proceso manual artesanas, genera mínimos en stock.</p> <p>Recepción de pedidos limitada en tienda o por su sitio de red social, debido a proceso manual artesanas</p> <p>Baja inversión en tecnología debido a presupuesto y desconocimiento total de socios de beneficios.</p>
<p>Oportunidades Externas:</p> <p>Pioneros en esta nueva línea de negocio: "artesanía inteligente" bajo uso de material 100% sostenible.</p> <p>Mayores ingresos debido a incremento en la recepción de pedidos por ventas por internet.</p> <p>Mayores ingresos debido a incremento de stock por tecnologías para fabricación.</p>	<p>Estrategia FO:</p> <p>Aprovechar excelente imagen de la tienda para lanzar nueva línea de negocio.</p> <p>Plasmar el ímpetu de innovación, desarrollando estudios referentes al desarrollo del reto para incrementar ventas</p>	<p>Estrategia DO:</p> <p>Compromiso en estudiar y capacitar al personal sobre tecnologías óptimas para nueva línea de negocio.</p> <p>Inversión en tecnología para reducir tiempos de producción, incrementar stock y recepción de pedidos.</p>	
<p>Amenazas Externas:</p> <p>Pérdida de ingresos debido a nuevas líneas de negocio que implemente la competencia.</p> <p>Relegación en esta nueva línea de negocio, imagen de tienda comprometida.</p> <p>Adopción de mercado: fabricantes, proveedores, usuarios.</p>	<p>Estrategia FA:</p> <p>Impulsar nueva línea de negocio a través de campañas de difusión educativas a socios y personal de: servicios nube, modelado digital, impresión 3D y aplicaciones para optimizar el proceso.</p> <p>Campaña de difusión para los socios de costos - beneficios obtenidos de la aplicación de tecnología para esta nueva línea de negocio.</p>	<p>Estrategia DA:</p> <p>Incentivar a la inversión en tecnología para mejorar productos: diseños complejos, personalizados, ligeros con menor esfuerzo y tiempo.</p> <p>Ejecutar un proyecto de innovación para alcanzar a plasmar el reto planteado, nueva línea de negocio: "Artesanía Inteligente"</p>	

Tabla 2-1: Matriz DAFO Kirei Crafts & Arts

Fuente: Elaboración propia

2.2. Tecnologías involucradas

2.2.1. Fabricación Aditiva y servicios de impresión 3D On Line

Generalidades:

El arte de la cerámica, cuyo origen se remonta al viejo continente específicamente a Grecia, en donde se la inventó para fabricar vasijas o platos a través del empleo de la arcilla cocida como resultado de su exposición al sol o al fuego para fines domésticos como actividades para el almacenamiento de agua y alimentos. (Cooper, 1987) Conforme la humanidad evoluciona, alrededor del siglo XIX, los materiales cerámicos son insertados a la industria debido al descubrimiento de características fundamentales como el aislamiento térmico y eléctrico en máquinas.

Actualmente la Fabricación Aditiva bajo la impresión 3D ha logrado explotar al máximo las características de la cerámica, debido a que estos materiales otorgan propiedades tipo mecánicas y geometrías de elevada resolución que al ser empleados con técnicas de fabricación tradicional no es posible aprovecharlas.

En definitiva, el uso de la cerámica es muy amplio, pero para este caso de estudio la enfocaremos en su aplicación como una de las tendencias más empleadas en decoración de interiores, la misma que gira en torno a la arcilla, este material natural que puede adoptar diferentes colores e infinidad de formas adaptándose eficientemente para el uso en menaje de cualquier estilo en entornos como: modernos, clásicos, rústicos, minimalistas, etc.

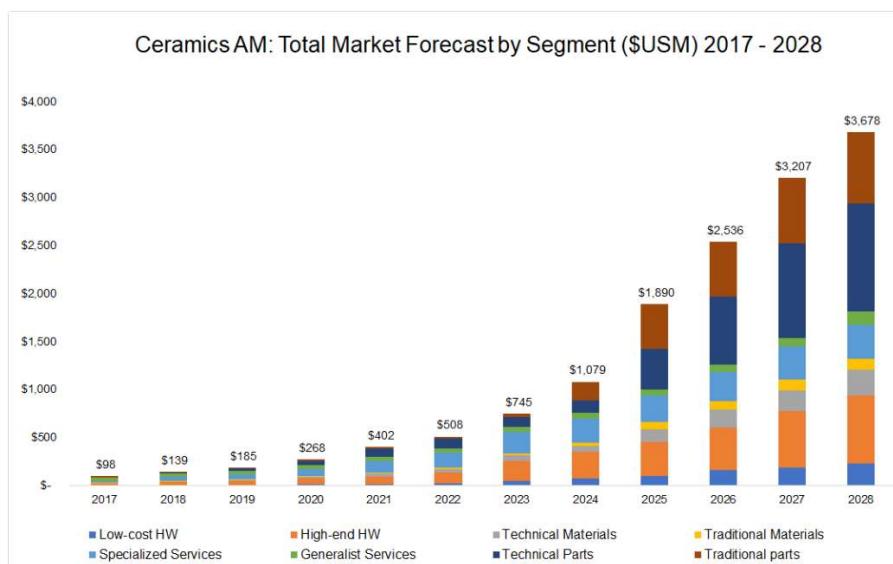


Tabla 2-2: Evolución del mercado de la impresión 3D de cerámica
Fuente: (Ceramics Additive Manufacturing Markets 2017-2028, 2017)

La firma SmarTech Publishing (*Ceramics Additive Manufacturing Markets 2017-2028*, 2017) presentó un reporte referente a la evolución de la impresión 3D de cerámica. En este artículo

se indicó que en el año 2025 esta industria alcanzará ya su madurez y que en el año 2028 llegará a generar hasta \$ 3.6 mil millones a nivel mundial. Esta cifra fue considerada por expertos como un futuro prometedor, ya que la industria de la fabricación aditiva para cerámica no forma parte de una industria totalmente asentada como por ejemplo la fabricación aditiva del plástico o incluso la fabricación aditiva del metal.

Evolución de materiales cerámicos:

La materia prima de los materiales cerámicos lo constituye la arcilla debido a que es un elemento natural fácil de encontrar en cualquier región del planeta. A medida que han ido evolucionando los materiales cerámicos también se ha evolucionado en su forma de fabricación. Hoy en día existen diferentes productos cerámicos:

Cerámica doméstica.- Usada en espacios internos como: vajillas, platos, tazones, jarras, etc.

Cerámica estructural.- Usada en construcción como: ladrillos, bloques, tejas, adoquines, etc.

Cerámica refractaria.- Usado en revestimientos como: loza, sé migres, gres, porcelánico, etc.

Cerámica técnica.- Usado en tecnología como en la industria automoción o aeroespacial, en donde se emplea materiales con gran resistencia mecánica, térmica, química y eléctrica.

De la misma manera que tenemos una gran variedad de materiales cerámicos, también existen varios métodos de impresión 3D de cerámica. A continuación, expondremos las tecnologías más relevantes y conocidas usadas para materiales cerámicos:

Tecnología Binder Jetting.

Binder Jetting es una tecnología que permite fabricar piezas de alta complejidad dentro de una amplia gama de materiales. Su técnica consiste en el uso de polvos cerámicos (1) que son esparcidos a lo largo de una plataforma (2) por medio de rodillos. (3) Posteriormente aglutinante es inyectado sobre el lecho de polvo para lograr solidificar la sección transversal obteniendo como resultado piezas multicolores, pero de menor resistencia para algunas aplicaciones industriales. Este proceso de impresión se resume en tres diferentes etapas:

- ✓ Deposición y extensión de una capa de materia prima particulada sobre la cama de polvo.
- ✓ Impresión de una sección transversal de la pieza aplicando aglutinante para unir el polvo.
- ✓ Secado de la capa impresa y desplazamiento descendente de la cama de polvo según el espesor de capa deseado.

Este ciclo se repite hasta la impresión de todas las capas que conforman la pieza. Una vez terminado, se procede a curar, dotando de estabilidad estructural a las piezas para

posteriormente ser desmoldeadas de la cama de polvo y sinterizadas a alta temperatura, se infiltran con un sellador para mejorar la resistencia y el acabado superficial. El polvo no utilizado es reciclado. (*Binder jetting*, 2020)

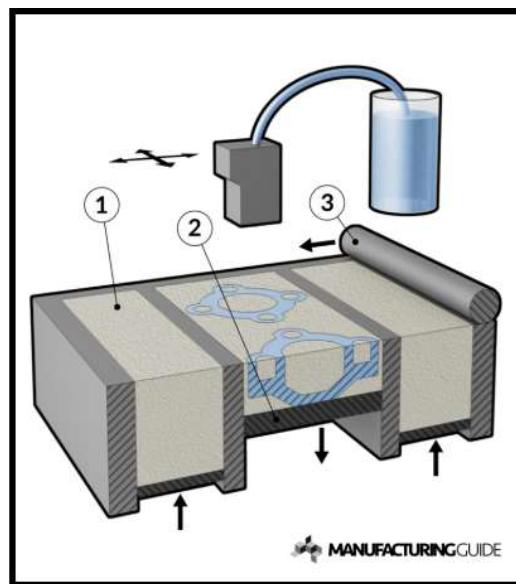


Ilustración 2-2: Técnica Binder Jetting

Fuente: (*Binder jetting*, 2020)

El nombre actual utilizado para el proceso originalmente patentado Binder Jetting es 3DP, cuya licencia pertenece a la empresa ExOne.

Ventajas:

- ✓ Solución catalogada como económica.
- ✓ Apto para piezas grandes.
- ✓ Usado con todo tipo de polvos.
- ✓ No requiere estructuras de soporte.

Desventajas:

- ✗ Los acabados superficiales no son óptimos, generalmente en 400 micro pulgadas.
- ✗ Requiere procesamiento posterior, como la sinterización en cerámicas y metales.

Fotopolimerización en tanque (VAT Photopolymerization)

El proceso de fotopolimerización se produce cuando una resina de fotopolímero en contacto con la luz UV desarrolla una reacción química que la cura o endurece. En la etapa de construcción no existe soportes para estructuras del material debido a que en este método el

líquido es usado para construir las piezas, a diferencia de los métodos basados en polvo, donde existe soportes para estructuras del material no unido. (*VAT Photopolymerisation | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University, 2020*)

Estereolitografía (Stereolithography SLA)

Los objetos se construyen en un tanque translúcido lleno de fotopolímero líquido, que es un plástico que reacciona a la luz. Una plataforma de construcción ajustable se coloca inicialmente en su posición más alta, solo cubierta por una capa delgada de fotopolímero. Un espejo móvil controla el rayo láser ultravioleta y dibuja la sección transversal de un modelo CAD en la plataforma, que solidifica el plástico. (*Stereolithography, SLA, 2020*)

La plataforma se baja para que la capa anterior esté ahora cubierta por una nueva capa delgada de líquido. El rayo láser solidifica una nueva capa que luego se une con la capa anterior. Se pueden crear estructuras de soporte si es necesario, si el líquido no puede soportar el peso de las partes sobresalientes del componente.

Para completar el objeto todo este proceso es ejecutado de forma repetitiva y la parte terminada generalmente se limpia con ultrasonido y alcohol. Se retiran las estructuras de soporte y el objeto se cura en un horno UV.

El líquido no solidificado puede reciclarse para producir nuevos artículos.

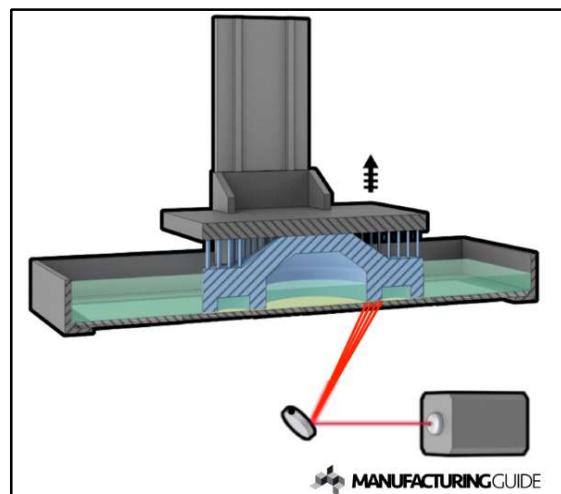


Ilustración 2-3: Técnica SLA

Fuente: (*Stereolithography, SLA, 2020*)

Procesamiento de luz directa (Digital Light Processing DLP)

Los objetos se construyen en un recipiente poco profundo con un fondo transparente lleno de fotopolímero líquido, que es un plástico que responde a la luz. Una plataforma de construcción ajustable se coloca inicialmente en su posición más baja más cercana al fondo del contenedor.

Un proyector proyecta la sección transversal del detalle a través de la base transparente del contenedor, que solidifica una sola capa del fotopolímero. La plataforma con el solidificado se levanta para que una nueva capa delgada de fotopolímero se llene contra el fondo del recipiente. La proyección se repite con una nueva sección transversal que se basa en la sección transversal anterior. (*Digital Light Processing, DLP, 2020*)

Se pueden crear estructuras de soporte si el fluido no puede soportar el peso de las partes sobresalientes del componente.

El ciclo se repite hasta que se crea todo el objeto 3D, después de lo cual se limpia de cualquier estructura de soporte y se cura en un horno UV.

El líquido sin soldar puede reciclarse para producir nuevos artículos.

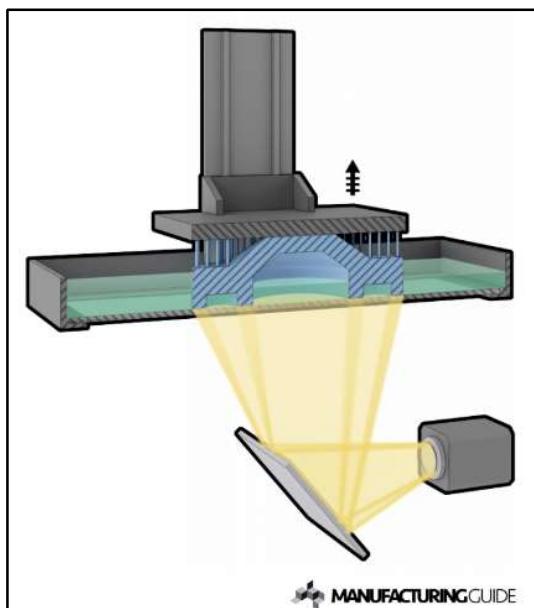
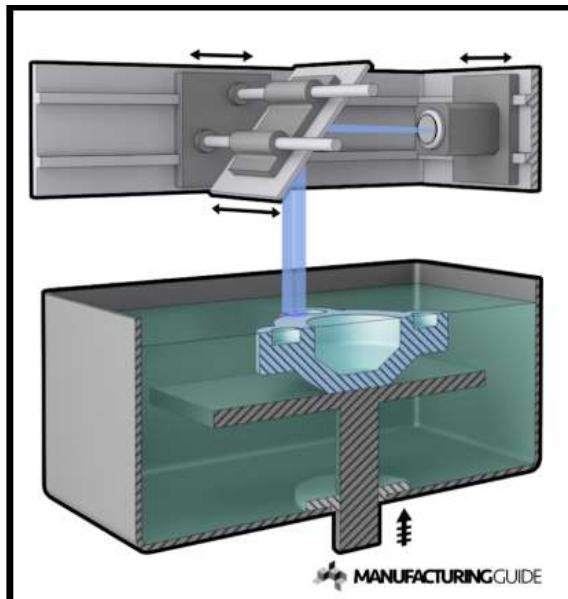


Ilustración 2-4: Técnica DLP

Fuente: (*Digital Light Processing, DLP, 2020*)

Procesamiento continuo de luz directa (Continuous Digital Light Processing CDLP)

Los objetos se construyen exactamente de la misma forma que DLP, pero ahora existe una movilidad en la luz, esta recorre en sentido superior hacia el eje Z respecto a la placa de construcción. Esto permite solidificar la sección transversal completa sin que sea requerido que la impresora se detenga para discriminar la parte de la placa de construcción después de producir cada capa debido a que ahora el proyector DLP solidifica una nueva capa que se adhiere a la capa antecesora. Al aplicar este proceso piezas más grandes y de alta resolución son obtenidas ya que sus tiempos de construcción más rápidos. (*Digital Light Processing Moving Light, DLP Moving Light, 2020*)

**Ilustración 2-5: Técnica CDLP**

Fuente: (Digital Light Processing Moving Light, DLP Moving Light, 2020)

Ventajas:

- ✓ SLA, DLP y CDLP dotan piezas con detalles finos y acabado superficial liso
- ✓ Apto para piezas grandes.
- ✓ Usado con todo tipo de polvos.
- ✓ No requiere estructuras de soporte.

Desventajas:

- ✗ La polimerización en tina presenta fragilidad de las piezas producidas.

Tecnología Deposición de Material (Liquid Deposition Modeling LDM)

LDM es el nombre de la tecnología para extrusores específicos para materiales cerámicos del fabricante italiano WASP de impresoras 3D. Esta extrusora se puede acoplar a la mayoría de las impresoras 3D del mercado a fin de promover la impresión de materiales densos en fluidos y la artesanía digital en el mundo.

Esta extrusora LDM consiste en un sistema neumático en el que una bomba empuja los materiales cerámicos en forma de pasta hacia un brazo de deposición. Para que el proceso logre alcanzar un nivel de precisión muy cercano al de las extrusoras de polímeros plástico, se hace la combinación de una extrusora de tornillo y una extrusora de presión, haciendo así posible controlar con precisión el flujo de salida del material y también utilizar la retracción para generar la habilidad de pausar y reiniciar el curso de la deposición obteniendo un alto nivel en la precisión. (LDM Wasp Extruder, 2020)

Un sistema desgasificador permite que el aire fluya hacia arriba, eliminando la probabilidad de encontrar burbujas dentro de la mezcla; así como también un tornillo multiplicador de torque en salida que funciona como un sistema multiplicador de presión en el orden de los 40 bares (580 psi) reduce el tiempo de cambio de estado líquido a estado sólido aumentando la densidad del material de impresión, lo que permite que la impresión se solidifique más rápidamente eliminando así el riesgo de un colapso del objeto que siendo impreso.

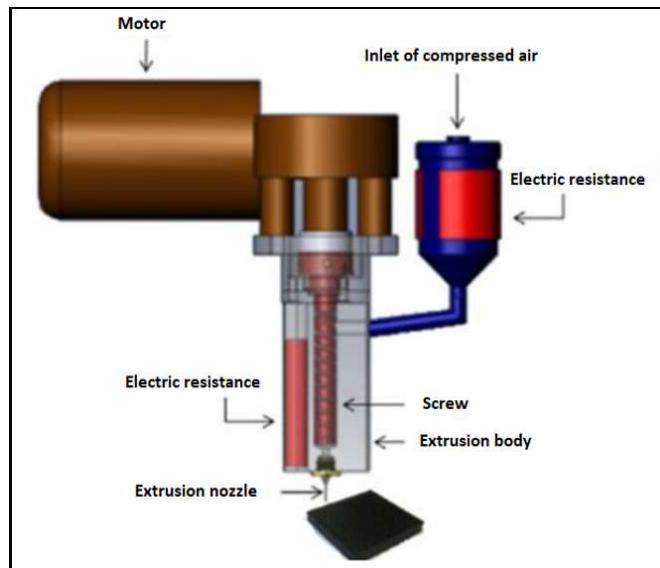


Ilustración 2-6: Técnica LDM

Fuente: (LDM Wasp Extruder, 2020)

Ventajas:

- ✓ Bajo costo de sistemas.
- ✓ Amplia gama de materiales disponibles.
- ✓ Capacidad de piezas de gran tamaño.

Desventajas:

- ✗ Resolución de capa limitada.
- ✗ Geometría de pieza limitada.
- ✗ Difícil de operar correctamente.

Nano Particle Jetting

Este proceso se obtiene a través de un depósito paso a paso de gotas de material que incluyen aditivos que en su composición contienen el material final del objeto. El proceso NPJ, no necesita un depósito de resina o polvo en contraste con procesos como: SLA y DLP. Lo que se requiere aquí, es el uso de dos cartuchos sellados: el primero para alojar el material de

construcción y el segundo para alojar el material de soporte; estos cartuchos se acoplan manualmente en la impresora. (*Technology XJet's NanoParticle Jetting*, 2020)

La inyección de nanopartículas es un proceso de fabricación que sigue el siguiente flujo:

- ✓ Primeramente, a partir de un archivo CAD/STL se inicia con la construcción de la pieza, para ello a través de inyectores se dispensa miles de gotas cerámicas de nanopartículas en forma de capas ultradelgadas que ocuparán totalmente el área de construcción.
- ✓ Luego, simultáneamente un material soluble utilizado como soporte es depositado, el mismo que después será eliminado de forma sencilla.
- ✓ Seguidamente, ambos materiales: construcción y soporte, son suspendidos en un líquido concentrado a temperaturas extremadamente elevadas, alrededor de unos 300 [°C] en el interior de una cámara de construcción; en donde al producirse la evaporación, el modelo impreso buscado es liberado.
- ✓ Despues de esto, una vez que en el objeto impreso el material de soporte ha sido disuelto, es necesario realizar un procesamiento posterior; para ello la impresión restante: sea metal o cerámica, es colocada en un horno para someterle a un proceso de sinterización.
- ✓ Finalmente, alrededor de un lapso entre 12 a 14 horas este proceso de sinterización expira. El lapso depende directamente del material con que se trabaje.

La tecnología fue inventada por la empresa israelí XJET, para aplicaciones con metales y cerámicas. Su primera máquina desarrollada fue la Carmel en los modelos: 1400 y 700 AM.

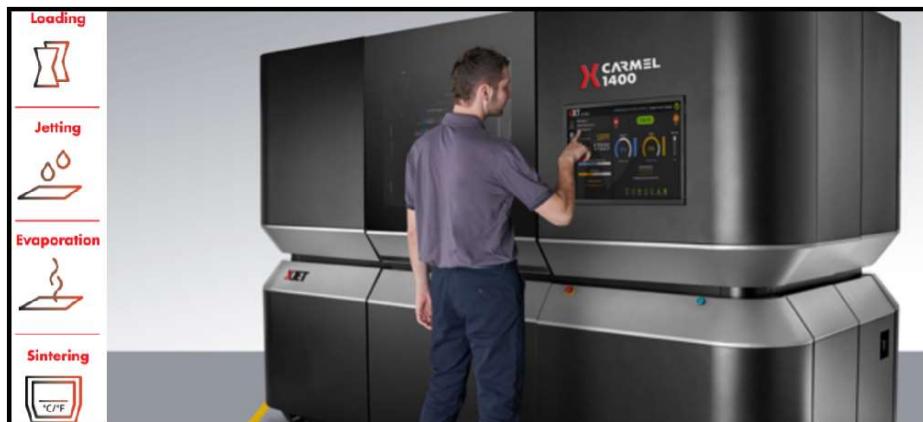


Ilustración 2-7: Técnica Nano Particle Jetting
Fuente: (*Technology XJet's NanoParticle Jetting*, 2020)

Ventajas:

- ✓ Alta resolución y densidad.
- ✓ Apto para piezas de gran tamaño.
- ✓ Usado con múltiples materiales de soporte.
- ✓ El proceso no requiere que se use filtros o máscaras de seguridad.

Desventajas:

- ✗ Tecnología de última generación, alto costo en uso de producción de piezas.
- ✗ Fragilidad de los fotopolímeros activados por UV en sus propiedades mecánicas.
- ✗ Selección limitada de materiales disponibles.

Servicios de impresión 3D On Line

Actualmente los servicios de impresión 3D permiten a los usuarios diseñar los objetos de calidad que deseen. Existen varios factores a fin de evaluar los servicios de impresión 3D On Line, entre los más importantes que se debe tener en cuenta en el momento de escoger un servicio de impresión 3D se pueden citar los siguientes: (*Los 30 mejores servicios de impresión 3D online de 2020*, 2020)

Elección de materiales.- Revisar cuidadosamente en el catálogo de la especificación de material que ofrece el servicio de impresión, observar información detallada referente a las propiedades del material y ejemplos de casos de uso típicos.

Escalabilidad y capacidad de producción: Revisar la capacidad para manejar producción en lote, una vez encontrado un servicio de impresión con el material apto, se debe garantizar que pueda manejar el volumen de piezas que se necesita, es decir que se encuentre equipado para cubrir el número de impresiones requeridas.

Precio.- Hay varios factores que afectan el precio final de un modelo impreso en 3D, para ello una medida para poder influenciar el precio al usar un servicio de impresión 3D sería usar un servicio cerca de tu región y el grado de flexibilidad del material involucrado. También para reducir el coste de la impresión 3D es apto solicitar presupuestos con algunos servicios de impresión, comparando y ajustando parámetros hasta lograr un precio aceptable; cabe indicar que esta actividad demandará tiempo y a veces frustración.

Tiempo.- Algunos proveedores de servicios de impresión 3D ofrecen un servicio de proyectos urgente, dichos proveedores introducen concepto de creación rápida de prototipos los mismos que involucra limitaciones físicas tales como la geografía, por ello es importante poner énfasis en la ubicación del servicio que se usa si el tiempo es un factor de premura. Adicional, si el factor primordial no es el precio sino el tiempo, un comparador de precios de impresión 3D te ayudaría a escoger el servicio que otorgué la respuesta con menor latencia.

Privacidad.- Existe ocasiones en las que el usuario requiere confidencialidad hermética con respecto a los archivos que se está facilitando, por ello, un servicio de impresión que esté habilite la firma de acuerdos de no divulgación es apto. Pocos servicios de impresión están

abiertos a firmar tales documentos, como una medida se debe buscar información en las preguntas frecuentes del sitio web del servicio o en un foro de usuarios para conocer sus políticas en estos casos.

Certificación.- Un último factor, que, si bien es algo no tangible para el usuario final, es la certificación ISO:9001, cada vez los servicios de impresión 3D se están calificándose con la ISO:9001. Si bien esto no afecta significativamente para fabricar tu modelo, pero sin duda es una evidencia que la empresa seleccionada posee un alto nivel de estándares en toda su organización y que por ende asegura la calidad del servicio que recibirás.

Al subir un archivo 3D a un servicio de impresión 3D en línea, el sistema notificará, vía la plataforma usada o vía correo electrónico la información del presupuesto calculado para el requerimiento. El detalle del cálculo para este rubro dependerá del grado de transparencia que maneje el servicio de impresión 3D seleccionado; pero entre los elementos más importantes que determinan el coste de impresión 3D tenemos: mano de obra, coste de mantenimiento, altura de capa y resolución, espacio de la máquina, tiempo y envío del pedido.



Ilustración 2-8: Servicios de impresión 3D

Fuente: (Los 30 mejores servicios de impresión 3D online de 2020, 2020)

2.2.2. Capacidad para integración de tecnología FDM con tecnología LDM

Deposición de material fundido (Fused Deposition Modeling FDM)

Constituye la tecnología de impresión en 3D más democratizada actualmente, cuenta con la mayor cantidad de soluciones domésticas para impresoras 3D del planeta y es por ello que predomina como la opción tecnológica más recurrente del mercado.

Tipo de proceso.

FDM (Fused Deposition Modeling), o también conocida como FFF (Fused Filament Fabrication), está asociada a la categoría de “Material Extrusion” dentro del proceso de

fabricación aditiva para impresión 3D. La técnica FDM consiste en depositar capas planas selectivamente del material fundido en una ruta predeterminada capa por capa hasta construir un objeto con volumen. Para esta técnica se utilizan carretes de filamento, que es la forma de presentación del material usado, comúnmente son los polímeros y termoplásticos.

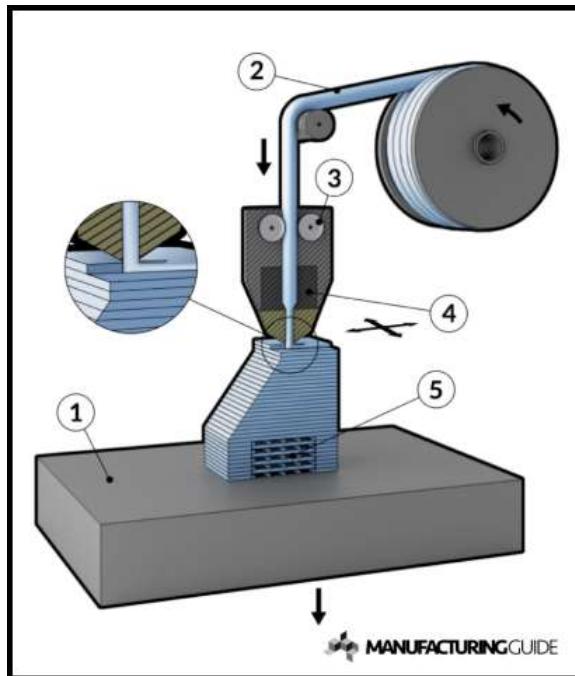


Ilustración 2-9: Técnica FDM

Fuente: (Fused Deposition Modeling, FDM, 2020)

Principio de funcionamiento.

Los objetos son construidos en una plataforma móvil (1), en donde se carga un carrete de filamento termoplástico (2) y en el punto que la boquilla alcanza temperatura óptima, este filamento es arrastrado por medio de rodillos (3) al cabezal de extrusión hasta terminar fundiéndose en la boquilla. (4)

Un sistema tri eje habilita movimiento en los planos: X, Y, Z del cabezal de extrusión. La fundición del material que suministra este filamento se extrude en delgados hilos que son depositados capa por capa en lugares programados, que al enfriarse terminarán solidificándose. Es muy común el uso de ventiladores acoplados al cabezal de extrusión para obtener una aceleración en el proceso de enfriamiento del material.

Varias pasadas son requeridas para llenar una zona y al finalizar una capa, la plataforma de construcción ejecuta un movimiento descendente o a su vez el cabezal ejecuta un movimiento ascendente (depende de la configuración de la impresora) para que se inicien con el depósito de material para una nueva capa. Todo este proceso será de forma repetitiva

hasta obtener la pieza totalmente construida; adicional para habilitar voladizos una estructura de soporte es impresa. (5)

Se requiere el procesamiento posterior en forma de eliminación de estas estructuras de soporte. Es posible que se requiera moler, encerar o calentar las superficies si se desea ganar un acabado superficial más alto. (*Fused Deposition Modeling, FDM, 2020*)

Sistema de extrusión.

Hablando de FDM, en resumen, podemos decir que consta de piezas importantes como: carro que contiene el filamento, extrusor que arrastra el filamento y el hotend que funde el filamento. Este filamento fundido capa a capa es depositado en una cama de impresión, en donde parámetros como: cantidad de filamento, velocidad de extrusión y temperatura de la boquilla son fundamentales para el desarrollo satisfactorio del proceso de impresión 3D.

La sincronización de estos parámetros garantizará la calidad de obtenida como resultado final, el mismo que cambiará en función de la geometría del objeto y del tipo de filamento usado.

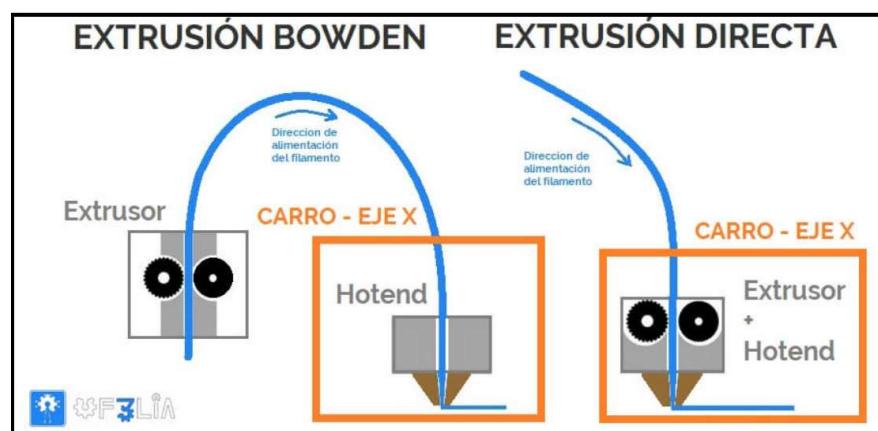


Ilustración 2-10: Sistema de Extrusión

Fuente: (Lorenzo, 2019)

Los elementos que componen netamente un sistema de extrusión corresponden al extrusor propiamente dicho y al hotend. Este sistema habilitará transformar un rollo de plástico sólido a hilos de plástico moldeado que al extruirse en la impresora irán construyendo paso a paso de la pieza final. (Lorenzo, 2019)

Extrusor.- Este componente es llamado también *feeder drive* y es el que arrastra el filamento desde el carrete hacia el Hotend para su respectiva fundición.

Extrusor Directo: El extrusor está acoplado directamente en el carro central al hotend.

- ✓ Menos fallos debido al mayor control de la extrusión de filamento.
- ✗ Mayor inercia y vibración debido al peso conjunto que es sometido el cabezal.

Extrusor Bowden: El extrusor se coloca fuera del carro separado del hotend. Un tubo de PTFE (Teflón) es usado para la conexión y para minimizar el rozamiento.

- ✓ Mayor velocidad de impresión debido a que el cabezal es sometido a un peso ligero.
- ✗ Mayor riesgo de perturbaciones en el sistema debido a la distancia de separación.

Un extrusor está integrado de los siguientes elementos:

1. **Motor paso a paso:** Transmite fuerza a la rueda dentada que agarra el filamento. La velocidad del motor es directamente proporcional a la velocidad de extrusión del material; se denomina paso a paso debido a su capacidad de controlar el número de giros en el eje.
2. **Engranajes:** Arrastra el filamento, es decir sus hilos de plástico. La velocidad de su giro depende de la fuerza transmitida desde el motor.
3. **Rodamiento de presión:** Ejerce empuje hacia el engranaje a fin de establecer una buena sujeción de los dientes del engranaje en el filamento.

El Hotend. - Es el componente que funde el material y lo expulsa por la punta para depositarlo, prácticamente al fundir el plástico permite moldear y poder crear los finos hilos que constituirán las capas de las piezas, se compone de las siguientes partes:

1. **Boquilla o nozzle:** Fija el diámetro y altura del filamento fundido con el que se construyen las capas. Aquí la altura de capa es inversamente proporcional a su precisión.
2. **Bloque calentador:** Básicamente usa dos elementos: la resistencia de cartucho para someter el calor, y el termistor para controlar la temperatura de fundición del plástico.
3. **Barrel:** Es una barrera térmica que evita que el calor del bloque calentador llegue a disiparse rápidamente hacia la parte superior y derrita el plástico prematuramente. Su estructura puede ser entero metálico o a través de un tubo de teflón para guiar el filamento.
4. **Disipador:** Disipa el calor irradiado por el hotend, es de aluminio y va anclado en el extrusor. Generalmente se acopla al ventilador de refrigeración.

Podemos clasificar tres zonas en un hotend:

- ✓ **Penetrado:** Zona 1 donde el filamento es arrastrado, su temperatura es fría aún.
- ✓ **Calentado:** Zona 2, donde el filamento inicia su calentamiento, su estado es sólido aún y no alcanza la temperatura de cristalización; alrededor de 100 [°C] como máximo.
- ✓ **Fundido:** Zona 3, donde el filamento alcanza la temperatura de cristalización, fundiéndose e inmediatamente extrayéndolo a través de la boquilla.

Características de FDM

- ✓ **Parámetros no relevantes para el diseñador:** Son los ajustes de los parámetros del proceso establecidos por el operador como: temperatura boquilla, temperatura plataforma, velocidad construcción, altura capa y velocidad ventilador enfriamiento; entre los más comunes que permiten los sistemas FDM.
- ✓ **Parámetros relevantes para el diseñador:** Son los parámetros fundamentales para la óptica de un diseñador, entre estos tenemos dos parámetros: tamaño en construcción y altura en capa. El primero depende de la impresora, ya sea doméstica o industrial; mientras que el segundo se determina en el momento de realizar el trabajo. Una altura menor produce piezas lisas y geometrías curvas con mayor precisión, mientras que una altura mayor produce piezas rápidas y por ende su costo es menor.



Ilustración 2-11: Filamentos para FDM

Fuente: («Guía de filamentos», 2020)

Beneficios y limitaciones del FDM

- ✓ Rentabilidad para producción de piezas y prototipos termoplásticos personalizados.
- ✓ Disponibilidad y soporte tecnológico que garantiza plazos de entrega cortos a bajo costo.
- ✓ Disponibilidad de amplia gama de materiales termoplásticos que satisface aplicaciones funcionales no comerciales. («Guía de filamentos», 2020)
- ✗ Menor precisión y resolución que limita la producción de piezas de alta geometría.
- ✗ Necesidad de un posprocesamiento para lograr un acabado superficial liso.
- ✗ No recomendable en componentes mecánicamente críticos por ser inherentemente anisotrópico.

Deposición de Material (Liquid Deposition Modeling LDM)

La tecnología de deposición de material o también llamada por sus siglas LDM, su acrónimo en el idioma inglés es la técnica que más se ha extendido entre los diferentes fabricantes de impresoras 3D para cerámica. Como ya hemos indicado anteriormente, este proceso consiste en la deposición de capas de material fluido denso como mezcla de arcilla o materiales cerámicos hasta conformar la pieza u objeto, siguiendo los fundamentos de la técnica FDM, pero utilizando extrusores aptos para trabajar con este tipo de material y que se acoplan a la mayoría de las impresoras 3D del mercado actual. Esta técnica involucra un menor coste, debido a ya que la arcilla y los polímeros de relleno es su materia prima.



Ilustración 2-12: Impresoras 3D LDM domésticas

Fuente: («Impresión 3D de cerámica», 2019)

El uso de esta técnica ha marcado una gran acogida en el ámbito del arte y decoración y se han comercializado varias máquinas de escritorio como soluciones domésticas, por ejemplo, la ClayXYZ lanzada al mercado en el 2017 o la LUTM V4 lanzada al mercado en el 2018 con un propósito más artístico. También la empresa italiana WASP se impone dentro de esta categoría como un popular exponente en la fabricación con materiales cerámicos a gran escala bajo la línea de sus impresoras 3d Delta WASP. («Impresión 3D de cerámica», 2019)

Todos estos fabricantes se enfocan en el desarrollo de sistemas que permiten el uso de materiales funcionales y de uso final como: cerámica, porcelana, arcilla, alúmina, circonio y otras cerámicas avanzada, con el fin de promover la artesanía digital y la autoproducción.

2.2.3. Ganancia de sinergia de tecnología LDM con tecnología FDM

El término RepRap hace referencia a una máquina de prototipado rápido de código abierto bajo el tipo modelado por fusión y solidificación con boquilla, auto-replicante. Debido a que el término Fused Deposition Modeling está registrado por la empresa Stratasys, la comunidad RepRap ha denominado el término Fused Filament Fabrication (FFF) para hacer referencia a esta técnica que puede ser usado por cualquiera sin restricción. (Guerrero De Mier & Espinosa Escudero, 2014)

Dentro de las reales posibilidades de implantación doméstica a nivel de usuario y la democratización en la comunidad RepRab de la tecnología LDM, se ha definido que el punto clave obedece al acople de la extrusora, superado ese problema, todas las capacidades de control que otorgue la tarjeta controladora serán heredadas.

Debido a aquello una extrusora para material pastoso en la que sea posible predecir y controlar la velocidad de flujo será un método confiable para usar en máquinas RepRap.

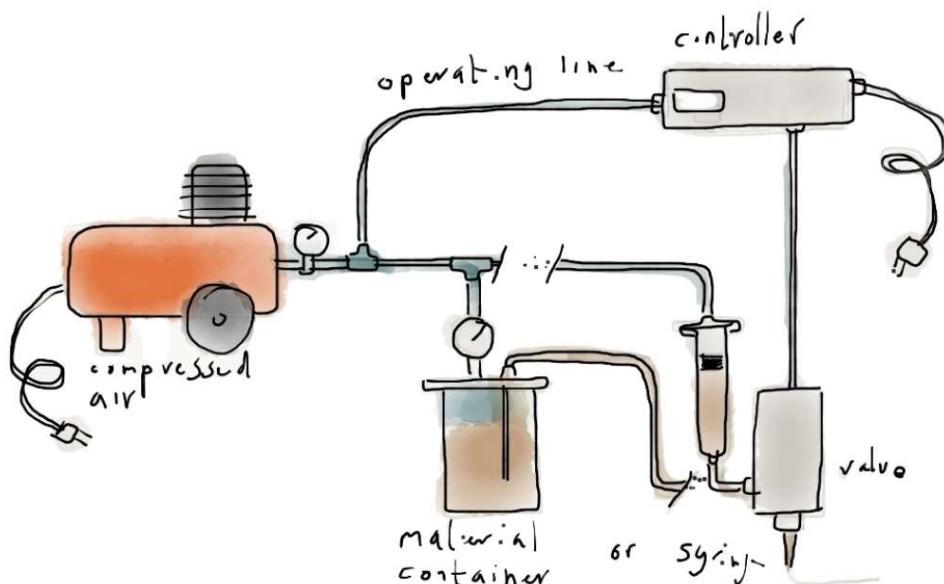


Ilustración 2-13: Principio básico dispensador fluidos

Fuente: (Fab, 2012)

Esta puede ser desarrollada en base a la tecnología que se usa en el campo de la dispensación de fluidos usada para la deposición precisa de materiales como: sellador, adhesivo, silicona, pegamento, resina, pastas, etc.

En una configuración básica común que se utiliza en la implementación de estas soluciones existe un depósito de material que contiene el material en las condiciones necesarias (agitación, calentamiento, etc.). Luego está el sistema de alimentación, para transportar

material desde el depósito hasta la dispensación, para material de baja viscosidad puede ser alimentación por gravedad, pero las viscosidades más altas necesitan una jeringa o un recipiente presurizados grande. La alimentación de material de alta viscosidad se puede hacer usando una bomba de alimentación. Justo antes de la boquilla hay un dispositivo llamado válvula dispensadora. A continuación, se ilustra esta configuración expuesta:

Como podemos observar, el elemento clave es la válvula dispensadora, que dependiendo de la aplicación difiere las características de este elemento. Dentro de las categorías para el elemento válvula dispensadora encontramos las válvulas de barrena de precisión, que son adecuadas para dispensar: pastas, epoxis, pastas de soldadura y otros materiales rellenos de viscosidad media a alta como la arcilla. (Fab, 2012)

Válvula de barrera

La válvula de barrera es una válvula dispensadora de precisión diseñada específicamente para medir depósitos controlados de pastas de soldadura, selladores gruesos y otros materiales rellenos de partículas.

Este tipo de válvula utiliza un tornillo de alimentación (sinfín) para dispensar fluido con una acción de desplazamiento giratorio, lo que permite un control ultra preciso del proceso de dispensación.

Principio de funcionamiento

Las válvulas de barrena funcionan de esta manera: el material se alimenta desde una jeringa presurizada continuamente o un depósito externo en la parte superior de la válvula. La válvula consiste en un tornillo sinfín que encaja perfectamente en una carcasa cilíndrica que en la parte inferior termina en la boquilla. La presión sobre la jeringa es suficiente para alimentar el material en la válvula donde golpeará el sinfín y se detendrá allí debido a la mayor fricción causada por el tamaño más estrecho de la ruta del fluido a lo largo de la rosca del tornillo y, finalmente, en el extremo de la boquilla aún más estrecho. . El tornillo es accionado por un motor y esta rotación obliga al material a bajar la rosca del tornillo fuera de la boquilla. El caudal está controlado por las RPM del motor.

Aplicaciones:

Estas válvulas se utilizan mucho para la dispensación precisa de pasta de soldadura en electrónica SMD y son ofrecidas por varios fabricantes como: Nordson, Fisnar, Techcon Systems, GPD Global, IntelliSpense, entre otros.

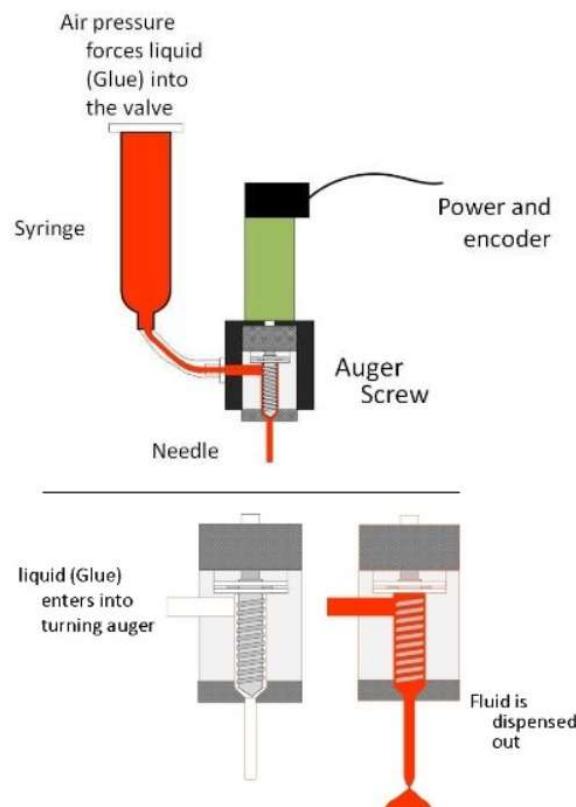


Ilustración 2-14: Mecanismo extrusor válvula de barrera

Fuente: (Fab, 2012)

Finalmente, el principio de funcionamiento de este extrusor con un mecanismo de válvula de barrena es en el que se fundamenta la línea de extrusores de la mayoría de las soluciones comerciales como el fabricante italiano Wasp LDM y el fabricante alemán StoneFlower.



Ilustración 2-15: LDM Wasp Extruder

Fuente: (LDM Wasp Extruder, 2020)

2.2.4. Placa Controladora, Placa de Potencia e Interconexión WiFi para LDM

La electrónica es la encargada de gestionar todos los procesos que se van a llevar a cabo por una impresora 3D. Por ello los controladores, denominados placas base o módulos controladores, son los elementos electrónicos que habilitarán el flujo para la gestión de los procesos en una impresora 3D. A continuación, se indica una imagen del esquema de elementos que se involucra en una impresora. (*Electrónica de la impresora 3D*, 2020)



Ilustración 2-16: Esquema Electrónica Impresora 3D

Fuente: (*Electrónica de la impresora 3D*, 2020)

Placa Controladora.- Es la placa cerebro, controla todos los procesos de la máquina de impresión, actualmente hay un grupo de placas domésticas compactas de bajo costo en el mercado basadas en microcontrolador o microprocesador de última generación centradas en una gama de características tecnológicas como: Wi Fi, Bluetooth, integrada, CPU en 32 bits bajo frecuencia de operación de 240 [Mhz] o superior, compatibilidad WEB CAM y soporte para interfaces WEB que son usadas para aplicaciones en impresoras 3D.

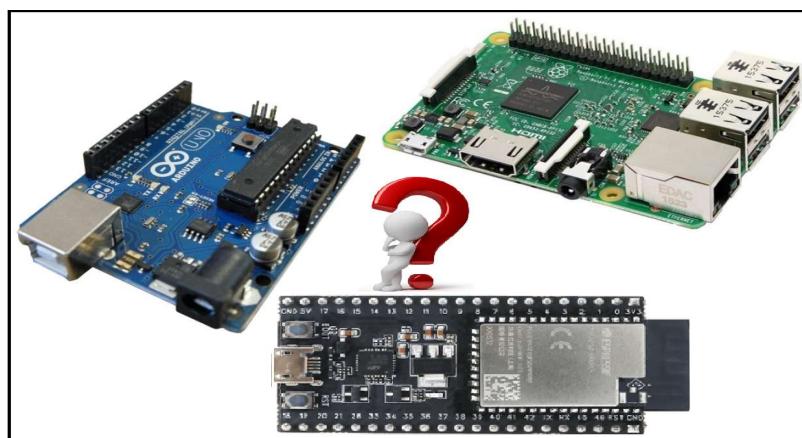


Ilustración 2-17: Vanguardia Controladores

Fuente: Collage de elaboración propia

Raspberry Pi.- Es un SBC de reducido costo y de un volumen compacto, fue desarrollado en el Reino Unido, concretamente la Fundación Raspberry Pi de la Universidad de Cambridge. Está compuesto por un procesador ARM Cortex-A72 de gran potencia que hace ideal a esta placa para proyectos donde necesitemos gran poder de cálculo como: servidores web, procesamiento de imagen, video, audio, conectividad a internet, procesamiento de datos para servicios en la nube. Además, posee puertos de comunicación: Ethernet, HDMI, microSD, I2C, SPI, UART y puertos especiales para la cámara y la pantalla. (*¿Que es Raspberry Pi?*, 2020)

	Raspberry Pi 2 Model B	Raspberry Pi 3 Model B	Raspberry Pi 3 Model B+	Raspberry Pi Zero	Raspberry Pi Zero W
Fecha de Lanzamiento	2015	2016	2018	2015	2017
SoC	Broadcom BCM2836	Broadcom BCM2837	Broadcom BCM2837	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2835
Velocidad de CPU	900 Mhz ARM-Cortex-A7	1.2GHz 64-bit ARMv8	1.4GHz 64-bit ARMv8	1 Ghz ARM-1176JZF-S	1 Ghz ARM-1176JZF-S
Núcleos	1	4	4	1	1
SDRAM	1 GB	1 GB	1 GB	512 MB	512 MB

Tabla 2-3: Características Raspberry Pi
Fuente: (*raspberry-pi-modulos-comparativa-conectividad*, 2020)

ESP32.- Diseñado por la compañía Espressif y fabricado por TSMC, se trata de un nuevo SoC evolucionado respecto a su versión antecesora ESP8266. El nuevo ESP32 brinda mayores prestaciones en capacidades de comunicación y procesamiento de cómputo al integrar en un solo chip: un procesador de 32 bits tipo Tensilica Xtensa de doble núcleo de hasta 240Mhz y conectividad bajo estándar: WiFi y Bluetooth. Internamente incorpora una gran cantidad de periféricos: sensores táctiles capacitivos, sensor de efecto Hall, amplificadores de bajo ruido, interfaz para tarjeta SD, Ethernet, SPI de alta velocidad, UART, I2S e I2C entre otros. Adicional un punto fuerte de esta plataforma es el open source, ya que mantiene una numerosa comunidad en internet, la misma que suministra soporte y el desarrollo constantemente de nuevas herramientas para las aplicaciones inmersas. («ESP32, el “hermano mayor”», 2020)

Característica	ESP8266	ESP32
Procesador	Tensilica LX106 32 bit a 80 MHz (hasta 160 MHz)	Tensilica Xtensa LX6 32 bit Dual-Core a 160 MHz (hasta 240 MHz)
Memoria RAM	80 kB (40 kB disponibles)	520 kB
Memoria Flash	Hasta 4 MB	Hasta 16 MB
ROM	No	448 kB
Alimentación	3.0 a 3.6 V	2.2 a 3.6 V
Rango de temperaturas	-40°C a 125°C	-40°C a 125°C
Consumo de corriente	80 mA (promedio). 225 mA máximo	80 mA (promedio). 225 mA máximo
Consumo en modo sueño profundo	20 uA (RTC + memoria RTC)	2.5 uA (10 uA RTC + memoria RTC)
Coproccesador de bajo consumo	No	Sí. Consumo inferior a 150 uA
WiFi	802.11 b/g/n (hasta +20 dBm) WEP, WPA	802.11 b/g/n (hasta +20 dBm) WEP, WPA
Soft-AP	Sí	Sí

Tabla 2-4: Características ESP8266 – ESP32
Fuente: (*Modules | Espressif Systems*, 2020)

Arduino.- Consiste en una plataforma de desarrollo basada en una PCB que implementa un determinado diseño de circuitería interna para elementos requeridos en la conexión de periféricos a las entradas y salidas de su microcontrolador ATMega328, diseñado y fabricado por la compañía Arduino que desarrolla software y hardware libre. Esta característica lo hace perfecto para la creación de proyectos donde se involucra control directo sobre sensores y actuadores; ya que al trabajar con un microcontrolador directamente, el acceso a sus pines digitales y analógicos es de forma sencilla y robusta. La placa se programa directamente en su IDE en lenguaje C y se compila directamente a lenguaje máquina. No obstante, esta es la causa fundamental que ha motivado a que surja una amplia comunidad que desarrolla constantemente librerías para poder controlar de manera rápida y directa los distintos actuadores y sensores. Adicional debido que no posee sistema operativo o interprete, la lectura de sensores es inmediata, ideal para proyectos de automatización y control.(FM, 2018)

	UNO	MEGA 2560	LEONARDO	DUE	ADK	NANO	PRO MINI	ESPLORA
Microcontrolador	ATmega328	ATmega2560	ATmega32u4	AT91SAM3X8E	ATmega2560	ATmega168 (versão 2.x) ou ATmega328 (versão 3.x)	ATmega168	ATmega32u4
Portas digitais	14	54	20	54	54	14	14	-
Portas PWM	6	15	7	12	15	6	6	-
Portas analógicas	6	16	12	12	16	8	8	-
Memória	32K (0,5K usado pelo bootloader)	256K (8K usado pelo bootloader)	32K (4K usado pelo bootloader)	512K disponível para aplicações	256K (8K usado pelo bootloader)	16K (ATmega168) ou 32K (ATmega328) (bootloader: 2K)	16K (2K usado pelo bootloader)	32K (4K usado pelo bootloader)
Clock	16Mhz	16Mhz	16Mhz	84Mhz	16Mhz	16Mhz	8Mhz (modelo 3.3v) ou 16Mhz (modelo 5v)	16Mhz
Conexão	USB	USB	Micro USB	Micro USB	USB	USB Mini-B	Serial/Módulo USB externo	Micro USB
Conector para alimentação externa	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
Tensão de operação	5V	5V	5V	3.3V	5V	5V	3.3 ou 5V, dependendo do modelo	5V
Corrente máxima portas E/S	40mA	40mA	40mA	130mA	40mA	40mA	40mA	-
Alimentação	7-12Vdc	7-12Vdc	7-12Vdc	7-12Vdc	7-12Vdc	7-12Vdc	3.3-12V (modelo 3.3v) ou 5-12V (modelo 5v)	5V

Tabla 2-5: Características Arduino
Fuente: (tipos-de-arduino., 2020)

Placa Potencia.- Conocida como el shield, es la placa que nos va a permitir el control de todos los elementos de potencia asociados sin peligro de causar una avería a nuestra placa controladora, igualmente existe algunas variantes disponibles en el mercado para este tipo de aplicaciones, y adicional también se dispone de placas integradas para el control y shield.

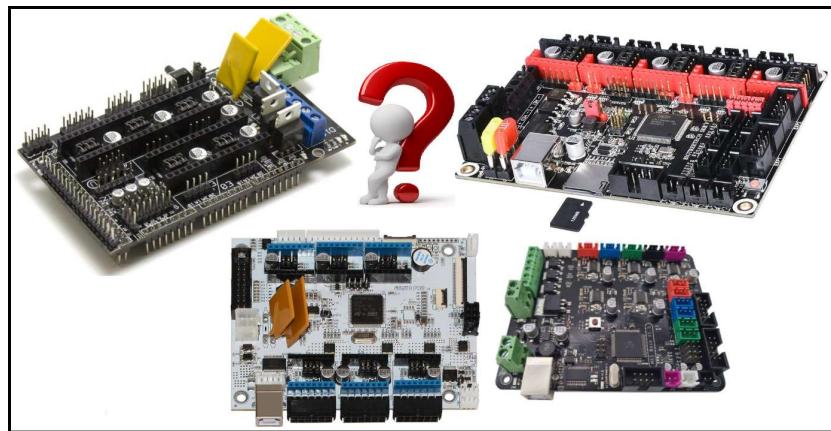


Ilustración 2-18: Vanguardia Shield
Fuente: Collage de elaboración propia

RAMPS.- Es un Shield muy difundido diseñado para integrar toda la electrónica que una impresora 3D RepRap requiere, optimizando en la dimensión y el costo. El término proviene de la abreviatura de “RepRap Arduino Mega Pololu Shield”. RAMPS específicamente es el Shield para Arduino Mega, pero su diseño modular permite acoplar futuras expansiones; debido a aquello más Shields pueden ser insertados siempre y cuando RAMPS se ubique encima de los otros Shields. Entre sus aplicaciones se lo utiliza para desarrollar: Impresoras 3D, Cortadoras Láser, Routers CNC, Brazos robóticos, etc. (*Shield RAMPS para Impresora 3D, 2020*)

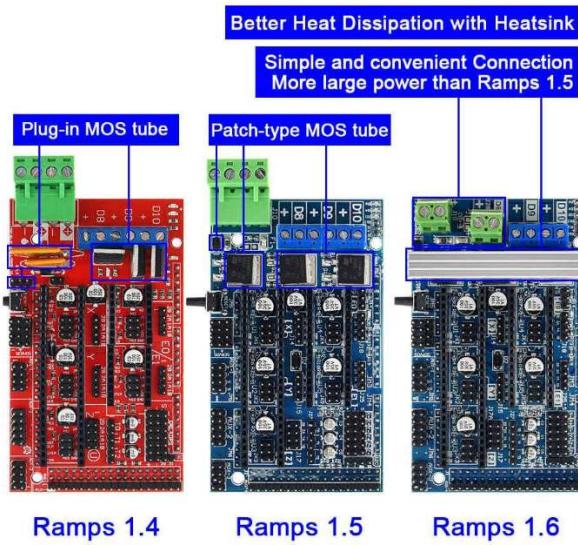


Ilustración 2-19: Variantes RAMPS shield
Fuente: (Panel de Control de expansión Ramps 1,6, 2020)

GTM32.- Es un Shield de control de código abierto. diseñada y fabricada por Geeetech para impresoras 3D. Esta placa compacta es la evolución del shield GT2560; brinda una alta

integración y un alto rendimiento, así como una gran facilidad para su ensamblaje. Adicional conserva las especificaciones de Geeetech para interfaz. (*GTM32 Rev B, 2020*)

3D control board	GTM32 Mini S	GT2560
Main control chip	STM32F103vet6	ATMEGA2560
Dimension	102X84X27.5	110X80X25
Extruders	1	2
Thermistor	3	3
Endstop	6	6
Controllable fan	3	1
Uncontrollable fan	0	3
Stepper motor driver	4	5
Need Stack board	no	no
Support LCD2004 and 12864	no	yes

Tabla 2-6: Variantes GT shield

Fuente: (*Geeetech Wiki, 2020*)

MKS.- Es un shield diseñado como una solución electrónica PCBA que implementa funciones para RepRap y otros dispositivos CNC. Las principales variantes de esta placa son: MKS Gen y MKS Base las mismas que tienen flexibilidad para uso de fuente de alimentación : 12V-24V. Entre sus aplicaciones es ideal para máquinas de doble extrusora y el control de impresoras comerciales para la producción por lotes. (*MKS BASE 1.0 - RepRap, 2020*)

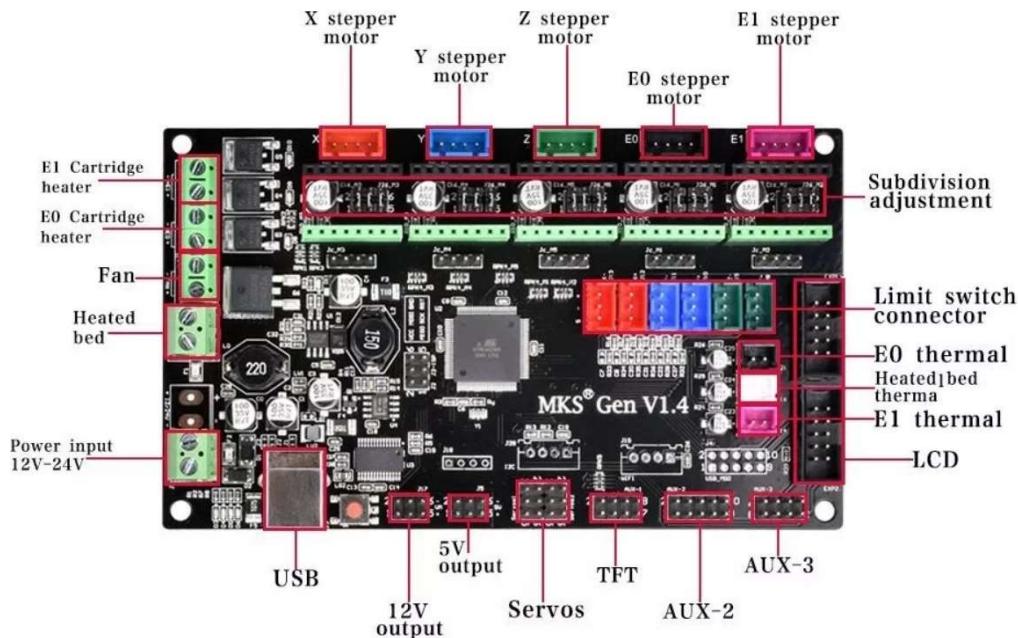


Ilustración 2-20: Variante MKS Gen V1.4 shield

Fuente: <https://i.redd.it/ecfflwzx0z21.jpg>

SKR V1.4.- Es un shield desarrollada y fabricado por BIGTREETECH. La placa SKR V1.4 es una actualización que integra funciones adicionales que las del popular SKR V1.3 de 32 bits.

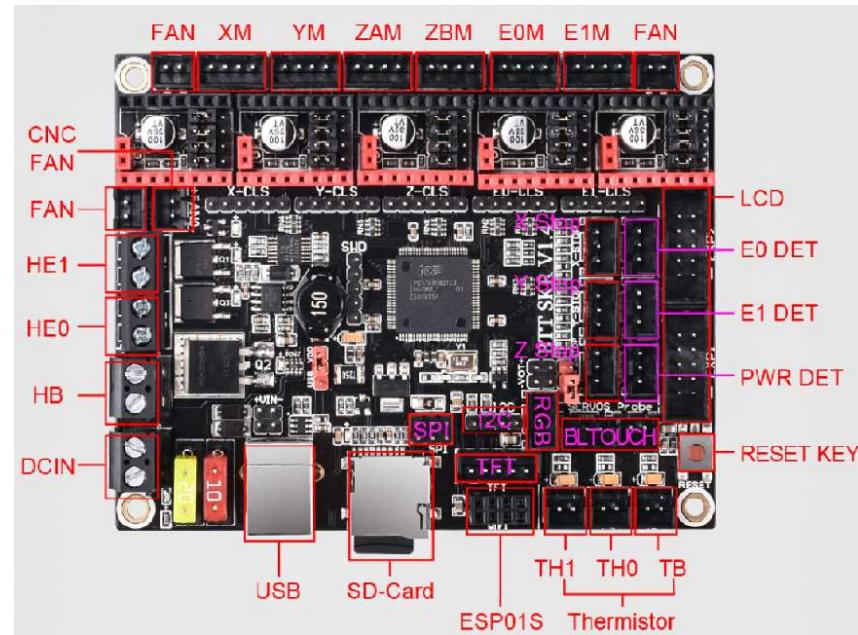


Ilustración 2-21: Variante SKR V1.4 shield

Fuente: (SKR V1.4 product details, 2020)

	SKR V1.3	SKR V1.4
Motor driver	Support:TMC5161,TMC5160, TMC2209,TMC2225,TMC2208, TMC2130,ST820,LV8729, DRV8825,A4988, can be independently external motor drive	Support:TMC5161,TMC5160, TMC2209,TMC2225,TMC2208, TMC2130,ST820,LV8729, DRV8825,A4988, can be independently external motor drive
WIFI module	/	ESP-01S
Driver working mode support	SPI,UART,STEP/DIR	SPI,UART,STEP/DIR
Display	"2.4/2.8 /3.5" TFT, (SUPPORTS DUAL-MODE SCREENS) LCD2004, LCD12864	"2.4/2.8 /3.5" TFT, (SUPPORTS DUAL-MODE SCREENS) LCD2004, LCD12864
Supporting file formats	G-CODE	G-CODE
Motor drive interface	X, Y, Z, E0, E1, five (each has a reextendable interface), Up to 256 subdivisions	X, Y, Z, E0, E1, five (each has a reextendable interface), Up to 256 subdivisions

Tabla 2-7: Variantes SKR shield

Fuente: (SKR V1.4 product details, 2020)

Elementos Auxiliares. Una placa de potencia a más de suministrar conectores para: extrusor, hotend, ventilador, cama caliente también suministra conectores adicionales para varios elementos como:

Pololu. Driver que gestiona la potencia transferida a los motores a paso, su conexionado es directamente sobre la placa de potencia y regulará la corriente a través de la variación de un potenciómetro integrado. Existen varios modelos de pololos diferentes como el basado en el A4988 que posee 1 potenciómetro y el G3D driver que posee 2 potenciómetros.

Motor a Pasos.- Es un motor del tipo bipolar con la capacidad de ejecutar un número de pasos por cada vuelta, internamente se compone de 2 bobinas y para referenciar a cada uno de sus bobinados utiliza un código de colores estándar. Externamente tiene 4 hilos dividido en 2 pares: par negro-verde denota una bobina y par rojo-azul a la otra. El NEMA 17 debido a características de: robustez, fuerza, disponibilidad y precio en el mercado, se ha constituido como el motor a pasos comúnmente usado para la construcción de impresoras 3D.

Sensor de Temperatura.- Dentro de la impresora un control de temperatura es imprescindible, interviene en el proceso del acabado de las piezas, como para la protección de sus elementos como por ejemplo el HotEnd que se esté utilizando. El control de temperatura lo realiza con 2 termistores ubicados en la cama y en el HotEnd; mientras que la regulación de temperatura es ejecutada por el controlador a través de un regulador PID a fin de estabilizar la temperatura con variaciones que no superen los límites del HotEnd.

El termistor más común en el mercado es el de 100k. Pero existen varios tipos que difieren en su funcionamiento, por ello el tipo de este elemento siempre debe ser seleccionado en el firmware.

Finales de carrera.- Estos elementos llamados también “End Stop”, indican a la impresora donde está el inicio de coordenadas X,Y,Z para la impresión. Dado este punto de partida solo debe indicarse a la máquina cuando es válido moverse en cada dirección antes de sobrepasar los límites. Hay 3 finales de carreras, uno por cada eje; los mismos que pueden ser independientes o pueden venir integrados a la placa. Su funcionamiento es exactamente el mismo y poseen dos modos de operación: con normalidad abierto y normalmente cerrado. Su modo de operación debe ser configurado por firmware.

Mosfet.- Elemento que evita que toda la alimentación de la cama caliente y el hotend pasen por la placa. Disipa el calor que produce y evitar que la corriente pase por la placa siendo muy beneficioso en nuestras impresiones al optimizar algo de consumo eléctrico.

Pantalla LCD.- Es un elemento que no es imprescindible para que una impresora 3D funcione, pero dota ventajas para monitoreo durante la impresión de los valores de temperatura, velocidad, entre otros de una manera muy sencilla, también requiere que se le habilite en el firmware.

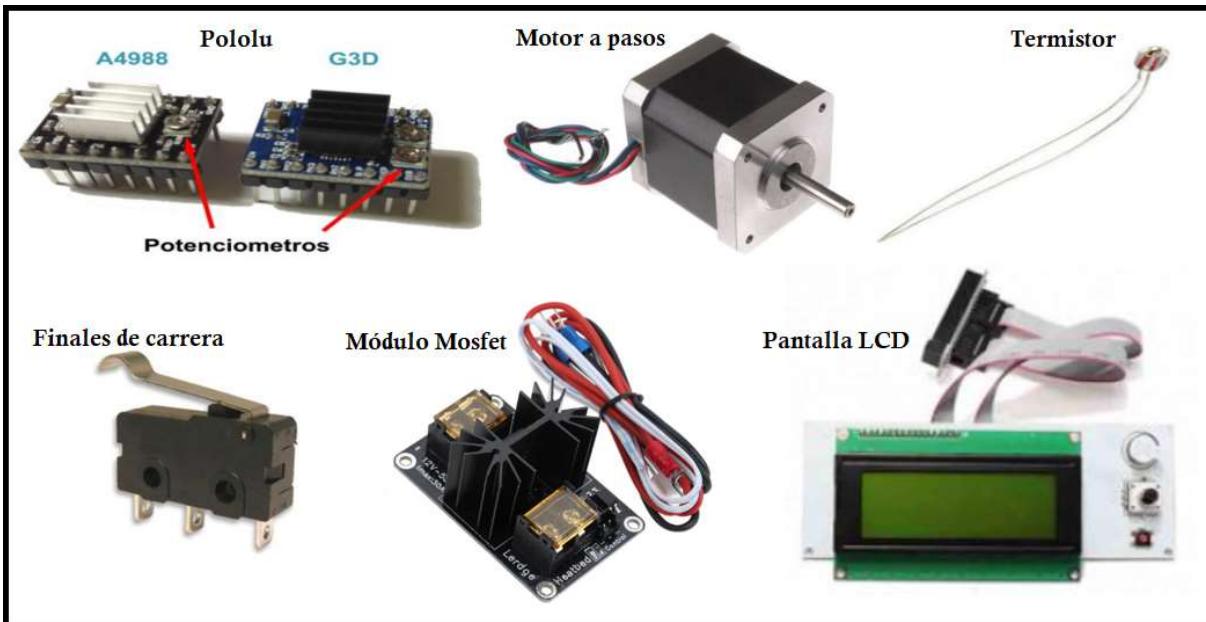


Ilustración 2-22: Elementos Auxiliares
Fuente: (Electrónica de la impresora 3D, 2020)

Placa Híbrida.- Referencia a una placa funcional que integrada capacidad WIFI y que posee etapas: controladora y de potencia; misma que es muy versátil para aplicaciones optimizadas.

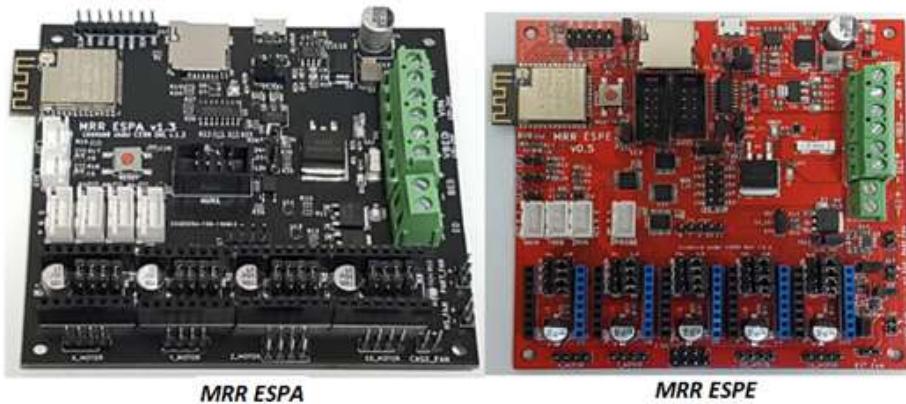


Ilustración 2-23: Single Board MRR
Fuente: (MMR - Products, 2020)

2.2.5. Plataformas IoT, Integración y Almacenamiento de DATA

En este punto nos vamos a enmarcar en las principales plataformas On Line Open Source que actualmente ofrece el mercado. Detallaremos para cada plataforma IoT sus características principales, así como tópicos referentes a sus ámbitos de aplicación general.



Ilustración 2-24: Búsqueda Plataforma IoT código abierto
 Fuente: Collage de elaboración propia

ThingSpeak.- Es una plataforma abierta de aplicaciones que proporciona interacción entre dispositivos a través de tecnologías Web estándar bajo un servicio de análisis de IoT con capacidades para: agregar, visualizar y analizar flujos de datos en tiempo real en la nube. La plataforma ThingSpeak usa el protocolo HTTP sobre Ethernet y está integrada con MATLAB en la nube para facilitar el monitoreo en tiempo real de los datos publicados, así como el envío de alertas utilizando servicios web; a fin de ejecutar análisis y procesamiento en línea ideal para: el diseño, el prototipado y el despliegue de aplicaciones IoT sin necesidad de servidores o desarrollo software. (Learn More - ThingSpeak IoT, 2020)

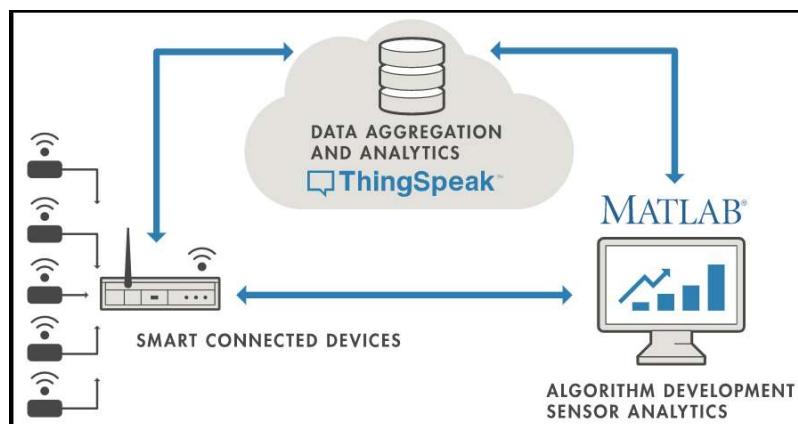


Ilustración 2-25: ThingSpeak
 Fuente: (Learn More - ThingSpeak IoT, 2020)

- Usa canales para almacenar y publicar los datos, la creación de un canal es muy fácil debido a que su entorno amigable lo hace simple. La actualización de la tasa de canales para monitoreo es gratis para 15[s] o pagado para 1[s], adicional los canales pueden ser públicos o privados según se requiera.
- Posee una API disponible en el sitio web de GitHub lista para su descarga. Podemos trabajar con elle, modificar su código fuente original y aportar a esta comunidad con nuevas características al subirla al sitio.

- Permite desarrollar plugins para extender funcionalidades; para ello soporta CSS, JavaScript y HTML como lenguajes de programación a fin de crear y trabajar con aplicaciones nativas en ThingSpeak. Adicional es compatible con Google Gauge Visualization y también los plugins pueden ser públicos o privados según se requiera
- Está integrado con MATLAB, permite acceso a la caja de herramientas MATLAB para el desarrollo de algoritmos analíticos mediante la generación de código, además posibilita la integración con varios dispositivos hardware y software como: Raspberry Pi Arduino, ESP32, Electric Imp, IoBridge / RealTime.io, Móviles , Aplicaciones web, Redes Sociales entre otros. El catálogo de Apps en ThingSpeak es muy amplio.

Ubidots.- Es una plataforma IoT para recopilación, análisis y visualización de datos basada en dispositivos globales en la nube. Actualmente existe una línea de plataforma educativa “Ubidots for Education” que posibilita a estudiantes desarrollar e implementar aplicaciones y soluciones conectadas a Internet. Dentro de las aplicaciones de uso destacan soluciones para automatización y monitorización, controlar y automatizar de procesos en áreas como; servicio público, salud, transporte, energía entre otras. (*IoT platform Ubidots, 2020*)

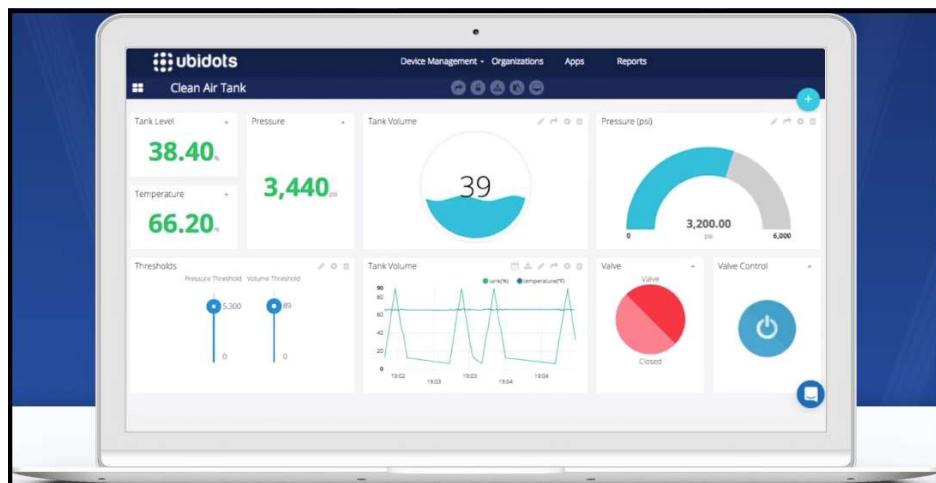


Ilustración 2-26: Ubidots
Fuente: (*IoT platform Ubidots, 2020*)

- Soporta varios protocolos para conexión del hardware al Cloud como: HTTP, MQTT, TCP, UDP, Adicional personalización Parse de protocolo, personalización de la API y uso de una amplia gama de bibliotecas, SDKs y tutoriales.
- Uso de Dashboard en tiempo real por medio de la creación de cuadros de mando para análisis de datos y control de dispositivos.
- Uso de datos compartidos con enlaces públicos o integrando: dashboard o widgets en aplicaciones web privadas y móviles.

- Gestión de usuario para asignación y restricciones de permisos para interactuar con cuadros de mando, dispositivos y eventos. Así como uso de comandos para detección de hardware inactivo durante demasiado tiempo.
- Almacenamiento y Back-End para funciones de visualización de data registrada durante dos años de retención en la fuente.
- Posibilita que la salida de datos sea representada en formatos PDF o Excel.

Kaa IoT. Es una plataforma de código abierto diseñada en base a tecnologías de software que habilitan el acceso a productos y servicios con capacidades IoT sin necesidad de disponer de conocimientos técnicos previos. Esta plataforma posee herramientas Cloud que facilitan la conexión de dispositivos a la nube y garantizan beneficios para la ejecución de gestión y análisis en dispositivos remotos. Debido a esto, es apropiada como una solución para aplicaciones de IoT desde un nivel emprendedor hasta el nivel empresarial. (*Technical Architecture Kaa*, 2020)

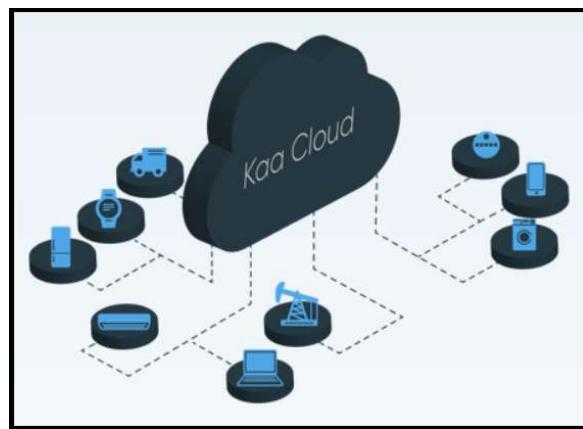


Ilustración 2-27: Kaa

Fuente: (*Technical Architecture Kaa*, 2020)

- Su arquitectura de microservicio personalizable y protocolos abiertos brinda una independencia, integración, escalabilidad y seguridad que la convierte en altamente personalizable desde su núcleo; logrando así el desarrollo rápido de soluciones IoT.
- Maneja esquema de datos estructurados y no estructurados y posee compatibilidad con Apache Avro, GUI y librerías SDK Endpoint disponibles en Java, C++ y C.
- Soporta Gateway y maneja funciones de autenticación, clasificación, encriptación, persistencia en la conectividad y soporte multicanal para la creación de aplicaciones en diferentes redes.
- Su servidor maneja equilibrio de carga en clúster y permite varios modos de implementación: local, en la nube o mixta.
- Garantiza la constante evolución de una solución de IoT debido al soporte total de las versiones de aplicaciones utilizadas por sus dispositivos en el campo.

Emoncms.ORG.- Es una potente plataforma de código abierto para procesamiento, registro y visualización de datos. Es parte del proyecto open source OpenEnergyMonitor, el mismo que ha creado una comunidad y su ámbito de aplicaciones se centran en la monitorización de variables energéticas y ambientales. (*Home | OpenEnergyMonitor*, 2020)

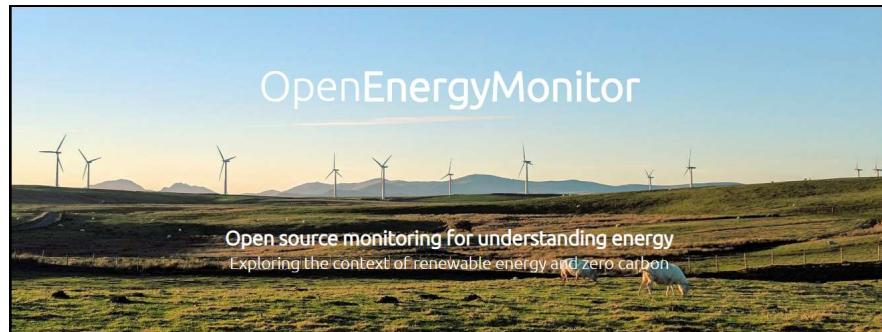


Ilustración 2-28: OpenEnergyMonitor

Fuente: (*Home | OpenEnergyMonitor*, 2020)

- Versátil y sencillo de instalar si se posee conocimientos básicos en: mysql, php, javascript y servidor web apache.
- Administración completa de plataforma backup's y servidor visible desde internet.
- Se puede usar el formato JSON vía url o a su vez un cliente MQTT para realizar flujos de envío y solicitud de datos hacia la plataforma.
- Existe publicaciones continuas en su comunidad acerca de las actualizaciones, modificaciones y mejoras para su Plataforma.

Thinger.io.- Es una plataforma de código abierto que usa librerías para proporcionar la gestión de dispositivos a través de Internet. La adquisición de data de esta interconexión digital de objetos es mostrada en el portal principal o en alguna otra aplicación compatible con el mismo, como por ejemplo algunas redes sociales. (*Thinger.io IoT Platform*, 2020)



Ilustración 2-29: Thinger.io

Fuente: (*Thinger.io IoT Platform*, 2020)

- Sus servidores habilitan la instalación en una máquina propia a través de una cuenta gratuita para utilizar su infraestructura en la nube.
- Almacenamiento y visualización de información recibida desde sus dispositivos, adicional esta data puede ser graficada y también exportada para facilitar tareas de ejecución de análisis con herramientas informáticas.
- Envío de datos o instrucciones a dispositivos a través de configuración vía Internet
- Creación de conexiones con varios tipos de servicios en línea como: almacenamiento de archivos en nube, redes sociales, canales, páginas web, correos electrónicos, mensajes de texto, entre otros; a fin de desarrollar interactuar con las aplicaciones por medio de marcas denominadas Endpoints.
- Soporta Gateway, HTTP y formatos Json, los mismos que son usados para el almacenamiento de Buckets y su visualización en Dashboards.
- Utiliza campos denominados Data Buckets para el almacenamiento de datos en la plataforma. Cada Data Bucket puede recibir datos de múltiples sensores.
- Su versión gratuita permite configurar 3 dispositivos y 2 Dashboards que pueden almacenar hasta un máximo de 10 campos Data Buckets diferentes a una frecuencia máxima de un minuto. El límite de Endpoints es 10 no existe limitación del número de parámetros a medir por los sensores que se tenga conectados.

2.2.6. Control remoto de impresora 3D vía página WEB

Hoy en día la vanguardia tecnológica nos sumerge en aplicaciones WEB compatibles con placas microcontroladoras para logar hacer que nuestra impresora esté trabajando durante horas mientras la monitorizamos y la controlamos a distancia, sin duda son ventajas tecnológicas que debemos aprovecharlas. Entre algunas variantes domésticas comúnmente usadas para este monitoreo vía página WEB describimos dos tendencias marcadas open source destacadas por su aceptación entre los diferentes miembros de la comunidad RepRap.

OctoPrint.- Es una aplicación WEB Open-Source de código abierto que proporciona una interface web para monitorización y gestión de una impresora 3D de forma remota. Es compatible con cualquier navegador WEB comúnmente utilizado.

Para habilitar las funciones en Octoprint, el usuario debe iniciar un trabajo de impresión enviando el archivo de código G a una impresora 3D conectada a través de USB. OctoPrint monitorea los principales parámetros del proceso de impresión como: temperatura cabezal, temperatura de cama entre otros. Adicional OctoPrint monitorea el estado del trabajo de impresión a través del uso de una cámara web, en donde se puede visualizar el código G de forma asíncrona o en sincronización con el trabajo. (Häußge, 2020)



Ilustración 2-30: OctoPrint

Fuente: (Häußge, 2020)

OctoPrint brinda una interfaz amigable y su instalación es muy sencilla, debido a ello es compatible con varios sistemas. Actualmente la tendencia es utilizar la placa controladora Raspberry Pi para su instalación, ya que existe una distribución llamada OctoPi basada en el sistema operativo Raspbian, que suministra una versión preconfigurada de esta aplicación con un amplio soporte para hacer streaming, timelapses para webcam.

A continuación, se lista los pasos que contempla instalar OctoPrint en la Raspberry Pi. (*Controlando nuestra Impresora 3D mediante OctoPrint, 2020*)

Requisitos mínimos recomendables:

- Raspberry Pi (1 Model A, A+, B, B+ o 2 Model B)
- Adaptador WiFi USB
- Tarjeta SD de 2GB

Paso 1 → Descargamos OctoPi (OctoPrint + Raspbian) del link:

[HTTPS://OCTOPI.OCTOPRINT.ORG/LATEST](https://octopi.octoprint.org/latest)

Paso 2 → Extraemos la imagen con extensión IMG

Paso 3 → Para una instalación desde Windows, descargamos Win32DiskImager del link:

[HTTP://SOURCEFORGE.NET/PROJECTS/WIN32DISKIMAGER/](http://sourceforge.net/projects/win32diskimager/)

Paso 4 → Escogemos la ruta donde se ha extraído el archivo IMG y la ruta de la tarjeta SD, luego hacemos click en la opción Write.

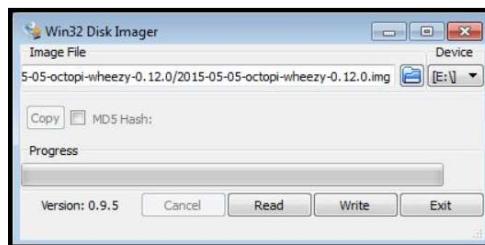


Ilustración 2-31: Win32 Disk Imager

Fuente: (*Controlando nuestra Impresora 3D mediante OctoPrint, 2020*)

Paso 6 → Para una instalación desde Linux, usamos el comando:

```
sudo dd if=/”ruta imagen .img” of=/”ruta de la tarjeta SD”
```

Paso 7 → Una vez instalado OctoPrint. Abrimos el archivo "octopi-network.txt" de la tarjeta SD, y registramos la red WIFI en uso: SSID y contraseña.

Paso 8 → Ahora conectamos nuestra impresora 3d RepRap por USB a la Raspberry.

Paso 9 → Finalmente, desde nuestro navegador preferido nos conectamos al sitio:

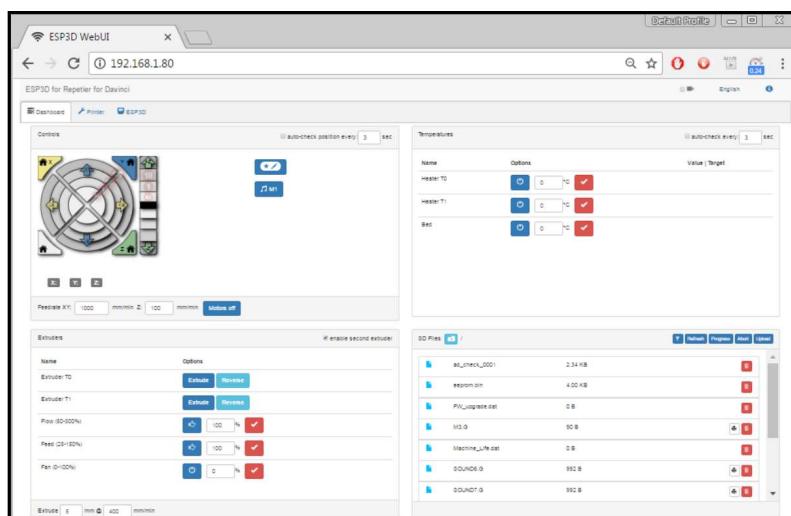
Puede reemplazar la dirección local por la dirección ip de su equipo.

<http://octopi.local>

ESP3D WEBUI.- Es una aplicación WEB Open - Source de código abierto para placas basadas en ESP8266 o ESP32 conectadas a una impresora a través de la cual podemos configurar totalmente el wifi ESP3D para hacer control y monitoreo vía remota de funciones como: posición, temperatura, impresión, contenido de la tarjeta SD, comando personalizado entre otras. Adicional la interfaz web ESP3D es compatible con cualquier navegador web y actualmente existe soporte informativo en los idiomas: inglés, alemán, francés, y español. (Panucatt/ESP3D-WEBUI, 2019/2019)

Características:

- Soporta varios firmwares basados en: Repetier, Marlin y Smoothieware y permite actualizar el ESP3D cargando el firmware.
- Permite editar la EEPROM Repetier, el archivo de configuración de Smoothieware, la configuración de Marlin y GRBL.
- Soporte de macro para adicionar comandos personalizados en la interfaz de usuario al agregar botones que inician algunos archivos GCODE desde SD o ESP.
- Permite mostrar una cámara web en la interfaz de usuario o separada.



A continuación, se lista los pasos que contempla instalar ESP3D WEBUI.

Requisitos mínimos recomendables:

- ESP8266 o ESP32 o placa basada en ESP32.
- Adaptador WiFi USB o WIFI integrado en placa.
- Tarjeta SD de 2GB.

Paso 1 → Obtener placa controladora de preferencia basada en ESP32 y firmware Marlin 2.0

Paso 2 → Descargar el software ESP3D desde el enlace y cargar en la placa. Utilizar la última versión actualizada del firmware.

<https://github.com/luc-github/ESP3D>

Paso 3 → Ingresar a la dirección ip desde el browser por medio de la computadora o el teléfono, tener en cuenta la dirección ip asignada. Aparecerá la interfaz web ESP3DWEBUI.

2.3. Conclusiones:

- ✓ Prácticamente la evolución de técnicas para fabricación aditiva con el uso de materiales cerámicos para aplicaciones industriales es una realidad, un punto que marca la actual tendencia es la versatilidad obtenida al resolver requerimientos de compleja geometría al aprovechar al máximo las propiedades de estos materiales como: el aislamiento térmico – eléctrico y su sostenibilidad a fin de lograr su escalable maduración Industrial.
- ✓ Por otro lado, en el ámbito del diseño y la artesanía, la cerámica tradicional como la arcilla también adopta beneficios de esta evolución. La técnica LDM se consolidará como una solución doméstica definitiva, debido a su alto acople y ganancia de sinergia con la técnica FDM mundialmente usada y bajo un concepto fundamental centrado en el uso de la impresión 3D para cerámica, esta nos arroja un producto terminado, no un prototipo.
- ✓ Algo substancial en los servicios de impresión en 3D radica en la oportunidad del uso de software totalmente disponible para su descarga gratuita, a fin de habilitar y motivar al usuario a crear sus modelos personalizados, cargar sus diseños al servidor al solicitar su pedido, para luego poder venderlos en línea los artículos producidos. Definitivamente una revolución como una alternativa de emprendimiento vía teletrabajo.
- ✓ Actualmente existen grandes y activas comunidades open source como RepRap, estas ofrecen información libre tópicos para impresión 3D, ya sea por medio de sus plataformas, webs, canales, foros, etc. Se comparte muchísima documentación que abarca desde configuraciones básicas de entorno de impresión hasta la construcción

total de una impresora. Esta democratización ha motivado que los diseñadores e investigadores opten por la construcción de su propia impresora de cerámica a fin de acoplar el uso de una nueva generación de extrusores adaptados al material cerámico.

- ✓ Adicional como un gran complemento a esta tendencia también existen algunas empresas que comercializan impresoras 3D de cerámica las mismas que hoy por hoy se implantan como una solución doméstica alcanzable y de alta calidad, un ejemplo claro de esto lo constituye el fabricante italiano WASP, inventor de la tecnología LDM, quién promueve la artesanía digital y la autoproducción a través de su línea de impresoras Delta WASP o su Kits profesionales LDM WASP Extruder, que se puede adaptar a la mayoría de las impresoras 3D del mercado.
- ✓ Seleccionar una placa electrónica compacta como controladora de bajo costo en el actual mercado como solución de código abierto para emprendimiento de proyectos depende de su aplicación y alcance. Por ejemplo, Raspberry Pi es una plataforma robusta y versátil que se ajusta a procesos que requieren alto procesamiento de datos como video en tiempo real y salida Gateway hacia un sistema operativo. Arduino se adapta mejor para procesos de control de E / S en tiempo real. ESP32 es adecuada para proyectos donde la conectividad WIFI o Bluetooth deben incluirse ya que es la opción más rentable, pero a cambio requiere un mayor conocimiento de electrónica y programación.
- ✓ En fin, actualmente las soluciones open source nos brindan la oportunidad que ni siquiera se tenga que seleccionar específicamente entre una u otra placa controladora. Se pueden combinar entre ellas a través de una conexión UART y todo dependerá del alcance real de nuestro emprendimiento y el uso de los recursos. Adicional para aplicaciones como un tablero para impresora 3D, una vez decidido la placa controladora, hay que elegir la placa shield que mejor se acople para manejar los elementos de potencia para proteger a nuestra placa controladora.
- ✓ Hoy, este paradigma de plataformas IoT constituye un factor imprescindible para el desarrollo de nuestras aplicaciones en los segmentos de: administración de dispositivos conectados, monitorización en tiempo real, almacenamiento de datos y acceso a los datos para ejecutar el análisis y la toma de decisiones. Aunque existe desafíos como a nivel de seguridad, estas plataformas web para IoT open source de código abierto, ofrecen varias alternativas que podemos usarlas gratuitamente y que nos garantizan una mejor presentación de los resultados, algunas nos ofrecen todo el control de esta, mientras que en otras nos atan a configuraciones.

CAPÍTULO 3

3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CONTRIBUCIÓN DEL TFM

3.1. Objetivos:

3.1.1. Objetivo General

- ✓ Seleccionar a través de un estudio comparativo tanto tecnológico como económico, la solución comercial óptima que la tienda Kirei Crafts & Arts EC debe adoptar para incursionar en el proceso de fabricación inteligente de artesanías funcionales.

3.1.2. Objetivos Específicos

- ✓ Definir que impresora 3D FDM es modificable para la repotenciación de: sistema de control, sistema de potencia y tecnología de extrusora LDM para materiales cerámicos.
- ✓ Definir el sistema de control, el sistema de potencia y el ambiente de desarrollo que será usado para la repotenciación de la impresora 3D FDM.
- ✓ Definir que plataforma IoT para integración, almacenamiento y visualización de datos, así como la herramienta WEB para control remoto de la impresora 3D será utilizada.
- ✓ Desarrollar el presupuesto total de la solución definitiva.

3.2. Metodología del trabajo

La metodología en cascada ha sido elegida para su aplicación en función del proyecto y sus necesidades, no se introducirán cambios en el proceso de desarrollo y el recurso humano para resolver esta iniciativa estática será el estudiante. El desarrollo del proyecto fluirá secuencialmente desde el punto inicial hasta el punto final y las etapas contempladas serán:



Ilustración 3-1: Waterfall

Fuente: («Waterfall», 2017)

1. Requisitos de hardware y software enmarcados al alcance.
2. Búsqueda de diseños de soluciones comerciales.
3. Desarrollo de contraste tecnológico entre diseños comerciales.
4. Selección de solución óptima tecnológica, validación de características.
5. Lanzamiento del presupuesto involucrado para la solución.

Tenemos que resaltar que se mantendrá una firme orientación al plan. Antes de iniciar con el desarrollo comparativo tecnológico es necesario que tanto los requerimientos como los diseños comerciales existentes estén claros, debido a que en este método secuencial se requiere finalizar una etapa previa a iniciar otra. Así estimaremos el presupuesto de la solución definitiva con mayor precisión al igual que obtendremos un elevado nivel de satisfacción para Kirei Crafts & Arts EC desde el punto de partida.

3.3. Especificaciones generales Ecosistema IoT

Haciendo enfoque en que arcilla es el material más adecuado para la fabricación con materiales cerámicos en trabajos de Alfarería Decorativa por ser un elemento natural sostenible y reutilizable. Por otro lado, la evolución y democratización de la implantación doméstica de impresoras 3D bajo la técnica FDM; se ha recurrido como soluciones factibles para resolver el problema de técnicas de impresión LDM a acoplar Kits de impresión 3D de cerámica en impresoras FDM domésticas.

Se propondrá 3 casos de repotenciación de la electrónica de una impresora FDM doméstica acoplado a un kit para impresión en arcilla por medio del uso de placas shield y controladoras.

Tras una comparación tecnológica se optará por la solución tecnológica óptima. La sinergia de conectividad WiFi e integración a plataformas IoT obtenidas con esta repotenciación la explotaremos con el uso de la plataforma ThingSpeak para ejecutar funciones de integración y almacenamiento de data a fin de monitorizar en tiempo real los parámetros del proceso de impresión. Adicional las prestaciones nativas de compatibilidad que ofrece esta plataforma IoT con el software numérico MATLAB adicionará escalabilidad a la solución final para ejecutar funciones de analítica.

Como complemento a esta repotenciación, nos enfocaremos en el uso de microcontroladores que soporten firmware Marlin 2.0, ya que esta versión permite levantar un servidor web para habilitar el uso de interfaces open source por medio de cualquier navegador a fin de ejecutar funciones de control remoto de la impresora vía WEB.

Finalmente, una vez definida la solución integrada; se obtendrá su presupuesto real, mismo que marcará el inicio de la implantación a futuro en un mediano plazo.

3.4. Relación con la metodología Design Thinking

El mundo actual es dinámico, un día es diferente a otro y obedece a la formulación de nuevas ideas para brindar soluciones a la resolución de problemas a fin de recurrir a innovar para sobresalir y no dar tregua a la competencia. Por ello, relacionaremos este estudio tecnológico con la metodología más utilizada para el proceso en la innovación del diseño de un nuevo producto o servicio, el método de Pensamiento de Diseño: “Design Thinking”.

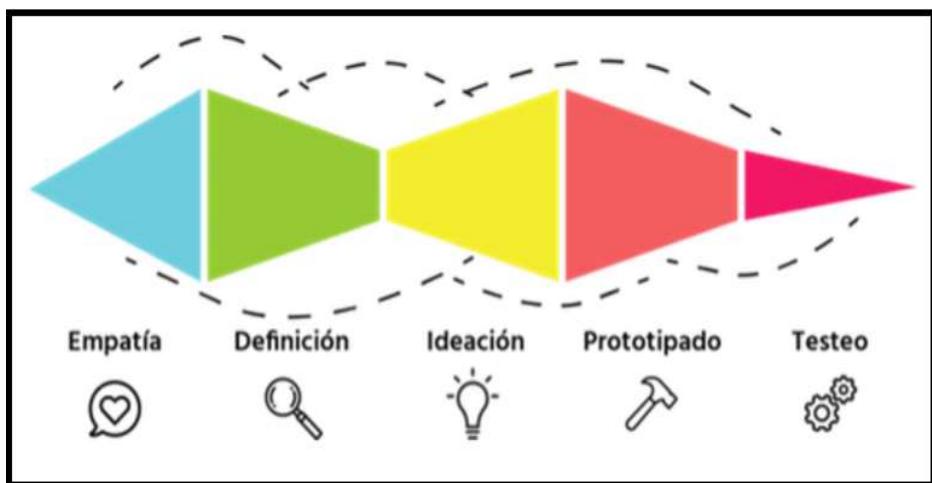


Ilustración 3-2: Design Thinking

Fuente: (Español, 2020)

Debido a que el método Design Thinking presenta su fortaleza en el proceso del diseño, más que en producto final, este se adapta a nuestro proyecto y para ello lo enfocaremos a la ejecución de nuestro estudio tecnológico – económico comparativo bajo el siguiente ciclo:

3.4.1 Empatía.

Para esta fase nos enfocaremos en las necesidades de nuestros clientes, la divergencia:

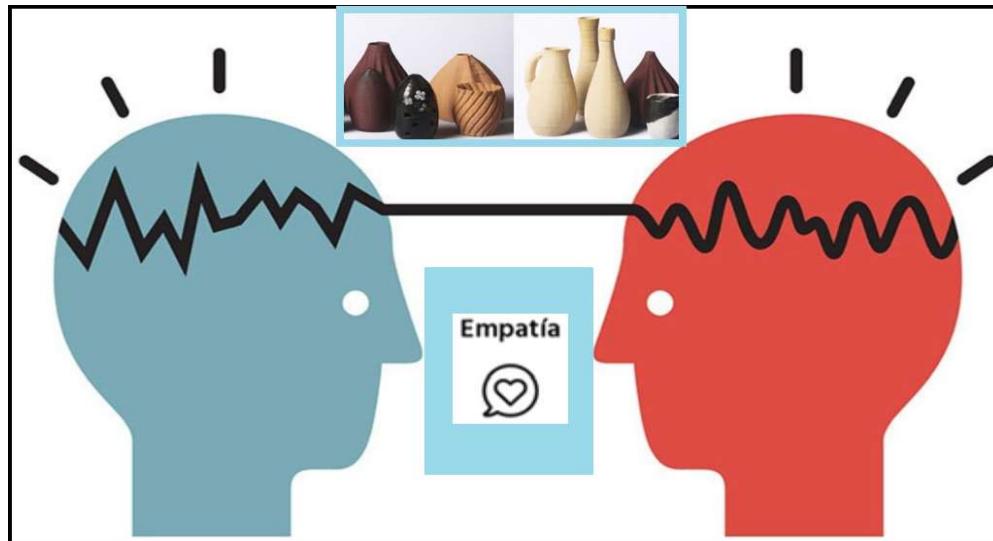


Ilustración 3-3: Fase Empatía

Fuente: Collage de elaboración propia

- ✓ Tiempo limitado en sus agendas para trasladarse a una tienda y comprar Cerámica – Alfarería de objetos funcionales.
- ✓ Objetos funcionales como un producto final ideal para decorar sus espacios interiores.
- ✓ Producto final que cumpla expectativas de un objeto funcional con características aptas en: diseño personalizado, resolución geométrica, tamaño ideal, peso aceptable, textura en colores surtidos.
- ✓ Características tangibles en tipo de objetos funcionales como: floreros, tazones, vasos, platos, tazas, jarrones, vajillas o incluso pequeñas esculturas.
- ✓ Tipo de Objetos funcionales inmersos en volúmenes de impresión de: 200 [mm] x 200 [mm] x 180 [mm] como medidas promedio.
- ✓ Soluciones comerciales totales o adaptadas para técnicas LDM que sean asequibles.
- ✓ Soluciones de código abierto para establecer las comunicaciones para la integración total.

3.4.2 Definición

Para esta fase nos enfocaremos en fijar los límites y hacer foco en lo tangible, la convergencia:

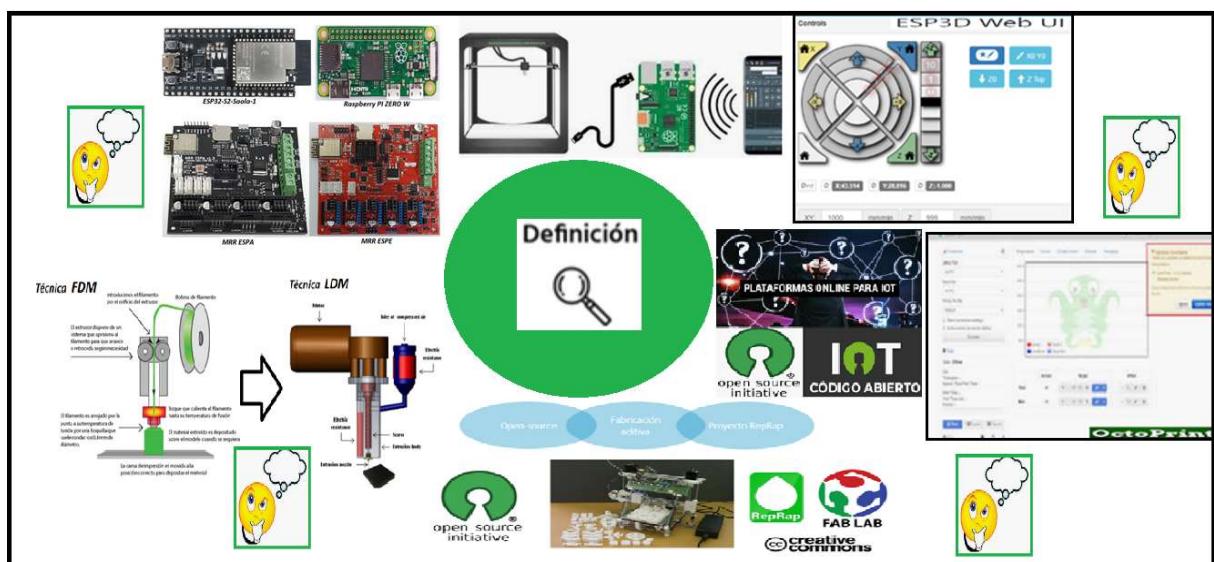


Ilustración 3-4: Fase Definición
Fuente: Collage de elaboración propia

- ✓ Este proceso tradicional puede ser reemplazado por un proceso FA y como una solución se propone: “Material Extrusion” bajo LDM que sigue las bases de la técnica *FDM*, pero con extrusores adaptados al material: arcilla y polímeros.
- ✓ Actualmente el mercado ofrece impresoras 3D LDM domésticas ideales para escultores, o a su vez para lograr procesos de deposición de capas con materiales fluidos y densos a un bajo costo se puede adaptar kits para arcilla y polímeros en impresoras 3D FDM.
- ✓ Repotenciar el hardware (placa controladora – placa potencia) en la electrónica de la impresora 3d FDM para ganar sinergia en capacidades fundamentales como la conectividad WIFI y la compatibilidad con plataformas IoT.
- ✓ La plataforma IoT inmersa en este ecosistema debe ser capaz de brindar funciones de integración, almacenamiento, monitorización y visualización de datos en tiempo real.
- ✓ Adicional, debe habilitar nuestro ecosistema IoT para la interacción con alguna herramienta informática a fin de ejecutar las funciones de: análisis, inteligencia artificial y control remoto vía WEB para aportar gestión y optimización al proceso de impresión 3D.

3.4.3 Ideación

Para esta fase nos enfocaremos en la creatividad y exponer alternativas, plantear la solución:

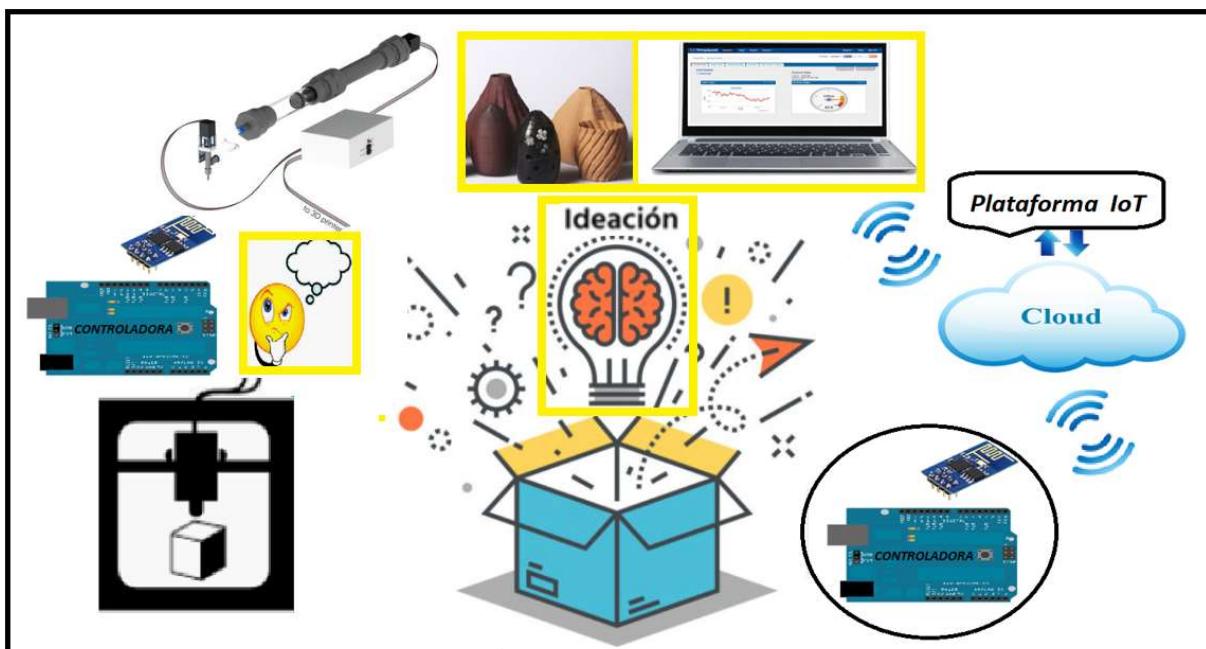


Ilustración 3-5: Fase Ideación

Fuente: Collage de elaboración propia

- ✓ Seleccionar modelos de impresoras 3D FDM domésticas priorizando el factor coste y acoplar a estas el kit de impresión para materiales fluidos y densos que mejor se adapte.
- ✓ Repotenciar el hardware de la impresora 3D con características tecnológicas de última generación: WiFi, Bluetooth, Cámara WEB, CPU, reloj a 240 Mhz y soporte para interfaces WEB.
- ✓ El software ejecutado en este hardware debe ser open source y totalmente compatible con el hardware seleccionado. Adicional el hardware debe permitir ejecutar Marlin 2.0 como versión de firmware.
- ✓ La plataforma IoT de código abierto seleccionada debe ser compatible con el modelo de hardware repotenciado y acondicionado como elemento para solucionar la impresión 3D LDM dentro de este ecosistema IoT.
- ✓ Esta plataforma habilitará funciones de: integración, almacenamiento y monitorización de variables en tiempo real, adicional permitirá la interacción con alguna herramienta informática apta para ejecutar análisis de data histórica e inteligencia artificial, así como también la habilitación de aplicaciones WEB para control remoto.

3.4.4 Prototipado

Para esta fase nos enfocaremos en convertir la idea en la solución esquema de la arquitectura del ecosistema IoT buscado. Para ello usamos una forma simple y rápida de prototipado debido al punto en que se encuentra nuestro proyecto, el cual se enfoca en el “Estudio Tecnológico - Económico Comparativo”.

La forma pantallazo se adapta para ilustrar el esquema de la arquitectura del ecosistema IoT que contemplará la solución propuesta. Estos pantallazos creados con dibujos nos permiten ilustrar la historia del producto, así como también su integración en el ecosistema IoT:

- ✓ Como elementos para la solución de impresión 3D bajo técnica LDM hemos seleccionado tres modelos diferentes (impresora 3D FDM + Kit LDM + repotenciación de electrónica), elementos que se integran con la plataforma IoT código abierto ThingSpeak.
- ✓ ThingSpeak permite almacenar la información que envía este modelo a través de una ubicación en la nube, para que se pueda acceder fácilmente a los datos para análisis en línea o fuera de línea.

- ✓ El desarrollo de cálculos y la creación de visualizaciones personalizadas es una prestación que otorga la solución propuesta a través del uso del software MATLAB integrado nativamente. Se pueden importar datos almacenados en ThingSpeak en el entorno de escritorio de MATLAB utilizando la función thingSpeakRead.

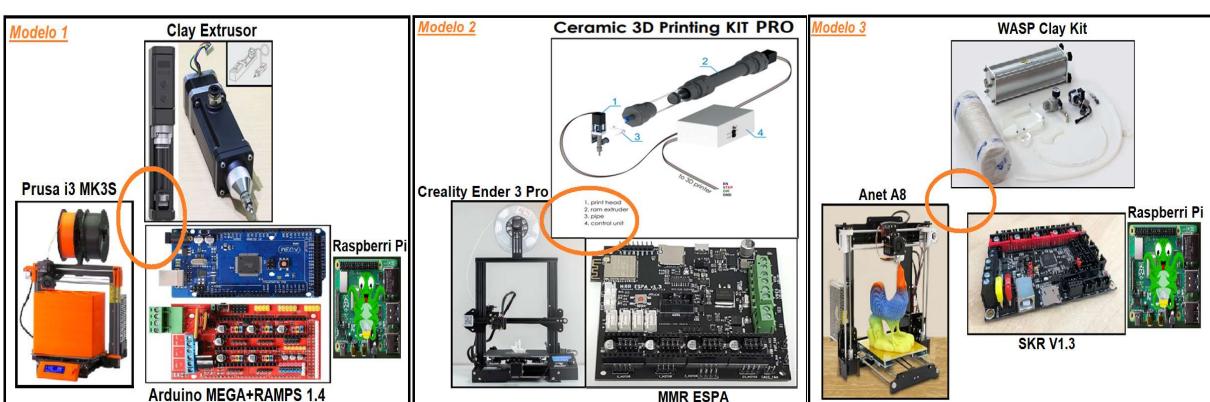
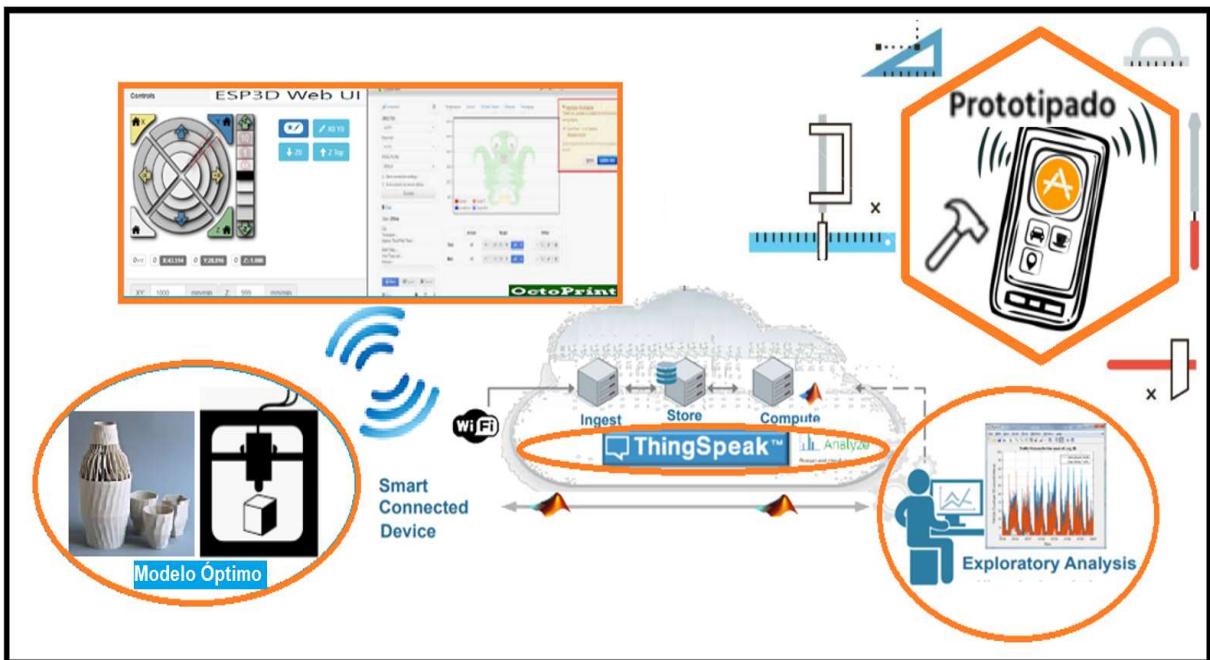


Ilustración 3-7: b) Modelos solución LDM – Fase Prototipado

Fuente: Collage de elaboración propia

3.4.5 Testeo

Para esta fase nos enfocaremos en comprobar si la propuesta desarrollada obtiene la retroalimentación deseada. Para ello, lo hemos justificado sustentándonos en extractos referenciados a cada uno de los elementos de este ecosistema IoT bajo su integración con el siguiente esquema de arquitectura :

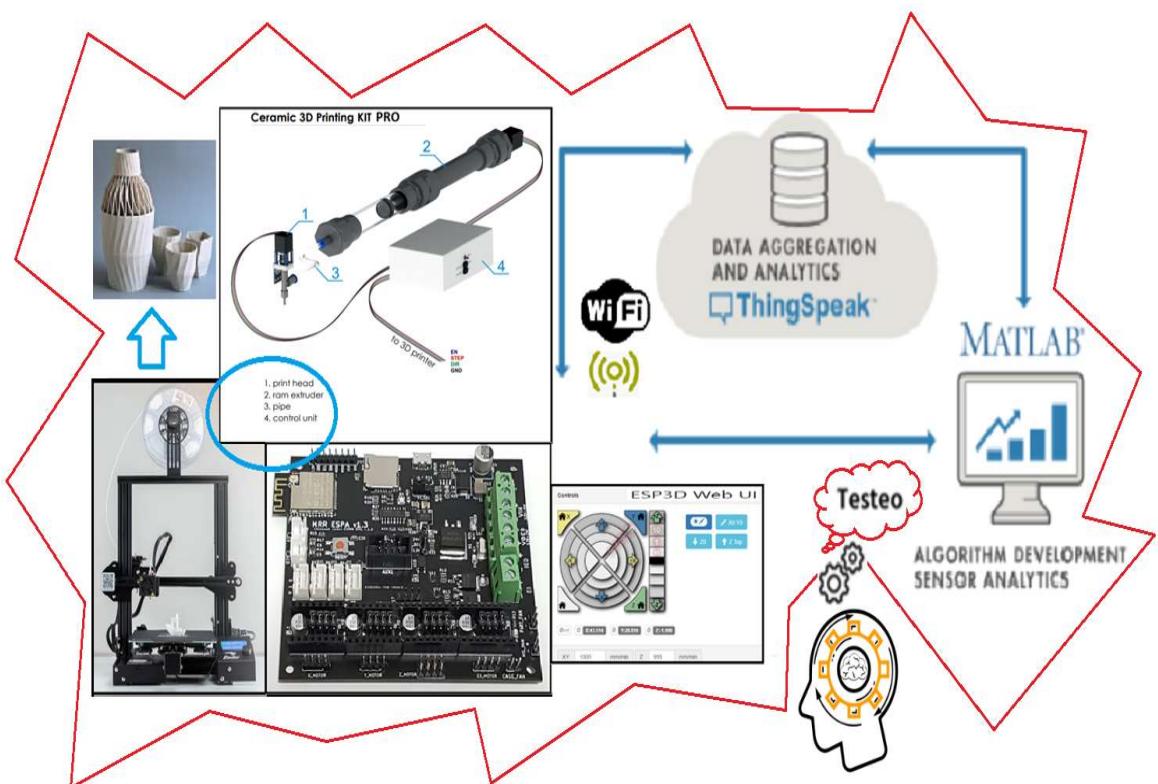


Ilustración 3-8: Fase Testeo

Fuente: Collage de elaboración propia

- ✓ La Ender 3 Pro es una de las soluciones más asequibles en el mercado, el nuevo modelo completamente rediseñado maneja un volumen de impresión de: 220 x 220 x 250 [mm].
- ✓ Adicional pude ser repotenciada usando una placa MRR ESPA que integra en una sola tarjeta electrónica: un microcontrolador ESP32 de 32 bits con WiFi nativo y un shield apto para el manejo de sus componentes.
- ✓ La adaptabilidad del Kit de impresión 3D de cerámica Pro del fabricante StoneFlower, dota compatibilidad en software, hardware y firmware para la Ender 3 Pro repotenciada para la ejecución del proceso de impresión con arcilla.

- ✓ Las configuraciones para los parámetros de impresión 3D son proporcionadas por los softwares de corte más comunes, como Slic3r o Cura.
- ✓ Con este modelo obtenemos productos finales con diseños de mayor complejidad, personalizados, con menor esfuerzo y tiempo, adicional el uso óptimo de las propiedades geométricas y mecánicas de la arcilla, la misma que es totalmente: disponible, reutilizable y recicitable.
- ✓ ThingSpeak es usado para la ingesta y almacenamiento de datos que son asociados en un canal distinto.
- ✓ En la configuración de un canal se puede registrar hasta 8 campos diferentes y permiten ser visualizados mediante histogramas los datos en tiempo real.
- ✓ Esta plataforma soporta la creación de Streaming Analytics y el desarrollo de cálculos a través del uso del software MATLAB integrado nativamente al hacer uso de la función thingSpeakRead.
- ✓ Las capacidades WiFi que son adquiridas por la placa MRR ESPA al igual que se aprovechó para la conectividad con ThingSpeak, éstas también son aprovechadas para habilitar el control remoto de la impresora a través de internet, para ello se ha seleccionado como interfaz a la aplicación ESP3D WEB UI que se ejecuta de forma nativa con el controlador ESP32 siempre que se use como firmware a Marlin 2.0.

CAPÍTULO 4

4. DESARROLLO ESPECÍFICO DE LA CONTRIBUCIÓN DEL TFM

4.1. Estudio tecnológico comparativo

4.1.1 Elementos Modelo 1 → Dispositivo IoT LDM

Prusa i3 MK3S: Es una de las soluciones más valoradas por la comunidad maker, esta versión es la evolución de la MK2S e incorpora un extrusor para mejorar la accesibilidad, un sensor de filamento, una cama magnética, soporta auto calibración, robusta, flexible, recubierta con PEI para facilitar el despegue de piezas y maneja un volumen de impresión de: 250 x 210 x 210 [mm]. Incluye un manual con detalle paso a paso on line para el ensamblaje de sus componentes. (*Original Prusa i3 MK3S Kit, 2020*)



Ilustración 4-1: Prusa i3 MK3S

Fuente: (*Original Prusa i3 MK3S Kit, 2020*)

ClayXYZ Extrusion: Este dispositivo de extrusión para arcilla del fabricante Clay XYZ puede ser compatible con muchas impresoras 3D FDM existentes. El dispositivo extrusor posee una estructura de extrusión espiral accionada por motor paso a paso de alta precisión en el orden de las 15 micras que emplea un compresor de aire especial que elimina perfectamente las burbujas de la arcilla suficientemente apto para mejorar la precisión de la impresión en la creación de arte a partir de arcilla. (*ClayXYZ, 2018*)

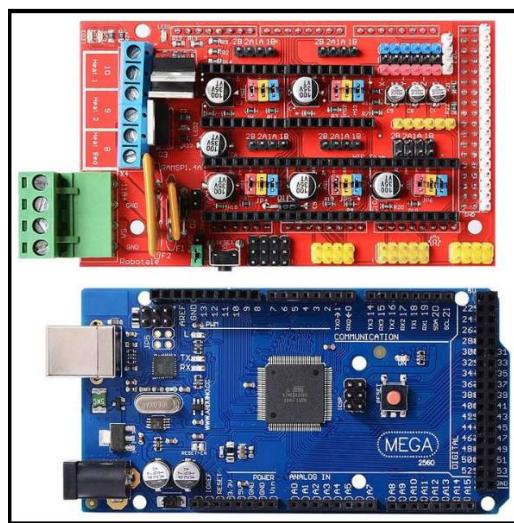
Soporta Windows, Mac o Linux y una fácil integración para impresoras RepRap de placas Arduino Mega 2560 como control maestro, adicional posee compatibilidad con el firmware Marlin y los softwares de corte: Slic3r o Cura.

**Ilustración 4-2: Clay Extrusor**

Fuente: (ClayXYZ, 2018)

Arduino Mega 2560 R3 + RAMPS 1.4: La combinación de estas dos placas es una solución comúnmente usada para la repotenciación de una impresora 3D RepRap como la Prusa i3 MK3S. La placa de Arduino Mega brinda versatilidad y codificación abierta, por ello se convierte en nuestra placa de control en donde el microcontrolador ATmega1280 constituye el cerebro de la impresora 3D, es decir, es donde correrá el firmware para habilitar la ejecución de las funciones del proceso de impresión 3D. (*tipos-de-arduino.*, 2020)

La placa RAMPS 1.4 se convierte en nuestro escudo y su función es la de proteger nuestras conexiones. En esta placa cada componente será conectado para recibir su respectivo comando funcional desde la placa Arduino Mega. Todo este conexionado debe hacerse muy minuciosamente para no provocar algún error que pueda ser causa de avería de nuestras placas. (*Shield RAMPS para Impresora 3D*, 2020)

**Ilustración 4-3: Placas: Arduino MEGA + RAMPS 1.4**Fuente: (Shield RAMPS para Impresora 3D, 2020; *tipos-de-arduino.*, 2020)

RAPSBERRY PI + OCTOPRINT: Una de las características de OctoPrint es su amplio potencial para conectarse con otras plataformas y dispositivos, para ello una placa adicional, la Raspberry Pi conectada por medio de USB a la placa Arduino Mega permitirá usar OctoPrint como la interfaz para habilitar el telecontrol de la impresora vía web a través del uso de cualquier navegador debido a su compatibilidad con el firmware Marlin 2.0. (Häußge, 2020; *¿Que es Raspberry Pi?*, 2020)



Ilustración 4-4: OctoPrint bajo Raspberri Pi

Fuente: (Häußge, 2020; *¿Que es Raspberry Pi?*, 2020)

4.1.2 Elementos Modelo 2 → Dispositivo IoT LDM

Ender 3 Pro: Es una de las soluciones asequibles en el mercado, esta versión mejorada del fabricante Creality 3D Technology está equipada de una cama caliente magnética, una función de reanudación de impresión y un extrusor Mk-10 de aluminio 40x40 más estable completamente rediseñado para moverse bajo un volumen de impresión de: 220 x 220 x 250 mm. Adicional viene semi ensamblada y es capaz de ser repotenciada. (*Ender-3 PRO 3D Printer*, 2020)



Ilustración 4-5: Creality Ender 3 Pro

Fuente: (*Ender-3 PRO 3D Printer*, 2020)

Kit de impresión 3D de cerámica Pro: La adaptabilidad del Kit de impresión 3D de cerámica Pro del fabricante alemán StoneFlower, que inicialmente fue creado para instalarse en impresoras de la marca StoneFlower, pero que ahora se puede adaptar fácilmente a la mayoría de las máquinas CNC o impresoras 3D FDM domésticas existentes en el mercado, debido a su alta compatibilidad en software, hardware y firmware se impone como una solución totalmente compatible para con Ender 3 Pro. (*Ceramic 3D Printing KIT*, 2020)

Para el acople de este Kit Pro a otras máquinas, el fabricante StoneFlower suministra una guía completa para su montaje, en donde se incluye el soporte para ajuste del cálculo para la relación del diámetro del filamento correspondiente al valor del número de pasos por [mm].

Las configuraciones para los demás parámetros de impresión 3D son proporcionadas por los softwares de corte más comunes, como Slic3r o Cura.

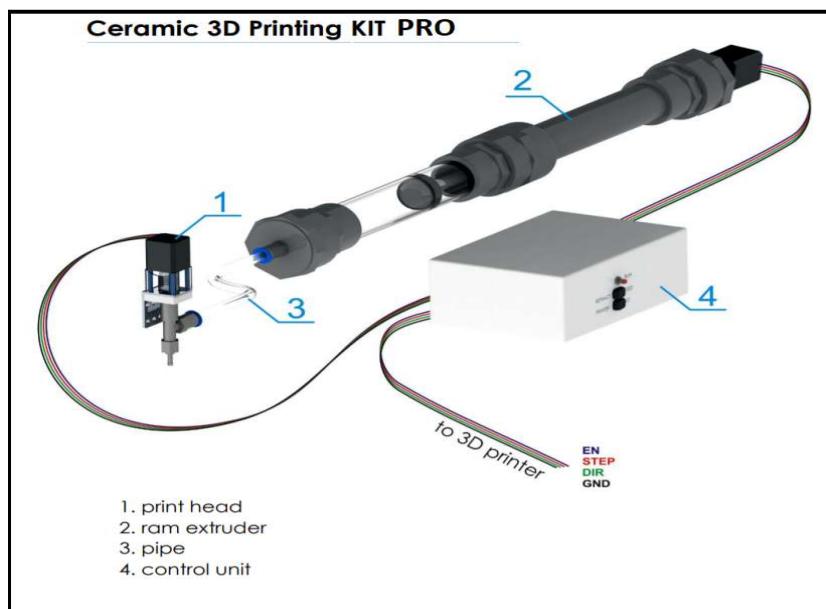


Ilustración 4-6: Elementos Kit PRO

Fuente: (*Ceramic 3D Printing KIT*, 2020)

MRR ESPA: Una alternativa diferente involucra a la MRR ESPA como una placa adecuada para la electrónica de la impresora 3D. Esta solución integra en una sola tarjeta electrónica: un microcontrolador ESP32 de 32 bits con Wi-Fi nativo y un shield capaz de controlar cuatro motores paso a paso, una cama calefactada, un extremo caliente y un ventilador de enfriamiento. Adicional soporta Marlin 2.0 y la interfaz web ESP3D. Prestaciones que la hacen aptas para la repotenciación de la Creality Ender 3, PRO



Ilustración 4-7: Placa MRR ESPA

Fuente: (MMR - Products, 2020)

ESP3D WEBUI: Hemos escogido a ESP3D WEB UI como la interfaz para habilitar el telecontrol de la impresora vía web a través del uso de cualquier navegador, ya que con el firmware Marlin en su versión 2.0 ejecutado en la placa MRR ESPA se aprovecha al máximo las capacidades WiFi del microcontrolador ESP32. Todas estas prestaciones de software están disponibles bajo el uso de la licencia GPL 3.0.



Ilustración 4-8: Entorno ESP3D WEB UI

Fuente: (Panucatt/ESP3D-WEBUI, 2019/2019, p. 32)

4.1.3 Elementos Modelo 3 → Dispositivo IoT LDM

ANET A8: Considerada como la solución más económica en el mercado, la Anet A8 está equipada con poleas de metal para un rendimiento y una funcionalidad mejorada, añade engranajes de avance de liberación rápida para una extrusión eficiente y varillas de plomo, sus piñones, soportes y conectores son de acero inoxidable. Esta impresora 3d tiene un volumen de impresión de 220 x 220 x 240 mm y es compatible con muchos materiales. Para el ensamblaje adjunta una memoria USB equipada con una guía de instalación, instrucciones de funcionamiento y solución de problemas. (A8 3d Printer, 2020)

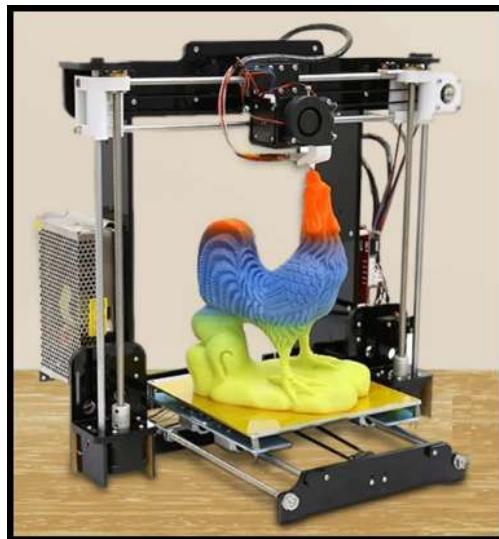


Ilustración 4-9: Anet A8

Fuente: (A8 3d Printer, 2020)

WASP Clay Kit: WASP Clay Kit fue desarrollado para instalarse en impresoras WASP, pero es totalmente adaptable a la mayoría de las máquinas FDM existentes. Para su instalación se requiere obtener los archivos de origen suministrados por el fabricante para imprimir la cubierta de soporte, vincular la extrusora al cable y fijar el número de pasos por milímetro en el valor de 400. Todas estas configuraciones son detalladas por los softwares de corte más comunes en del mercado: Slic3r o Cura.

LDM Wasp Extruder está equipado con un sistema de tornillo capaz de regular el flujo de salida del material, lo que permite una rápida interrupción del flujo y un buen control de retracción ideal para aplicaciones profesionales en la artesanía digital en donde es requerido una deposición de material fluido denso como mezcla de arcilla y materiales cerámicos. (*LDM Wasp Extruder*, 2020)



Ilustración 4-10: Elementos WASP Clay Kit

Fuente: (LDM Wasp Extruder, 2020)

SKR V1.4: Las placas electrónicas SKR V1.4 del fabricante BigTreeTech han incursionado de una manera aceptable dentro del movimiento Maker adaptándose perfectamente a sus requerimientos y constituyéndose en una de las opciones para tomar en cuenta si de repotenciación de una impresora 3D hablamos. Entre las ventajas que brinda esta electrónica esta la disponibilidad de sockets para una amplia gama de pantallas, facilidad para el uso con drivers TMC sin necesidad de cableado externo, puertos para ventiladores, conectores específicos para leds, fusibles de protección extraíbles, conector para módulos WiFi, varios modos de comunicación para drivers, salidas para motores y ejecuta firmware Marlin 2.0 en un procesador de 32 bits. Debido a aquello es ideal para repotenciar la Anet A8.

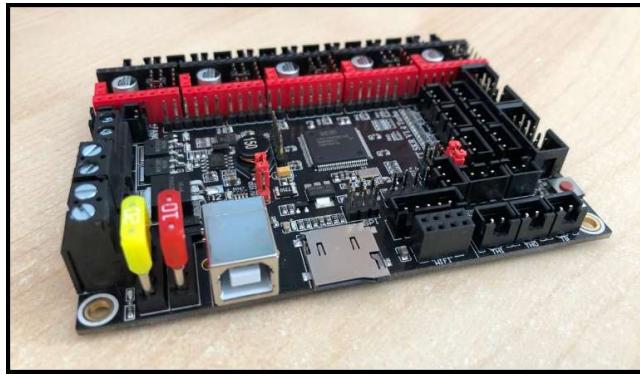


Ilustración 4-11: Placa SKR V1.3

Fuente: (SKR V1.4 product details, 2020)

RAPSBERRY PI + OCTOPRINT: Una vez más aprovechando el potencial de OctoPrint para integración con otras plataformas y dispositivos debido a su compatibilidad con el firmware Marlin 2.0. Una placa Raspberry Pi conectada vía USB a la placa SKR1.4 permitirá habilitar el control remoto vía web al hacer uso de internet. (Häuße, 2020; ¿Que es Raspberry Pi?, 2020)



Ilustración 4-12: OctoPrint bajo Raspberri Pi

Fuente: (Häuße, 2020; ¿Que es Raspberry Pi?, 2020)

4.1.4 Esquemas Ecosistema IoT → Plataforma ThingSpeak

Hemos optado por ThingSpeak como la plataforma IoT abierta que usaremos para las funciones de: integrar almacenar, visualizar y analizar flujos de datos en tiempo real en la nube. Por medio del envío de datos desde la impresora 3D ejecutaremos monitoreo en tiempo real y envío de alertas utilizando servicios web. Adicional la actualización de la estampa de tiempo de los canales para la monitorización es gratis para un valor de tiempo de 15[s], mientras que para un valor de tiempo de 1[s] ya es requerido un coste. Esta versión gratuita también nos permite utilizar hasta 4 canales y nos restringe subir distintos datos de un mismo canal en menos de 15 segundos.

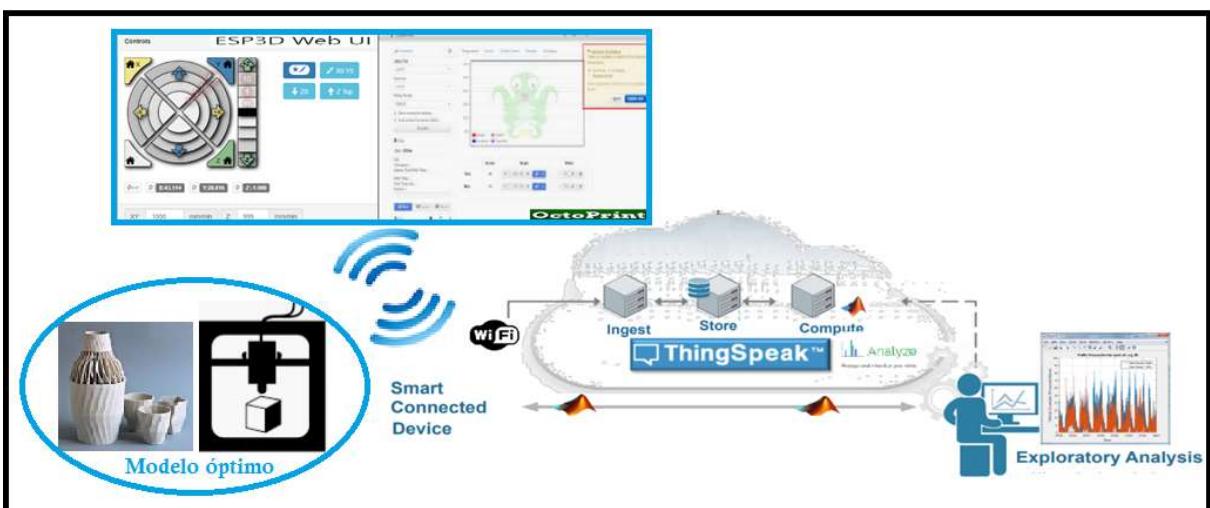


Ilustración 4-13: Ecosistema IoT basado en ThingSpeak

Fuente: (Learn More - ThingSpeak IoT, 2020)

ThingSpeak gira en torno a un elemento denominado como “Canal ThingSpeak”. Este canal almacena los datos que volcamos a ThingSpeak y está formado por los siguientes elementos:

- ✓ 8 campos de almacenaje, que son usados para datos de cualquier tipo.
- ✓ 3 campos de ubicación, que son usados para datos de coordenadas geográficas.
- ✓ 1 campo de estado, que es usado para la descripción del canal.

Al usar ThingSpeak es requerido realizar un registro para habilitar la creación de este canal; una vez creado dicho canal ya nos permitirá subir los datos a la plataforma ThingSpeak para ejecutar su proceso y recuperación.

DATA Analytics MATLAB & Simulink

ThingSpeak está integrado con MATLAB en la nube y facilita el diseño, prototipado y despliegue de aplicaciones IoT, debido a ello el uso de este software informático numérico de MathWorks permite el desarrollo de algoritmos analíticos mediante la generación de código. A través del acceso a la caja de herramientas MATLAB. (Learn More - ThingSpeak IoT, 2020)

A continuación, se muestra un esquema del Ecosistema IoT basado en ThingSpeak para cada uno de los modelos de Dispositivo IoT LDM comparados.

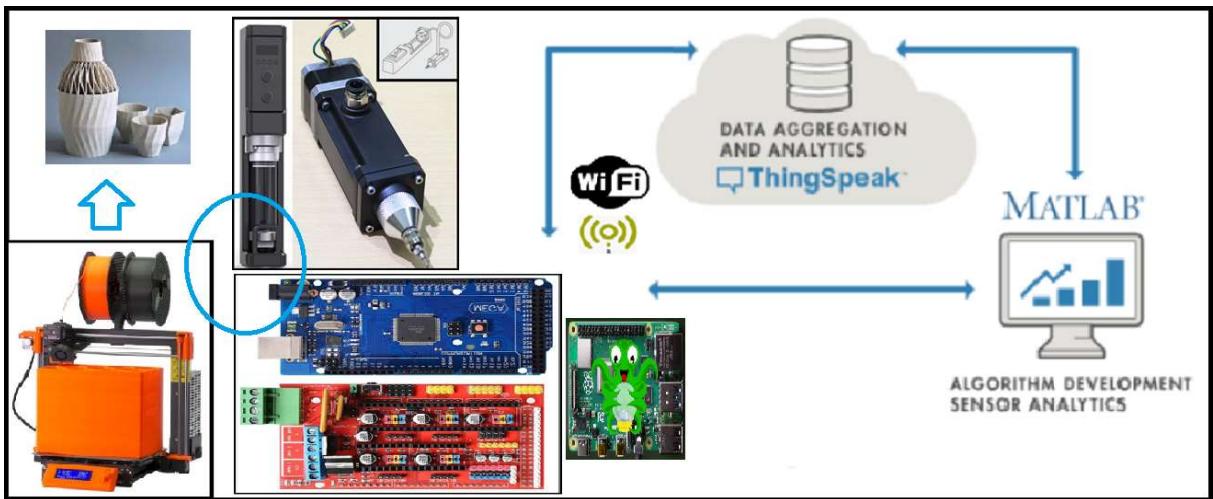


Ilustración 4-14: Ecosistema IoT Modelo 1

Fuente: Collage de elaboración propia

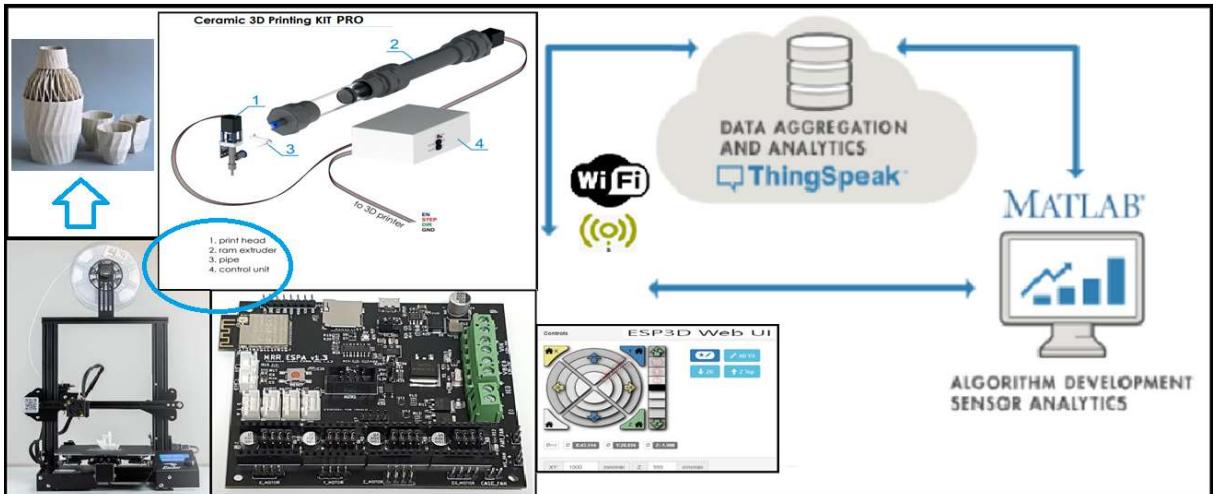


Ilustración 4-15: Ecosistema IoT Modelo 2

Fuente: Collage de elaboración propia

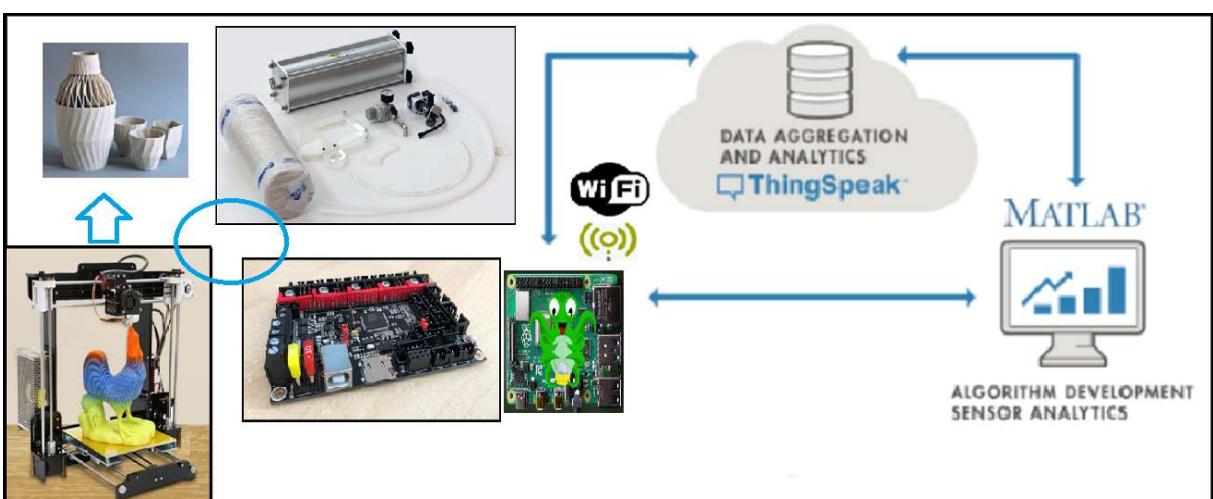


Ilustración 4-16: Ecosistema IoT Modelo 3

Fuente: Collage de elaboración propia

Adicional en los Anexos: 1,2 y 3 se detalla técnicamente el proceso para su respectivo acople para cada uno de los modelos a fin de obtener nuestro dispositivo IoT LDM para impresión con arcilla y con capacidades WiFi para su integración a la plataforma ThingSpeak.

4.2. Descripción de la solución

Acorde al estudio tecnológico comparativo indicado en el apartado anterior, se ha seleccionado al modelo 2 como la opción ganadora para constituirse en la solución para la impresión LDM con material arcilla de nuestros objetos funcionales. Este modelo 2 representará a nuestro dispositivo IoT dentro del ecosistema propuesto.

Este modelo 2 en este ecosistema IoT, lo conforma la impresora FDM Ender 3 Pro, la misma que puede ser transformada para procesos de deposición de capas con materiales fluidos y densos gracias al acople sencillo del Ceramic 3D Printing Kit PRO, elemento que otorgará características LDM específicamente para trabajos en Cerámica – Alfarería usando a la arcilla como materia prima.

Este kit está compuesto por:

- ✓ Cabezal de impresión.
- ✓ Extrusora Ram de tamaño L para un volumen de 1,5 [L].
- ✓ Unidad de control:
 - Fuente de alimentación de: 240 [W] 24 [V].
 - 2 controladores de motor paso a paso preconfigurados.
 - Soporte para ejecutar la función de impresión infinita.
- ✓ Conjunto de microimpresión.

En este modelo la impresora 3D Ender 3 Pro puede tomar el control de la extrusión de arcilla, para ello, una extrusora de tipo ariete es usada para dispensar el material por medio de la unidad de control, la misma que deberá estar seteada en la función denominada "Impresión infinita" para habilitar la intercepción del control y operar la extrusora de ariete.

Si la arcilla en la extrusora de ariete llegara a agotarse, entonces procedemos de esta forma:

1. Parar la ejecución de la impresión a fin de cargar nuevamente la bomba con la arcilla.
2. Extruir una cantidad de arcilla ejecutando la funcionalidad de impresión infinita.
3. Restaurar la presión de trabajo de la arcilla.
4. Reanudar con el proceso de impresión.

Aplicando este procedimiento, es totalmente factible imprimir objetos de mayores dimensiones que la capacidad de la extrusora de ariete.

Debido al soporte inalámbrico nativo y a la incorporación del controlador ESP32 como una poderosa herramienta para aplicaciones de soluciones IoT; características que la distinguen a la placa MRR ESPA de otras placas de control de impresoras 3D disponibles actualmente.

Esta placa usada para la repotenciación de la Ender 3 Pro nos permite configurar su procesador ESP32 programado bajo el entorno de desarrollo IDE de Arduino y habilitar las librerías pertinentes para su integración con la plataforma IoT ThingSpeak, que es un servicio web gratuito para ejecutar monitorización en tiempo real usando cualquier dispositivo de IoT; aquí nuestro modelo 2 representará este dispositivo IoT mediante el cual subiremos datos a ThingSpeak. Para el uso de ThingSpeak primeramente se debe crear una cuenta en dicha plataforma y tras la creación de dicha cuenta, la creación de los canales requeridos referentes a los parámetros del proceso de impresión que visualizaremos.

Un factor diferenciador al usar ThingSpeak es que podemos ejecutar funciones de Analítica a los datos en directo en la nube, es decir que los datos contenidos en estos canales pueden ser: pre procesados, analizados y visualizados adicionando las funcionalidades del software de cómputo MATLAB.

Finalmente, gracias al soporte que ofrece la placa MRR ESPA, totalmente compatible con una bifurcación personalizada del firmware Marlin 2.0, se puede también usar esta placa para que se controle a través de un navegador web, eliminando la necesidad de los controladores LCD tradicionales y dotando de un control remoto vía página web a nuestro modelo 2.

El control remoto es desarrollado a través la interfaz web ESP3D-WEBUI integrada con ESP32 y compatible con cualquier navegador web y que actualmente está permitiendo mostrar una cámara web en la interfaz de usuario o separada; prestaciones de software que están disponibles bajo el uso de la licencia GPL 3.0.

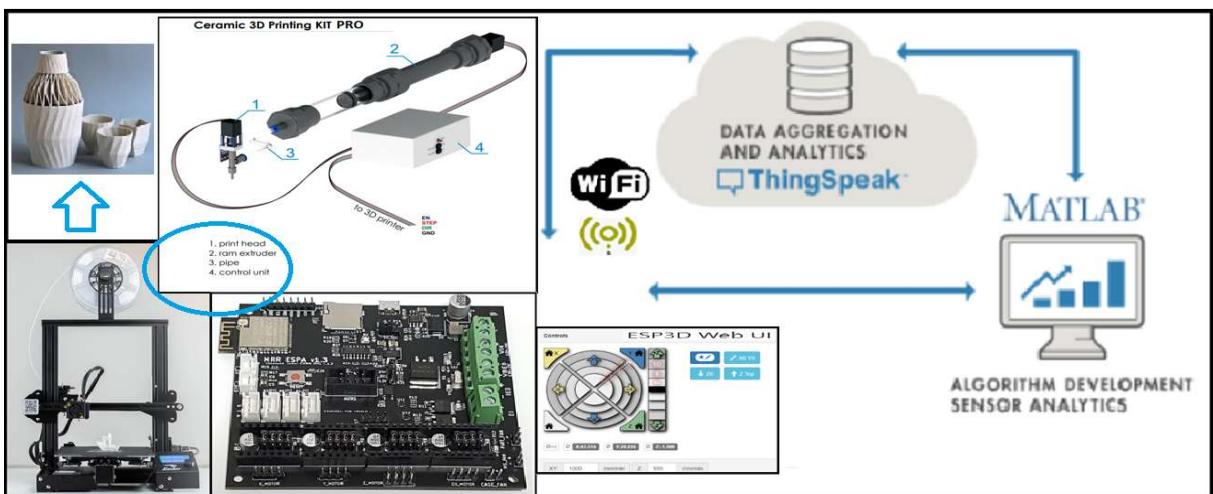


Ilustración 4-17: Ecosistema IoT Modelo Óptimo

Fuente: Collage de elaboración propia

4.3. Alcance y limitaciones

4.3.1. Alcance

- ✓ Seleccionar y adaptar una impresora 3D para lograr procesos de deposición de capas con materiales fluidos y densos, específicamente trabajos con arcilla aplicando la técnica “Material Extrusión” bajo tecnología LDM para la producción de objetos en el ámbito del arte de la Alfarería Decorativa Funcional.
- ✓ Los objetos producidos serán: floreros, tazones, vasos, platos, tazas, jarrones, vajillas o incluso pequeñas esculturas, es decir; toda clase de objetos u accesorios decorativos para espacios internos que sean totalmente funcionales para el cliente, los mismos que estarán inmersos en volúmenes de impresión de: 200 x 200 x 180 mm como medidas promedio.
- ✓ La electrónica de la impresora debe dotar capacidades WiFi y compatibilidad con una plataforma IoT de código abierto a fin de obtener un ecosistema IoT capaz de brindar funciones de integración, almacenamiento, monitorización y visualización de datos en la nube en tiempo real.
- ✓ El hardware estará inmerso con características tecnológicas de última generación centrada en esta mínima gama: WiFi, Bluetooth, Cámara WEB, CPU en 32 bits bajo frecuencia de operación de 240 [Mhz], soporte para interfaces WEB.
- ✓ El software utilizado debe ser open source y totalmente compatible con el hardware seleccionado. Adicional se debe contemplar el uso de Marlin con versión 2.0 como el firmware para el sistema.
- ✓ Este ecosistema IoT también debe habilitar la interacción con alguna herramienta informática para ejecutar función de análisis a fin de aportar gestión y optimización al proceso de impresión 3D; así como también la de alguna aplicación WEB para ejecutar función de control remoto de la impresión 3D.
- ✓ función de control remoto vía WEB debe soportar el uso de una webcam para poder ejecutar tareas de video al proceso de fabricación del producto.

4.3.2. Limitaciones

- ✓ Por temas de coste, la solución debe basarse en soluciones comerciales asequibles para el aspecto referente a la impresora 3D, adicional hacer énfasis en soluciones comerciales para establecer las comunicaciones para la integración deben ser sin coste para Kirei Crafts & Arts EC y a su vez la plataforma IoT seleccionada deberá ser de código abierto.
- ✓ Factibilidad de la integración total de la solución debido a insuficiente información de soluciones comerciales que se enmarquen en los requerimientos del sistema.
- ✓ Factibilidad de la integración total de la solución debido a la no compatibilidad en hardware, software y firmware entre soluciones comerciales de los fabricantes.

4.4. Arquitectura e integración de tecnologías

4.4.1 Creality Ender 3 Pro

Este modelo sucesor de la famosa Ender 3 de gran aceptación en el mundo de los makers, denotada como la Creality Ender 3 Pro, sin duda se ha convertido como la opción ideal para impresora 3D por menos de 300 € en este 2020. Entre los aspectos principales que esta máquina nos brinda tenemos: (*Ender-3 PRO 3D Printer, 2020*)

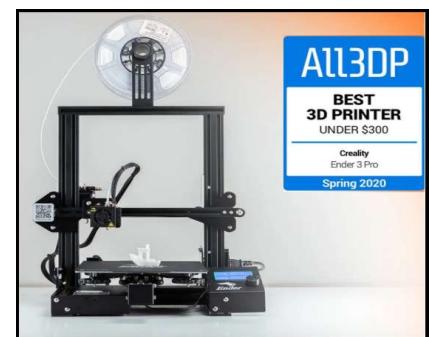


Ilustración 4-18: Creality Ender 3 PRO

Fuente: (*Ender-3 PRO 3D Printer, 2020*)

Ventajas:

- ✓ Totalmente asequible para presupuestos ajustados.
- ✓ Diseño compacto que permite un ensamblaje rápido y configuración simple.
- ✓ Flexibilidad para ejecutar repotenciaciones en el equipo.
- ✓ Volumen de impresión aceptable e impresiones de alta calidad.
- ✓ Facilidad para uso de filamentos flexibles debido a su angosto conducto.
- ✓ Resultados esperados aptos en las pruebas de Autodesk Kickstarter.

Desventajas:

- ✗ Nivelación de cama de impresión tediosa y cama magnética no tan sólida.
- ✗ Inconvenientes con el uso de filamentos demasiado frágiles.
- ✗ Necesidad de usar materiales de adhesión extras para casos puntuales.

Ensamblado: Este proceso es simple y no se requiere ser un experto para armarla, calibrarla y configurarla; para ello el fabricante ha etiquetado cada componente y a su vez ha incluido el respectivo instructivo en el paquete; adicional la tarjeta SD (incluida en el paquete) contiene manuales y guías de solución ante posibles problemas e incluso un vídeo de todo el proceso para ensamblar la Ender 3 Pro. (*Creality Ender 3 Pro, 2020*)

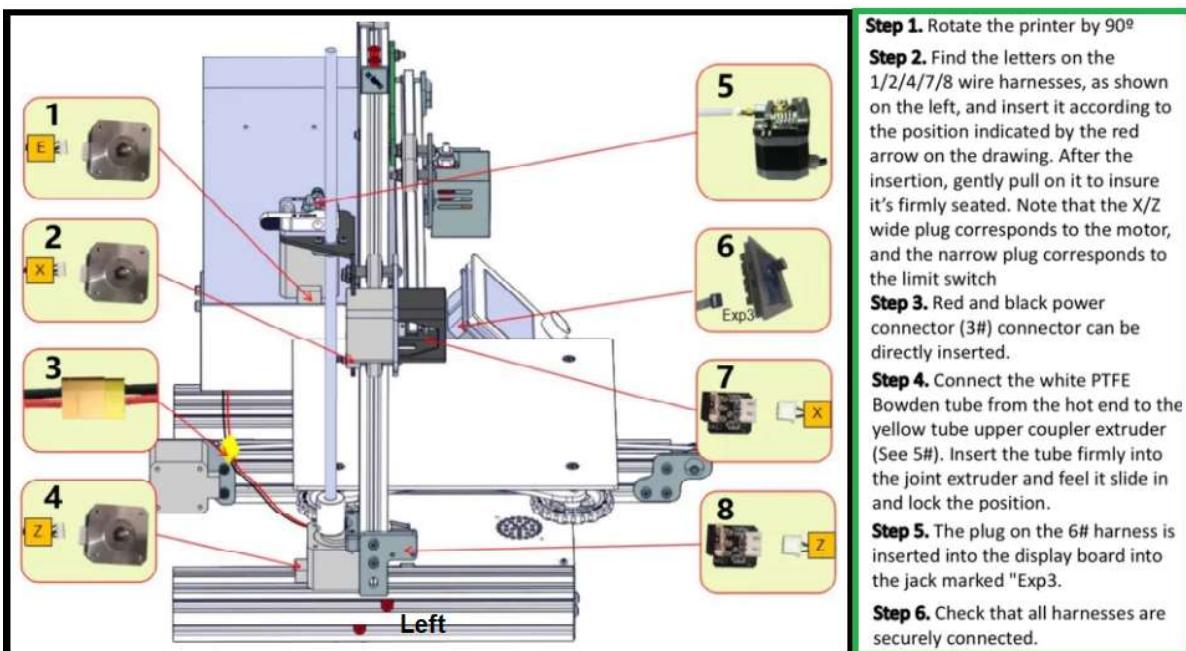


Ilustración 4-19: Ensamblado Creality Ender 3 PRO

Fuente: (*Creality Ender 3 Pro, 2020*)

Diseño: Estamos conscientes que la Ender 3 PRO no es una impresora profesional, pero bajo la óptica de su precio cómodo su diseño ha cumplido todas las expectativas en el mercado:

- ✓ Su marco está construido de extrusiones de aluminio y posee un solo tornillo guía que impulsa el eje Z desde su lado izquierdo, adicional completa el bucle y cierra el marco.
- ✓ Su cama caliente de impresión maneja un volumen de: 220 x 220 x 250 [mm], comparable a la Prusa i3 MK3 (250 x 210 x 200 mm) del modelo 1 de nuestro estudio.
- ✓ Su función para reanudar una impresión después de un corte de energía o desconexión al igual que su función de protección térmica contra fugas sin duda es un gran valor agregado para su precio.
- ✓ Posee una pantalla LCD con control para configuración e interfaz relativamente amigable.

Especificación Técnica: No es una impresora profesional, pero brinda muchas prestaciones:

- ✓ Tamaño de la máquina: 440-440-465 [mm].
- ✓ Tecnología de impresión: FDM.

- ✓ Conectividad: lector de tarjeta SD.
- ✓ Alimentación: AC 100-120 [V] / 6.8 A, 200-240 [V] / 3.4 [A], 50-60 [Hz].
- ✓ Salida: 24 [VDC] 270 [W].
- ✓ Diámetro del cabezal: 0.4 [mm], puede estar entre: 0,2, 0,3 [mm].
- ✓ Dímetro del filamento: 1.75 [mm].
- ✓ Temperatura de la cama caliente de impresión: 110 [°C].
- ✓ Volumen de impresión: 220 * 220 * 250 [mm].
- ✓ Velocidad de impresión: ≤180 [mm/s], normal 30-60 [mm/s].
- ✓ Material de impresión: PLA de 1,75 [mm], ABS, madera, TPU, fibra de carbono, etc.
- ✓ Modo para impresión: en línea o por tarjeta SD (posee pantalla LCD).
- ✓ Formato para impresión: archivos .STL, .OBJ, .AMF.
- ✓ Software de corte para impresión: Cura, Repetier-Host, Simplify3D.
- ✓ Resolución de capa: 0,1-0,4 [mm] (100-400 micrones).
- ✓ Precisión de impresión: +/-0,1 [mm].

Configuración Programa: La Ender 3 Pro suministra una tarjeta SD que contiene la versión de Cura para sistema operativo Windows, para otros sistemas operativos como: Mac o Linux se puede descargar gratuitamente su versión a través del sitio web de Ultimaker.

En esta versión del programa de corte Cura existe ya un perfil para la Ender 3, por ello al personalizarlo se debe modificar el diámetro del cabezal del valor por defecto: 2,85 [mm] a 1,75 [mm]. El resto de los ajustes de esta configuración para Cura funcionan correctamente.

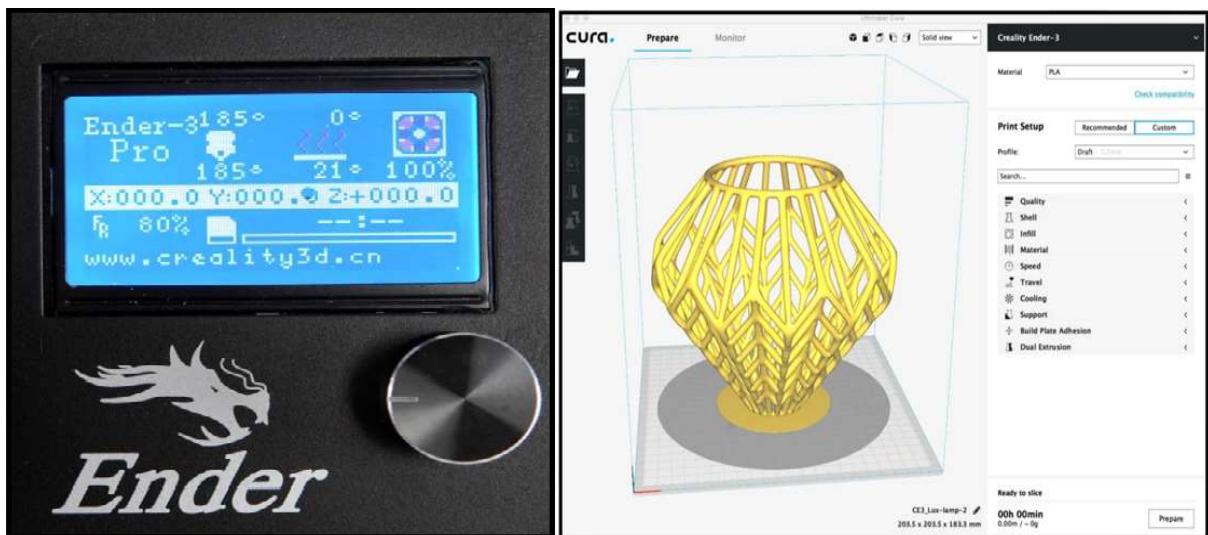


Ilustración 4-20: Configurado Cura Creality Ender 3 PRO

Fuente: (Creality Ender 3 Pro, 2020)

Otro software que ofrece un perfil preconfigurado para la Creality Ender 3 es programa de corte Simplify3D, el mismo que también brinda muy buenos resultados.

4.4.2 Ceramic 3D Printing KIT PRO

Este modelo del fabricante StoneFlower, habilitará la impresión de objetos de arcilla y porcelana para elaboraciones en serie de trabajos en Cerámica - Alfarería gracias a su adaptabilidad con varias impresoras 3D FDM domésticas. Cualquier software de corte es compatible con este KIT y entre los más usados destacamos: Cura 3D, Simplify3D que son recomendados para el caso de la Creality Ender 3 Pro; adicional también es compatible con: Repetier y Slic3r entre otras opciones existentes del mercado. (*Ceramic 3D Printing KIT, 2020*)

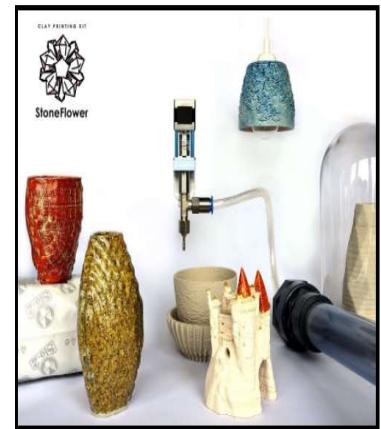


Ilustración 4-21: Ceramic KIT PRO

Fuente: Ceramic 3D Printing KIT, 2020)

Ventajas:

- ✓ Diseñado y fabricado para acoplarse a una impresora 3D doméstica a fin de dispensar y depositar materiales densos y fluidos en un entorno comercial de manera precisa y segura que lo transforman en una solución destacada en el mercado para impresión con arcilla.
- ✓ Ideal para la impresión de prototipos y la producción en serie de objetos para Cerámica Alfarería de alta viscosidad, garantizando solides y estabilidad mecánica de formas complejas como: floreros, tazones, vasos, platos, tazas, jarrones, vajillas o incluso pequeñas esculturas, es decir; toda clase de objetos u accesorios decorativos para espacios internos que sean totalmente funcionales para el cliente.

Desventajas:

- ✗ No apto para uso alimentario y al utilizarlo con material de alto grado viscoso genera cargas extremas en los motores y por ende un incremento en el índice del desgaste de sus componentes; debido a lo expuesto, es recomendable hacer uso de arcillas y porcelanas con un grado de viscosidad moderado.

Especificación Técnica:

- ✓ Tecnología de impresión: Extrusión mecánica directa.
- ✓ Capacidad del extrusor ariete: 05 [L] (pequeña) 1,5 [L] (grande).
- ✓ Diámetros de boquilla: 1,0, 2,0, 2,5 [mm].
- ✓ Resolución de capa: 0,3... 2 [mm].
- ✓ Velocidad de impresión: 30 [mm/s] → 100 [mm/s].
- ✓ Velocidad de desplazamiento: hasta 100 [mm/s].

- ✓ Peso del cabezal de impresión 450 [g].
- ✓ Diámetro y longitud del tubo: 12 [mm] X 400 [mm].
- ✓ Entrada de CA: 100-240 [V] 50-60 [Hz] 2,4 [A] máx.
- ✓ Voltaje de funcionamiento: 24 [VDC].
- ✓ Potencia en funcionamiento 240 [W] máx.

Ensamblado: Este proceso no es complicado, para ello el fabricante StoneFlower incluye en su sitio web dentro de la sección: “Support Ceramic 3D printing KIT and print head”, los manuales de usuario para la instalación del cabezal de impresión para arcilla, así como para la integración con una impresora 3D. (*Ceramic 3D Printing KIT and Print Head*, 2020)

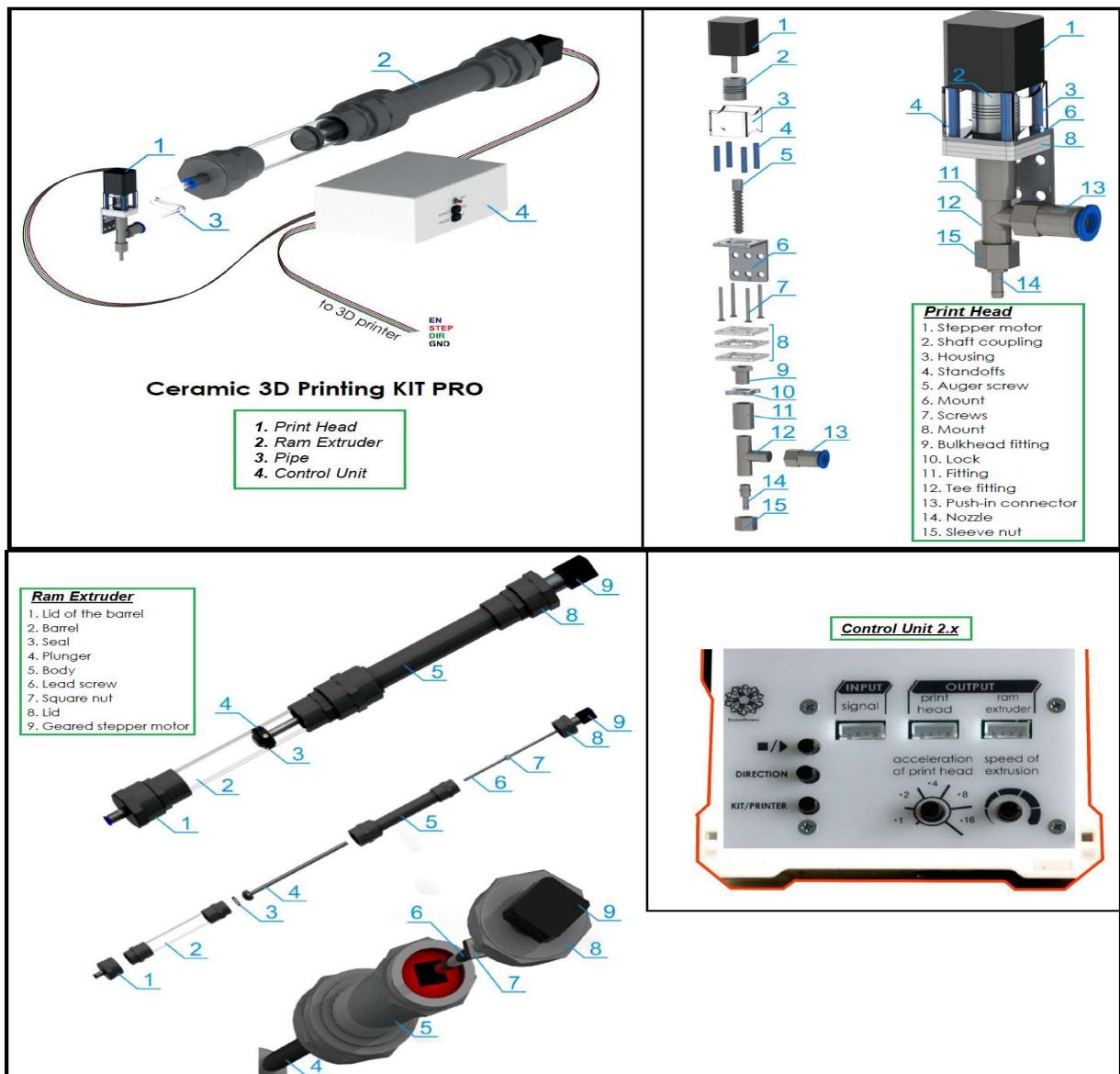


Ilustración 4-22: Ensamblado Ceramic KIT PRO
Fuente: (*Ceramic 3D Printing KIT and Print Head*, 2020)

Configuración Programa: Como habíamos mencionado cualquier software de corte es compatible con este KIT, entre ellos Cura 3D, Simplify3D, Repetier, Slic3r; siempre y cuando no olvide antes de imprimir configurar los parámetros involucrados en el software usado.

Para el caso del software Cura el fabricante StoneFlower incluye en su sitio web dentro de la sección: “Support 3D Printer, slicer settings” un instructivo para la configuración de estos parámetros involucrados: (3D Printer, Slicer Settings, 2020)

1. Ajustar las temperaturas de la extrusora y el lecho calentado a ceros para desactivar el calentamiento y el control de temperatura.
2. Ajustar el diámetro de la boquilla por defecto, este KIT incluye boquillas de: 1, 2 y 2,5 [mm]
3. Ajustar el **Ne**, que es el número de micro pasos del motor paso a paso de la extrusora por [mm] del filamento extruido.

El **Ne**, depende de muchos parámetros, incluido el diámetro del filamento. Para la impresión tanto con los materiales: arcilla y plástico, se debe conservar el diámetro predeterminado del filamento y solo cuando la impresión sea netamente con material arcilla, se debe modificar este número de micro pasos y el diámetro de la boquilla. Este ajuste depende de la versión de la unidad de control utilizada, que para el caso del KIT PRO que usa la unidad de control versión 2.x nos basamos en la fórmula denotada por el fabricante como la ecuación (2):

$$N_e = 800 \times 2n \frac{r}{p} \left(\frac{d_f}{D} \right)^2, \quad (2)$$

Este valor **Ne**, se puede establecer en el software de corte que utilice o justo al comienzo del código g a través del uso del comando: M92 E200; aquí, por ejemplo, en este comando el **Ne** correspondería a un valor de 200 [micro pasos/mm]. Acorde a los parámetros del KIT tenemos:

Parameters of the KIT			
	Extruder S, 0.5L	Extruder L, 1.5L	Micro Printing SET
Gear ratio, <i>r</i>	99.05	46.66	
Pitch of the lead screw, <i>p</i>	2mm	3mm	
Diameter of the plunger, <i>D</i>	45.2mm	67.8mm	27mm

Tabla 4-1: Parámetros del Ceramic KIT PRO
Fuente: (3D Printer, Slicer Settings, 2020)

- ✓ **n** → es el número de micro pasos, configurado para el controlador del motor paso a paso de la extrusora en su impresora 3D. El valor típico es 16, pero los valores: 2, 4, 8 y 256 también son posibles para diferentes impresoras 3D. Aquí debemos observar que valor hace referencia el fabricante en el manual de la máquina. El kit pierde compatibilidad cuando el controlador es configurado en el modo de paso completo, es decir, en **n = 1**.

- ✓ **r** → es la relación de reducción de la caja de cambios instalada en el KIT, ver tabla 4.1.
- ✓ **p** → es el paso del tornillo de avance en la extrusora de ariete, ver tabla 4.1.
- ✓ **d_f** → es el diámetro del filamento que se digita en el software de corte. El diámetro de la boquilla puede ser referenciado como valor si no imprime plástico.
- ✓ **D** → es el diámetro del émbolo en la extrusora de ariete, ver tabla 4.1 .

El cálculo directo de este número, N_e , también se puede encontrar a través de la calculadora en línea que incluye el fabricante en el sitio web dentro de la sección: "Support Ceramic 3D printing KIT and print head" (*Ceramic 3D Printing KIT and Print Head, 2020*)

Ejemplo: Extrusora de pistón en tamaño L para un diámetro de filamento fijado a 2,5 [mm] y controlador paso a paso de la impresora fijado a 4 [micro pasos]. Aplicando la ecuación (2):

$$N_e = 800 \times 2 \times 4 \frac{46.66}{3} \left(\frac{2.5}{67.8} \right)^2 = 135.4 \text{ steps/mm}$$

Verificando N_e : El cabezal de impresión del KIT requiere 800 micro pasos (versión 2.x) para realizar una sola vuelta. Pídale a la impresora con el KIT conectado que extruya la cantidad correspondiente de filamento y verifique cuántas vueltas corresponde a:

$$\frac{800}{N_e} 2n$$

Ejemplo: Si ha establecido $N_e = 135.4$, la longitud de extrusión requerida será de:

$$800 \times 2 \times 4 / 135.4 = 47.27 \text{ [mm]} \rightarrow \text{Envíe a la impresora el siguiente comando: G1 F200 E47.27}$$

Conexión a impresora 3D: Mediante el cable suministrado se debe conectar la entrada de la unidad de control al conector del motor paso a paso del extrusor. Generalmente en la mayoría de las placas base se encuentra etiquetado como "E0" o "E-motor".

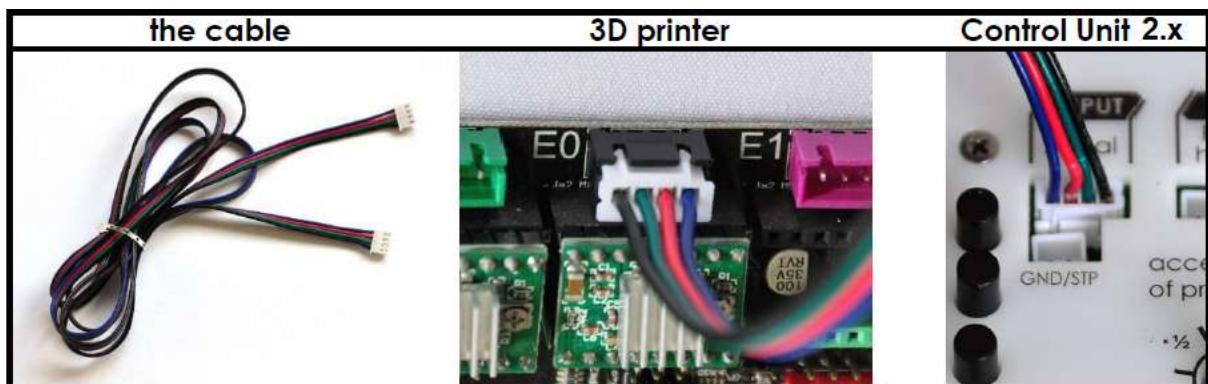


Ilustración 4-23: Conexión INPUT a impresora 3D

Fuente: (*Ceramic 3D Printing KIT and Print Head, 2020*)

Para la regulación de la Unidad de Control 2.x se usa las siguientes funciones del control:

- ✓ ■ / ▶ → Parar o Arrancar motores en el modo “KIT”.
- ✓ **DIRECTION** → Cambiar entre alimentación y retracción la dirección de los motores.
- ✓ **KIT / PRINTER** → Cambiar el control de los motores del KIT a la impresora y viceversa.
- ✓ **Acceleration of the print head** → El cabezal de impresión ejecutará entre 1 a 3 rotaciones por segundo para acelerar el movimiento.
- ✓ **Speed of extrusión** → Se regulará la velocidad de avance. Adicional vía firmware en la unidad de control es posible reprogramar este rango de velocidades.

Mediante los cables de 4 pines, se conectará el cabezal de impresión y la extrusora de ariete a las 2 regletas de 4 pines de la toma **OUTPUT** de la unidad de control.

Importante, no confundir estas conexiones ya que manejan diferentes rangos de corrientes.

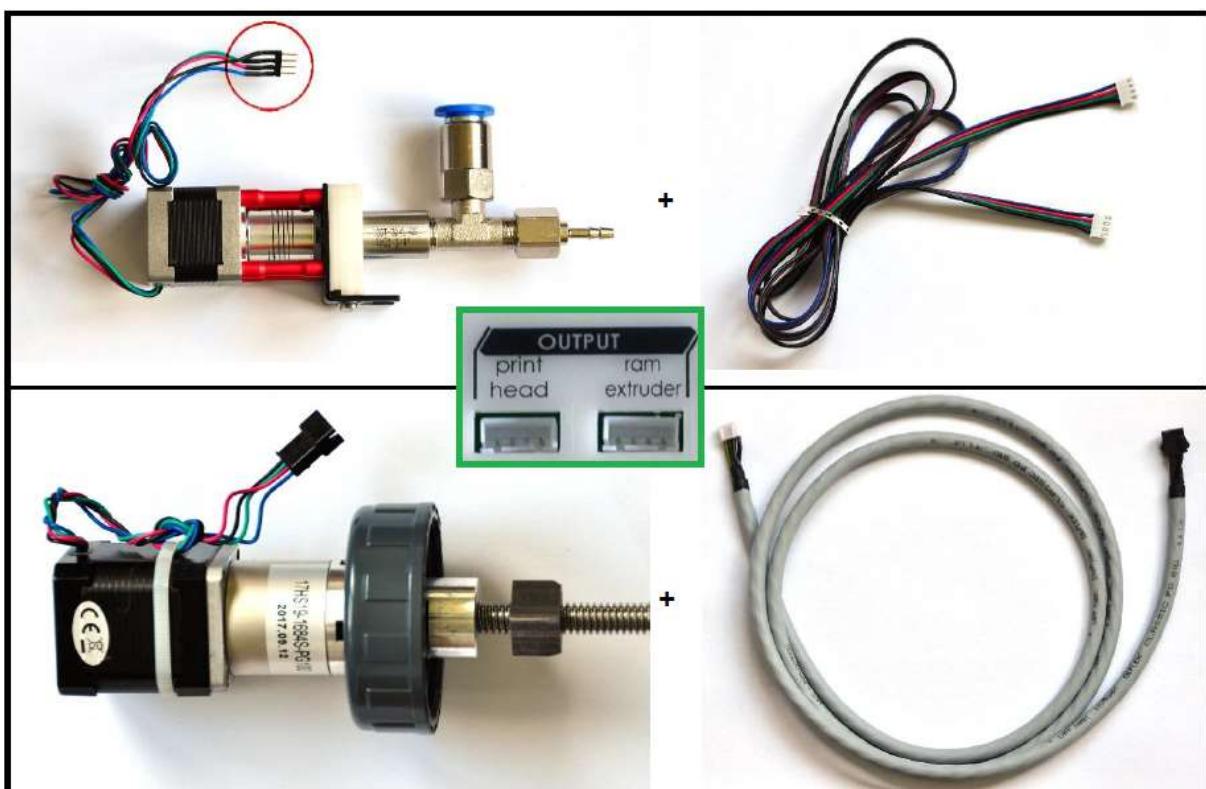


Ilustración 4-24: Conexión OUTPUT a impresora 3D

Fuente: (Ceramic 3D Printing KIT and Print Head, 2020)

4.4.3 MRR ESPA

La sinergia en conectividad inalámbrica para la integración con una plataforma IoT y el control vía web a través de un navegador, es el distintivo que ha marcado la elección de esta placa de 32 bits creada por el fabricante japonés Maple Rain Research para conformar el modelo seleccionado en nuestro dispositivo IoT. Sin duda que su WiFi nativo basado en el popular microcontrolador ESP32 encapsulado en una sola placa hicieron la diferencia. (MMR - *Products*, 2020)



Ilustración 4-25: MRR ESPA
Fuente: (MMR - *Products*, 2020)

Ventajas:

- ✓ Soporte de WiFi nativo admitiendo protocolos: 802.11 b / g / n.
- ✓ Totalmente compatible con firmware Marlin 2.0.
- ✓ Integración con la interfaz de usuario web ESP3D a través de un navegador web.
- ✓ Modo SPI para facilidad de configuración de controladores paso a paso Trinamic.
- ✓ Uso adecuado para sondas inductivas o capacitivas debido a mayor voltaje alimentado.
- ✓ Cama calentada aislada eléctricamente para dotarla de un mejor control.

Desventajas:

- ✗ Capacidad de un solo controlador paso a paso para extrusora.
- ✗ Dificultad para configuración de controladores paso a paso Trinamic en modo UART.

Especificación Técnica:

Especificaciones placa control impresora:

- ✓ Permite utilizar 4 controladores paso a paso: X, Y, Z y E0.
- ✓ Permite utilizar 2 motores a conectar en paralelo para el eje Z.
- ✓ Permite una fuente de alimentación de entrada de 12 [V] a 24 [V].
- ✓ Permite el uso de una fuente de alimentación separada para la cama de calor.
- ✓ Permite topes finales mínimos X, Y y Z (optoacoplador).
- ✓ Permite el uso de una sonda del eje Z, como un sensor inductivo, que funciona con la tensión de alimentación de entrada: 12 [V] a 24 [V].
- ✓ Permite restablecer la placa mediante un botón para reseteo.
- ✓ Permite conexión a un host externo a través del conector AUX1.
- ✓ Permite configurar modos: SPI y UART para uso de controladores paso a paso.

- ✓ Permite eliminar la necesidad de MOSFET de cama externa calentada.
- ✓ Permite soportar una Interfaz web a través de WiFi 802.11 b / g / n.
- ✓ Permite ejecutar una bifurcación personalizada de Marlin 2.0 para habilitar un servidor web para la interfaz de usuario web ESP3D a través de un navegador web.

Especificaciones microcontrolador ESP32:

- ✓ Microprocesador Tensilica Xtensa LX6 de 32 bits con dos núcleos.
- ✓ Frecuencia de reloj de hasta 240 [MHz].
- ✓ WiFi 802.11 b / g / n compatible con WFA, WPA / WPA2 y WAPI.
- ✓ Bluetooth v4.2 BR / EDR y Bluetooth Low Energy (BLE).
- ✓ ROM de 448 [KB].
- ✓ SRAM de 520 [KB].
- ✓ Memoria flash de 4 [MB].
- ✓ Entrada / salida de periféricos: ADC, DAC, I²C, UART, CAN 2.0, SPI, I²S, RMII, PWM.

Ensamblado: Gracias a la gran aceptación de la placa MRR ESPA por el movimiento GitHub que incluye información detallada, este proceso no es complicado. Esta placa posee un volumen físico de 99,5 [mm] x 90,5 [mm] x 1,6 [mm] y los orificios de montaje tienen un diámetro de 3,5 [mm] con sus centros a 4 [mm] de los bordes. Bajo esta especificación de medidas existe 3 versiones diseñadas de case y 2 tipos de cubierta para ventiladores de un tamaño de 40 [mm] y 80 [mm] que el mundo maker ha impulsado en el movimiento GitHub para montar la placa MRR ESPA: (*Maplerainresearch/MRR_ESPA*, 2020)

Básica: Caja esqueleto, con una base simple y una tapa que permite montar un ventilador de 40 [mm], requiere de separadores para componentes controladores con disipadores altos.

Pequeño: Caja casi cerrada que permite en la parte superior montar un ventilador de 80 [mm].

Normal: Caja cerrada, con mayor espacio y con dos tipos de tapas para montar un ventilador de 80 [mm] o a su vez dos ventiladores de 40 [mm].

Conexión a impresora 3D: La distribución de pines para la su conexión es mostrada y en base a este detalle, los elementos de la electrónica de la impresora Creality Ender 3 PRO deben ser conectados: (*Maplerainresearch/MRR_ESPA*, 2020)

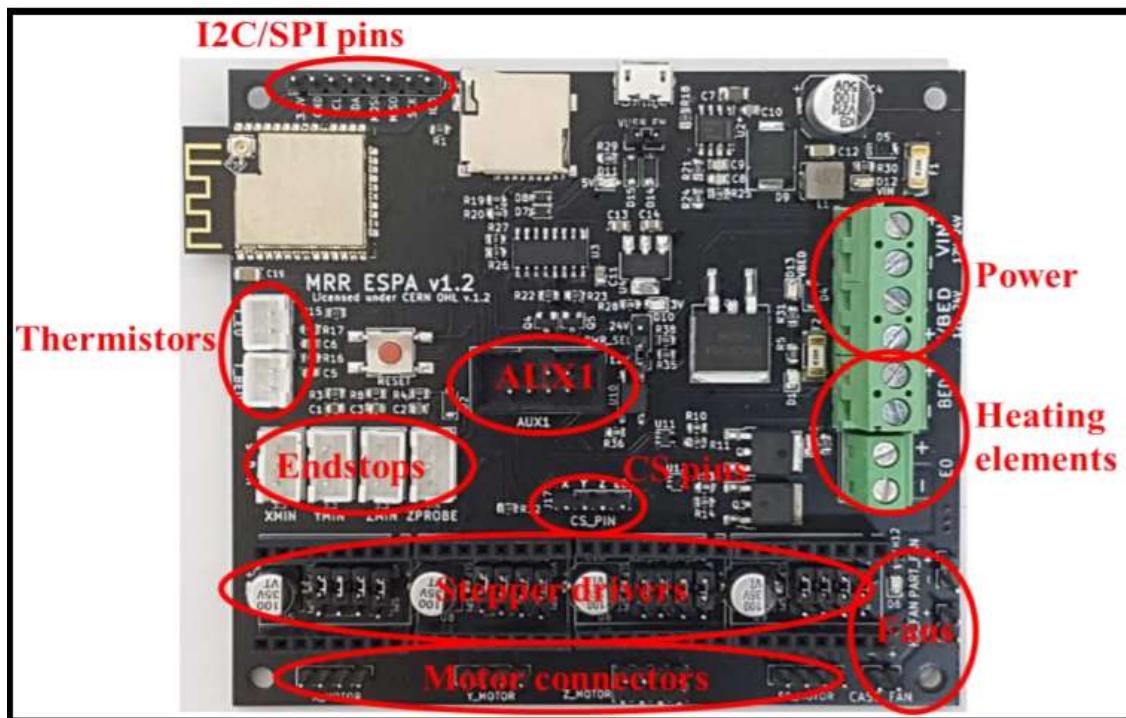


Ilustración 4-26: Conexión MRR ESPA a impresora 3D

Fuente: (Maplerainresearch/MRR_ESPA, 2020)

Topes finales

- ✓ Conecte los cables para los topes finales mínimos: X, Y y Z a los: XMIN, YMIN y ZMIN.
- ✓ Notar polaridad: V para 3,3 [V], G para tierra y S para señal.

Sonda:

- ✓ Para caso de sonda inductiva, conecte el cable de la sonda a ZPROBE en lugar de ZMIN.
- ✓ Notar polaridad: V para 12-24 [V], G para tierra y S para señal.

Termistores:

- ✓ Conecte el termistor del hotend a: T_E0.
- ✓ Si usa una cama caliente, conecte el termistor de la cama caliente a: T_BED.

Controladores y motores paso a paso:

- ✓ Configure los puentes para cada controlador paso a paso en los micro pasos requeridos. A4988, DRV8825 o Trinamic en modo independiente o Trinamic en modo SPI.
- ✓ Coloque los controladores paso a paso, motores (X, Y, Z, E0) en el conjunto de conectores correspondiente a sus conectores de motor.
- ✓ Notar orientación del controlador paso a paso. El pin EN del controlador paso a paso debe estar en la fila alejada del borde del tablero.

- ✓ Conecte los cables de los motores X, Y, Z y del extrusor a: X_MOTOR, Y_MOTOR, Z_MOTOR y E0_MOTOR en la placa respectivamente.
- ✓ Para el eje Z está habilitado conectar 2 motores en paralelo.

Ventiladores:

- ✓ Conecte el ventilador de la caja a: CASE_FAN.
- ✓ Conecte el ventilador de refrigeración del disipador térmico del hotend a: HS_FAN.
- ✓ Conecte el ventilador de refrigeración parcial a: PART_FAN.
- ✓ Notar polaridad: cable rojo o amarillo es positivo (+), y cable negro o azul es negativo (-).

Hotend:

- ✓ Conecte el cable del cartucho calefactor del hotend a: E0.
- ✓ Notar polaridad para el caso de conexión a un MOSFET externo.

Cama Caliente:

- ✓ Conecte el cable de la cama con calefacción a: la CAMA.
- ✓ Notar polaridad para el caso de conexión a un MOSFET externo.

Fuente de alimentación principal:

- ✓ Conecte la fuente de alimentación de la placa 12-24 [V] a: VIN.
- ✓ Notar polaridad: cable positivo rojo debe ir a +, mientras que la tierra cable negro va a -.

Fuente de alimentación Cama Caliente:

- ✓ Conecte la fuente de la cama caliente 12-24[V] a: VBED.
- ✓ Importante: una separación de la fuente de alimentación de VIN se puede utilizar ya que la cama caliente se controla a través de un optoacoplador.
- ✓ Notar polaridad: cable positivo rojo debe ir a + y el cable negro o la tierra va a -.
- ✓ Configure el puente PWR_SEL de acuerdo con el voltaje que se usa para VBED:
 - 12-18 [V] para VBED, configurar puente para conectar pin central con el pin "12V".
 - Superior a 18 [V] para VBED, configurar puente para conectar pin medio con el pin "24V".

Host externo:

- ✓ Utilice el conector AUX1 para la conexión con un controlador de host externo, como por ejemplo la pantalla: MKS TFT32.

Configuración del firmware: El usuario al usar esta placa por primera vez debe configurar y actualizar el respectivo firmware. Para ello Marlin 2.0 ha agregado soporte para ESP32 y

existe una bifurcación de Marlin que proporciona soporte WiFi, así como una interfaz de usuario web basada en ESP3D.

El repositorio del movimiento GitHub suministra un directorio que contiene archivos ZIP de firmware que funcionan con la placa MRR ESP 3DP. En este sitio se puede descargar el archivo ZIP, descomprimirlo y editar librerías: **Configuration.h** y la **Configuration_adv.h** para que se adapte al tamaño de la impresora Creality Ender 3 PRO, los controladores, etc.

Si se usa controladores TMC2130 en modo SPI se deberá editar la librería **pins_ESP32.h** para especificar los pines CS.

Esta bifurcación soporta de forma estable la compilación bajo Arduino IDE 1.8.5 o Arduino-ESP32 core v1.0.0. (*Maplerainresearch/MRR_ESPA*, 2020)

4.4.4 ESP3D WEBUI

Eliminar el uso de los controladores LCD tradicionales que la gran mayoría de las otras placas aún lo conservan es algo que diferencia a MRR ESPA de la competencia. Opciones como las indicadas en el modelo 1 y modelo 3, en donde, era requerido conectar una Raspberry Pi para controlar la impresora a través de una interfaz web ejecutando OCTOPRINT. Ahora es simplificada, gracias a la compatibilidad que la placa MRR ESPA posee con la popular interfaz de usuario web ESP3D que se ejecuta de forma nativa en la bifurcación personalizada de Marlin; logrando que nuestro Dispositivo IoT se controle a través de cualquier navegador web.

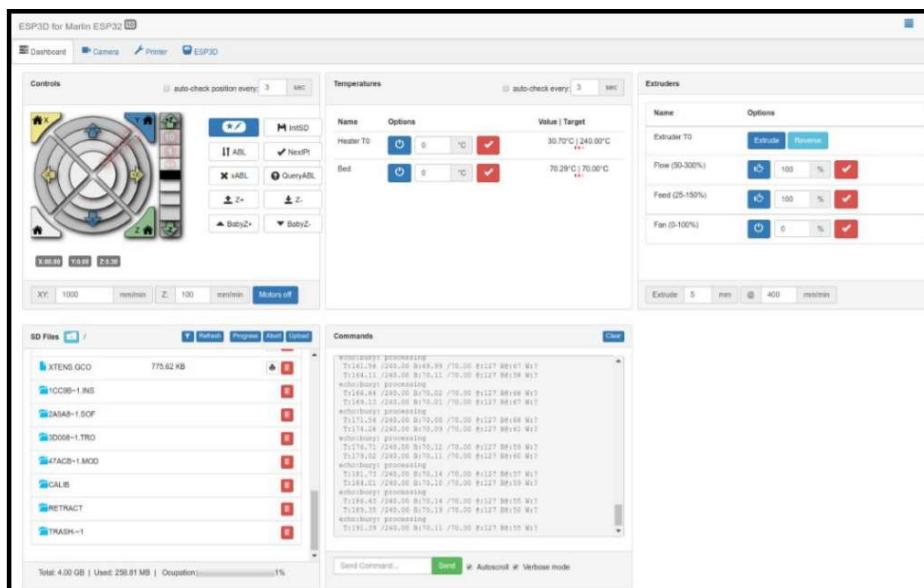


Ilustración 4-27: Accediendo ESP3D WEBUI
Fuente: (*Maplerainresearch/MRR_ESPA*, 2020)

Al acceder por primera vez a la dirección de la interfaz de usuario web se le pedirá que cargue los archivos de la interfaz de usuario web. (Luc-github, 2017/2020)

Para el caso más común, cuando usted dispone de mDNS, esta dirección corresponderá a la web : <http://marlinesp.local/> por defecto; para ello:

1. Hacer clic en "Elegir archivos".
2. Seleccionar index.html.gz
3. Cargar archivos.
4. Actualizar el navegador.

Inmediatamente la página de WEBUI deberá cargarse. También es factible encontrar una copia de **index.html.gz** en el directorio de firmware:

<directorio de firmware> / Marlin / data /

Si se dispone de la herramienta del cargador del sistema de archivos: Arduino ESP32, también se puede optar por cargar los archivos requeridos de Arduino IDE.

Después de actualizar el firmware:

1. Ir a Herramientas.
2. Seleccionar: Carga de datos de Sketch ESP32.

4.4.5 THINGSPEAK

ThingSpeak ha sido seleccionada para ejecutar las funciones de almacenar y recopilar datos de nuestro Dispositivo IoT ganador. Estas funciones son habilitadas bajo una conexión a través del protocolo HTTP a través de Internet o de una red local que permitirá crear aplicaciones para el registro de datos de los parámetros del proceso de impresión con sus actualizaciones de estado

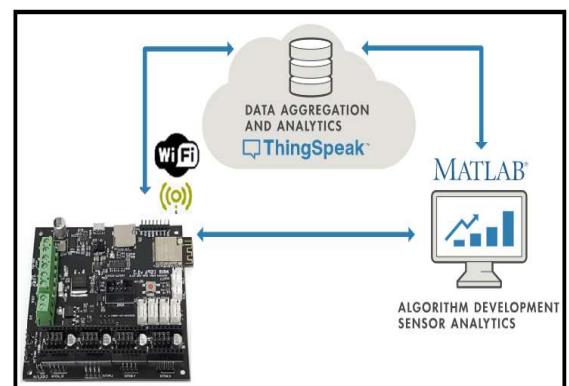


Ilustración 4-28: MRR ESPA - ThingSpeak
Fuente: (Learn More - ThingSpeak IoT, 2020)

La plataforma ThingSpeak se integra con la MRR ESPA mediante el IDE de Arduino y como un valor agregado que ofrece esta popular plataforma de código abierto es la ejecución de funciones para análisis de datos a través de su integración nativa con el software MATLAB.

Configuración del ESP32 con el IDE de Arduino: Para poder realizar la configuración del ESP32 con el entorno de desarrollo de Arduino, es necesario instalar su última versión para soporte de Arduino ESP32 en Windows, versión que corre satisfactoriamente en el sistema operativo Windows 10 de 32 y 64 bits; para ello: (Protoboard, 2017)

1. Descargar e instalar la última versión Arduino IDE de Windows, instalador de arduino.cc.
2. Descargar e instalar la interfaz gráfica de usuario GUI, es decir el Git desde git-scm.com

Ahora que hemos instalado el software requerido para trabajar con el IDE de Arduino para programar el módulo ESP32 de nuestra placa MRR ESPA en ambiente Windows. Debemos indicar que para finiquitar esta instalación hay que instalar en el IDE las librerías del ESP32 y su respectivo compilador: lenguaje Arduino a lenguaje ESP32; para ello:

3. Iniciar la interfaz gráfica de usuario GUI, es decir el Git y ejecutar:
 - Seleccionar: Clonar Repositorio Existente → replicar ficheros del servidor GitHub.
 - Seleccionar: Origen y Destino → origen de que ficheros se desea y su destino final.
 - **Ubicación de la fuente:** <https://github.com/espressif/arduino-esp32.git>
 - **Destino:** C:/Users/[su_nombre_de_usuario]/Documents/Arduino/hardware/espressif/esp32

Ahora la información a la que accede nuestra PC el IDE de Arduino ha sido clonada con los ficheros actualizados disponibles en el servidor de GitHub, esto permite manejar el hardware ESP32 de nuestra placa MRR ESPA. Cada vez que se desee refrescar con la última información debemos tan solo ejecutar el menú: **Remote** del GUI y proceder a actualizarlas.

4. Luego de esto, ejecutamos el fichero **get.exe**, contenido en la carpeta:
 - C:\Users\[su_nombre_de_usuario]\Documentos\Arduino\hardware\espressif\esp32\tools
5. Finalizada la ejecución del fichero **get.exe** se creará una nueva carpeta: **xtensa-esp32-elf** localizada en:
 - C:\Users\[su_nombre_de_usuario]\Documentos\Arduino\hardware\espressif\esp32\tools\xtensa-esp32-elf

Esta es la ubicación en donde vamos a grabar el compilador que va a utilizar nuestro IDE para traducir nuestros sketches para que el hardware ESP32 entienda nuestro lenguaje. Ahora cerramos el IDE Arduino para que se acepte todo lo instalado.

6. Abrir nuevamente el IDE Arduino y enchufar vía USB a la placa MRR ESPA, esperamos a que los controladores se instalen y sea reconocido por el sistema operativo Windows.
7. Tras iniciar el IDE de Arduino, seleccionar en el menú herramientas y en la opción de placas disponibles elegir: **ESP32 Dev Module** del listado desplegado.
8. Verificar que en el puerto **COM** al que está conectado el hardware, los parámetros para comunicación sean fijados a un valor apto:
 - Frecuencia de operación = 80 [MHz].
 - Velocidad de transferencia = 115200 [baudios].

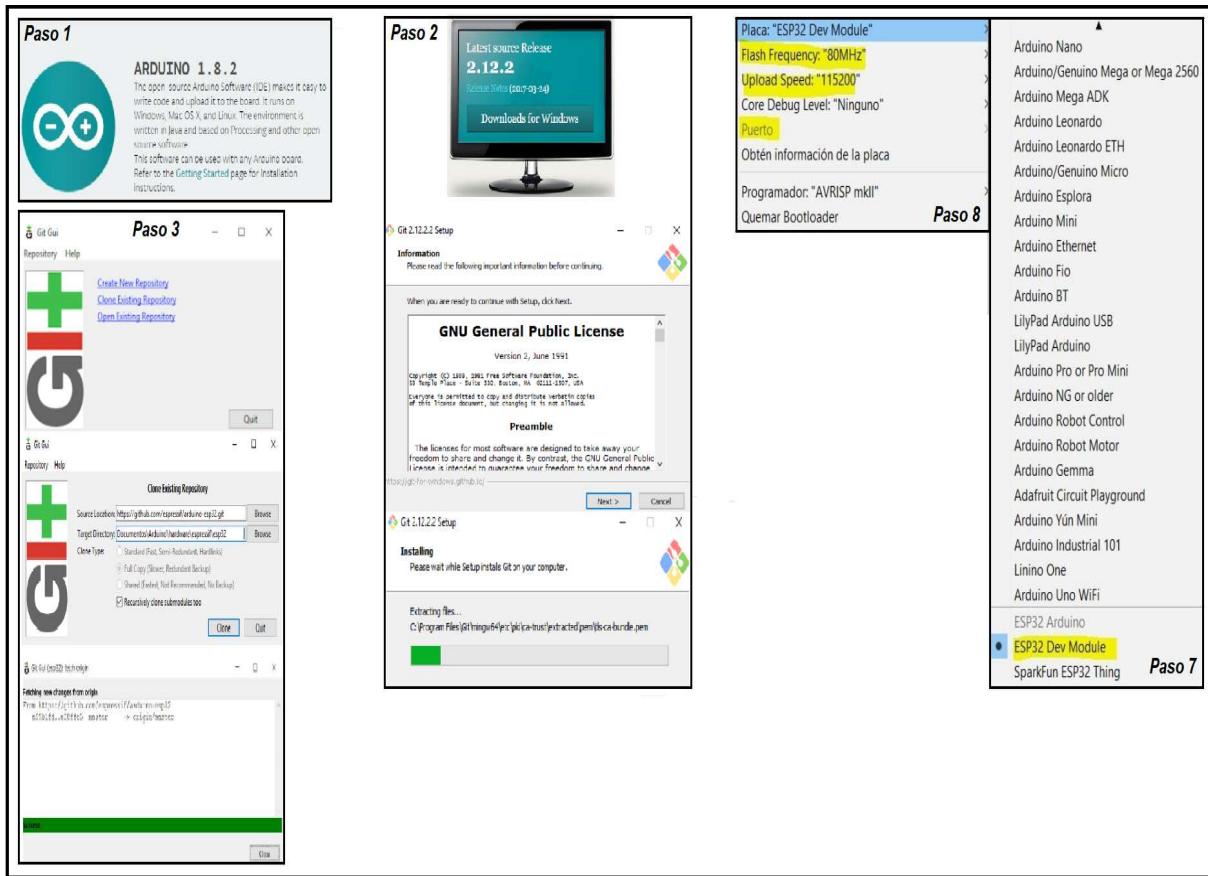


Ilustración 4-29: Configuración del ESP32 con el IDE de Arduino

Fuente: (Protoboard, 2017)

Finalmente se ha habilitado el IDE de Arduino para compilar y cargar código desde el ESP32.

Enviando datos a la nube usando ESP32: Para empezar a utilizar la plataforma de código abierto ThingSpeak tenemos que registrarnos para habilitar la creación de un canal, el mismo que nos permitirá enviar los datos desde el controlador ESP32 hacia la nube para ejecutar funciones de almacenamiento, análisis, procesamiento y visualización; (*ThingSpeak, Plataforma Gratuita para la Internet de las Cosas*, 2020) para ello:

1. Registrarse para obtener una nueva cuenta de usuario en el siguiente link:

<https://thingspeak.com/login>

- Al terminar con la dada de alta en ThingSpeak, recibiremos un correo, lo abrimos y debemos aplicar en: Verify your email para habilitar este registro.
- Regresamos nuevamente a la web de ThingSpeak y ahora establecemos nuestras credenciales, es decir definimos un usuario y una contraseña.

Ilustración 4-30: Enviando datos a la nube usando ESP32:

Fuente: (117.- Wemos D1 R32 ESP32. Cliente de ThingSpeaker., 2020)

2. Completado el registro procedemos a crear nuestro nuevo canal.

- Seleccionar: Canales → Mis canales → Nuevo canal
- Llenamos las casillas que detallan nuestro canal, es decir el nombre de nuestro canal, su descripción, registro de metadatos, sus etiquetas y el resto como sigue:
 - **Latitud, longitud y elevación:** Campos que corresponden a la ubicación geográfica.
 - **¿Hacer público?:** Un canal activado como público permite la alimentación de datos del canal y los gráficos correspondientes sean de dominio público. Si esta casilla no está activada el canal será privado y requerirá del usuario el uso de la clave API para cada operación de lectura o escritura.
 - **URL:** Sitio web que aparecerá en la vista pública del canal.
 - **ID de vídeo:** Es el ID correspondiente a tu ID de YouTube o Vimeo que aparecerá en la vista pública del canal.

- **Campos 1 a 8:** Corresponden a los datos enviados por nuestro Dispositivo IoT, son los datos que usará nuestro canal; es decir que serán descargados. Hay que agregar un campo (campo 1 por defecto) antes de que se pueda utilizar para almacenar datos.
 - Si se publica en campos que no hayan sido agregados, el estado de la solicitud continuará como satisfactoria, pero se restringirá la visualización del campo. Para ello haga clic en el cuadro “añadir campo” correspondiente a cada campo para que sea añadido.
 - Para terminar, hacemos clic en: **Guardar Canal** y quedará nuestro canal listo para la respectiva descarga de datos.
3. Identificar la clave de la API correspondiente al canal.
- Para garantizar que los datos se descargan en el canal correcto, cada canal posee una clave de API “escritura” “lectura” única.
 - Esta clave de API “escritura” “lectura” y el ID de canal son los habilitantes para referenciar en el código fuente al programar en el IDE de Arduino.

4.4.6 MATLAB

ThingSpeak permite visualizar y analizar datos en vivo. Debido que esto involucra el uso del software MATLAB, prácticamente en el manejo de operaciones con datos históricos o en línea habilita la escritura de código MATLAB, al usar estas plantillas codificadas podremos ejecutar todo el proceso de preprocesamiento, análisis y visualización de datos.



Ilustración 4-31: MATLAB - ThingSpeak
Fuente: (ThingSpeak, 2020)

Es decir, estas plantillas de código nos simplifican el desarrollo de varias tareas como, por ejemplo: conversión de unidades, comparación de datos diferentes o similares en un mismo gráfico, visualizar la distribución estadística de los datos; entre otras. El código MATLAB puede ser ejecutado y editado desde la interfaz web de la plataforma ThingSpeak o desde el software de cómputo MATLAB.

Un flujo de trabajo actualmente muy común que es usado por diferentes industrias obedece a una secuencia típica levantada una vez ya hecha la ingestión de datos en la plataforma:

- ✓ Visualización de datos.
- ✓ Ejecutar un preprocesamiento de datos.
- ✓ Comparación de nuevos datos vs. datos originales.

Ejecutar estas funciones de Analítica sin duda que son fundamentales para la toma de decisiones que aporten a la optimización de un proceso, para nuestro caso, en el proceso de impresión 3D podemos ejecutar esta analítica a los principales parámetros inmersos.

Para este caso, primero debemos amortiguar y ajustar a una curva los datos a través de la caja de herramientas de funciones MATLAB, luego, este resultado con nuevos datos escribirlo en un diferente campo y finalmente ejecutar un contraste de este resultado con los datos originales. Sin duda que un factor diferenciador en la plataforma ThingSpeak es poder usar la funcionalidad del software MATLAB en las diferentes partes de este proceso.

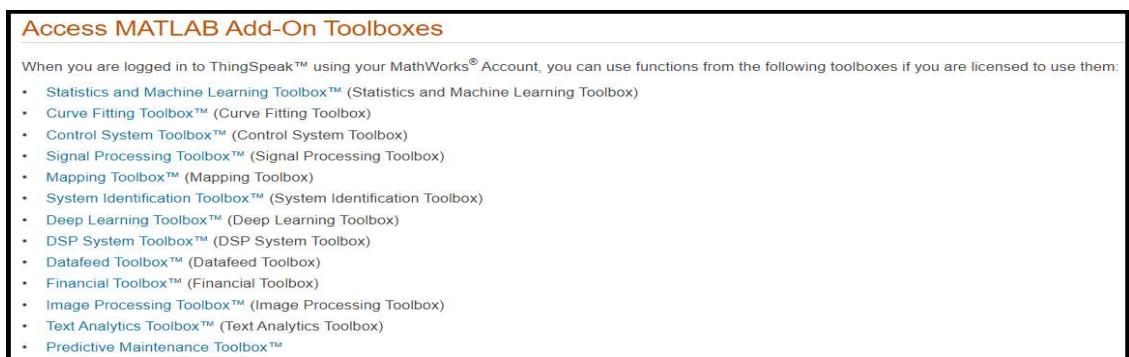


Ilustración 4-32: Acceso Caja Herramientas MATLAB

Fuente: (Access MATLAB Add-On Toolboxes - MATLAB & Simulink - MathWorks América Latina, 2020)

Existe una biblioteca que permite al hardware ESP32 ejecutar operaciones de escritura o lectura de datos hacia o desde ThingSpeak para habilitar el análisis y visualización en MATLAB. Esta biblioteca se instala en el IDE de Arduino y para ello:

1. Seleccionar Sketch → Incluir biblioteca → Administrar bibliotecas.
2. Hacer clic en la biblioteca ThingSpeak del listado.
3. Hacer clic en el botón Instalar.

<https://github.com/mathworks/thingspeak-arduino>

En GitHub, la biblioteca incluye varios ejemplos organizados por tipo de placa como soporte para iniciar con la interacción entre el hardware ESP32 y la plataforma ThingSpeak:

- ✓ ReadField: lectura de un canal público y un canal privado en ThingSpeak.
- ✓ WriteSingleField: escritura de un valor en un solo campo en ThingSpeak.
- ✓ WriteMultipleFields: escritura de varios valores en varios campos y estados en ThingSpeak

El código fuente completo y ejemplos están disponibles en GitHub:

<https://github.com/mathworks/thingspeak-arduino/tree/master/examples/ESP32>

Como se había indicado los canales pueden ser públicos o privados, en donde cada canal tiene una clave API de escritura asociada que se utiliza para controlar quién puede escribir en un canal. No se requiere de una clave API para leer de los canales públicos; adicional la plataforma dispone de aplicaciones genéricas para ESP32 activas en canales públicos:

<https://thingspeak.com/channels/public?tag=esp32>

Una vez que disponemos de datos en la plataforma ThingSpeak, podemos visualizarlos usando la aplicación **MATLAB Visualizations**; para ello:

- ✓ Seleccionar: Aplicaciones → Visualizaciones de MATLAB.
- ✓ Hacer clic en: "Nuevo".
- ✓ Seleccionar: "Personalizado".
- ✓ Hacer clic en: " Crear ".
- ✓ Ingresar el código MATLAB respectivo para desarrollar la tarea.
- ✓ Hacer clic en: "Ejecutar y Guardar".

La plataforma ThingSpeak incluye varios ejemplos como soporte para iniciar la interacción con el hardware ESP32:

https://la.mathworks.com/help/thingspeak/getting-started-with-thingspeak.html?s_tid=CRUX_lftnav

Del mismo modo también incluye soporte para el uso de las funciones que conforman el portafolio de la caja de herramientas MATLAB:

<https://la.mathworks.com/help/thingspeak/matlab-toolbox-access.html>

4.5. Resultados Esperados

La consecución de los objetivos planteados en este TFM permitirá inclinarse a la tienda Kirei Crafts & Arts EC por una nueva fórmula compuesta por el conjunto de tecnologías selectas estudiadas que resuelven idóneamente la incursión de esta tienda en una nueva línea de negocio como lo es la Cerámica – Alfarería de objetos totalmente funcionales para el usuario en torno a un Ecosistema IoT.

- ✓ Una impresora Creality Ender 3 PRO a más de ser prácticamente accesible cuando se manejan presupuestos recortados, es mostrada como una máquina en que sus prestaciones se ajustan a la medida de los requerimientos planteados y en especial a que sorprendentemente es modificable para habilitar una repotenciación en su

electrónica y un acople extrusora como el Ceramic Printing 3D KIT PRO para obtener soluciones LDM con materiales cerámicos y arcilla totalmente domésticas.

- ✓ La revelación en la repotenciación de la Ender 3 PRO sin duda lo marca la convergencia de los sistemas: control, potencia y comunicaciones integrados en una sola placa. La MRR ESPA evidencia que fue desarrollada por los japoneses para transformar el HARDWARE que maneja en una repotenciación de impresora 3D FDM en ese Dispositivo IoT LDM buscado para formar nuestro Ecosistema IoT.
- ✓ En el modelo de Ecosistema IoT, la plataforma ThingSpeak seleccionada como ese MIDDLEWARE dota de funciones básicas para integración, almacenamiento y visualización de datos y como particularidad también podemos ejecutar funciones de analítica gracias a su compatibilidad nativa con el software de cómputo MATLAB y por otro lado, también la compatibilidad de herramientas web como el ESP3DWEUI con el Dispositivo IoT planteado, constituyen en poderosas herramientas que otorgaran un valor agregado desde el punto de vista del bloque funcional APLICACIONES en torno al Ecosistema IoT para cuando la solución sea implantada a futuro en mediano plazo.
- ✓ Finalmente, el presupuesto arrojado ratifica que es el camino para seguir para obtener con una inversión limitada los beneficios buscados que impulsaran esta nueva línea de negocio en la que ha decidido incursionar la tienda Kirei Crafts & Arts EC.

4.6. Presupuesto

Se ha elaborado un presupuesto acorde a los componentes que requiere nuestro modelo 2 de Ecosistema IoT seleccionado. El actual mercado ofrece varias opciones entre las que se puede optar, por ello, este presupuesto puede variar. No obstante, con estas cifras levantadas marcamos punto referencial para el inicio de la implantación de esta solución a futuro en un mediano plazo.

También se ha incluido el respectivo enlace del sitio web del proveedor consultado: fabricante o portal. La tabla 4.2 muestra los valores inmersos para esta referencia:

Modelo 2 Ecosistema IoT						
Tipo:	ítem:	Descripción:	Cantidad:	Observación:	Precio Unitario: [EUR]	Precio Total: [EUR]
HARDWARE	1	Creality Ender 3 PRO	1	adquisición	202,97	202,97
	2	TMC 2130 Stepper Motor	4	adquisición	7,95	31,80
	3	Palca MRR ESPA	1	adquisición	38,01	38,01
	4	Ceramic Printing 3D KIT PRO	1	adquisición	929,00	929,00
SOFTWARE	6	IDE Arduino v1.8.2	1	libre	0	0
	7	Marlin v2.0	1	libre	0	0
	8	ThingSpeak MathWorks	1	libre	0	0
	9	MATLAB MathWorks	1	libre	0	0
INSTALACIÓN:	10	Multímetro Digital Fluke	1	existente	0	0
	12	Maletín Proskit	1	existente	0	0
	13	Laptop DELL + web cam	1	existente	0	0
	14	Servicio Internet	1	existente	0	0
	15	Puesta en Marcha (Alumno)	1	libre	0	0
					TOTAL:	1201,78

Tabla 4-2: Presupuesto Referencial
Fuente: Búsqueda Web (puntos:1,2,3 y 4)

1. https://www.banggood.com/Creality-3D-Ender-3-Pro-DIY-3D-Printer-Kit-220x220x250mm-Printing-Size-With-Magnetic-Removable-Platform-Sticker-or-Power-Resume-Function-or-Off-line-Print-or-Patent-MK10-Extruder-or-Simple-Leveling-p-1346320.html?rmmds=search&cur_warehouse=CN
2. [https://www.banggood.com/BIGTREETECH-TMC2209-V1_2-Silent-StepSticks-Stepper-Motor-Driver-VS-TMC2130-or-TMC5160-for-3D-Printer-Parts-SKR-V1_3-or-mini-E3-p-1599552.html?rmmds=search&cur_warehouse="](https://www.banggood.com/BIGTREETECH-TMC2209-V1_2-Silent-StepSticks-Stepper-Motor-Driver-VS-TMC2130-or-TMC5160-for-3D-Printer-Parts-SKR-V1_3-or-mini-E3-p-1599552.html?rmmds=search&cur_warehouse=)
3. <https://www.maplerain.com/en/products/mrr-espa-prelaunch>
4. <https://www.stonewhopper3d.com/store/ceramic-3d-printing-kit/>

4.7. Planificación

La secuencia que contempla la planificación para la resolución del problema planteado ha seguido una rígida orientación al PLAN que se indica en forma de diagrama de Gantt ilustrado en el Anexo 4; este flujo obedece a las siguientes actividades:

1. Recopilación de información involucrada en el Estado del Arte.
2. Especificación de requerimientos: Hardware, Software, Firmware del modelo buscado.
3. Búsqueda de diseños comerciales inmersos en la especificación de requerimientos.
4. Estudio Tecnológico de 3 modelos aspirantes al modelo deseado.
5. Comparación y selección de la solución óptima como modelo buscado.
6. Presentación tecnológica del modelo ganador como la solución óptima.
7. Presentación del presupuesto referencial del modelo ganador para futura implantación.
8. Conclusiones y lanzamiento de líneas futuras para el modelo de la solución la óptima.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1. Conclusiones

Como se ha expuesto en el capítulo 1, INTRODUCCIÓN, el problema raíz que aborda este proyecto, obedece a buscar la solución tecnológica idónea para optimizar el proceso de elaboración de un nuevo producto, que imponga valor agregado en su venta para la nueva línea de negocio en que la tienda Kirei Crafts & Arts EC incursionará a futuro.

Gracias al desarrollo de este estudio tecnológico comparativo entre diversas soluciones comerciales, la selección de la solución comercial óptima y la elaboración de su presupuesto referencial que hemos expuesto en este TFM, nuestro problema se considera resuelto, se ha logrado presentar finalmente a la tienda Kirei Crafts & Arts EC el camino que debe adoptar para incursionar en el proceso de fabricación inteligente de artesanías decorativas funcionales.

Dentro de las principales contribuciones obtenidas después de realizar este TFM tenemos:

- ✓ Metodología y Especificaciones para ejecutar el Ecosistema IoT planteado.
- ✓ Relación con la metodología Design Thinking en el método para solucionar la ejecución de este Ecosistema IoT planteado.
- ✓ Estudio tecnológico comparativo de 3 modelos propuestos, que incluye su detalle de arquitectura e integración de tecnologías, a fin de seleccionar el modelo óptimo para ejecutar el Ecosistema IoT planteado:
 - Elementos Modelo 1 → Dispositivo IoT LDM.
 - Elementos Modelo 2 → Dispositivo IoT LDM.
 - Elementos Modelo 3 → Dispositivo IoT LDM.
 - Esquemas Ecosistema IoT → Plataforma ThingSpeak.
- ✓ Detalle de la Arquitectura e Integración de Tecnologías para el Ecosistema IoT óptimo.
- ✓ Elaboración del presupuesto referencial que se aplicará al Ecosistema IoT óptimo.

Haciendo énfasis de estos resultados, se ha justificado en el desarrollo de este TFM que los objetivos específicos planteados han sido logrados, para ello:

1. **Definir que impresora 3D FDM es modificable para la repotenciación de: sistema de control, sistema de potencia y tecnología de extrusora LDM para materiales cerámicos.** - Este objetivo se marca como: logrado, debido a lo evidenciado en esta memoria en sus apartados:

- 4.1. Estudio tecnológico comparativo
- 4.2 Descripción de la solución
- 4.4.1 Creality Ender 3 PRO
- 4.4.2 Ceramic 3D Printing KIT PRO

Y acorde a los resultados esperados, queda justificado que, una impresora Creality Ender 3 PRO a más de ser prácticamente una solución muy económica, se constituye como una máquina de características ajustables a la medida de los requerimientos planteados a fin de ser repotenciada en su electrónica y acoplada a la extrusora: Ceramic Printing 3D KIT PRO para obtener ese HARDWARE como solución LDM doméstica.

Prueba de esta actual tendencia del mercado, los diseñadores de softwares de corte populares en este ámbito, como por ejemplo en el caso de los más usados con la impresora Ender 3 PRO: Cura y Simplify3D, han recurrido a contemplar ya una parametrización predeterminada aplicable para el proceso de impresión 3D acorde a especificaciones de diseño de estas tecnologías usadas en una repotenciación para impresoras FDM ; a fin de garantizar un óptimo rendimiento en sus resultados al usuario final.

2. Definir el sistema de control, el sistema de potencia y el ambiente de desarrollo usado para la repotenciación de la impresora 3D FDM.- Este objetivo se marca como: logrado, debido a lo evidenciado en esta memoria en sus apartados:

- 4.1 Estudio tecnológico comparativo
- 4.2 Descripción de la solución
- 4.4.3 MRR ESPA

Y acorde a los resultados esperados, queda justificado, que un elemento clave en nuestra solución de impresión LDM para dotar de características innatas que debe poseer una cosa o dispositivo para que sea catalogado como: inteligente, para nuestro caso denominado como: Dispositivo IoT LDM dentro de nuestro Ecosistema IoT, es indiscutiblemente la placa del fabricante japonés MRR ESPA, que gracias a su tecnología WIFI nativa basada en el controlador ESP32 de 32 bits que integra, la transforma en una variante: sencilla (1 sola placa), robusta y distinta del resto de variantes para otorgar esa sinergia de conectividad requerida en la integración a la plataforma IoT de código abierto ThingSpeak .

Por otro lado, dos herramientas que inciden en el éxito para marcar esta conectividad total en nuestro Ecosistema IoT desde el punto de vista conceptual, claramente son: el IED de Arduino v1.8.2 y el firmware Marlin v2.0. El primero resuelve integración: Hardware → Middleware; mientras que el segundo resuelve integración: Middleware → Aplicación.

3. Definir que plataforma IoT para integración, almacenamiento y visualización de datos, así como la herramienta WEB para control remoto de la impresora 3D será utilizada.- Este objetivo se marca como: logrado, debido a lo evidenciado en esta memoria en sus apartados:

- 4.1 Estudio tecnológico comparativo
- 4.2 Descripción de la solución
- 4.4.4 ESP3D WEBUI
- 4.4.5 THINGSPEAK
- 4.4.6 MATLAB

Y acorde a los resultados esperados, queda justificado, que la plataforma ThingSpeak seleccionada como ese MIDDLEWARE dota de funciones básicas para integración, almacenamiento y visualización de datos, con la particularidad que permite aplicar código MATLAB en las operaciones con datos históricos o en tiempo real volcados, esto aportará un valor agregado a un proceso de impresión 3D, ya que, al habilitar la ejecución de componentes para tareas de: preprocesamiento, análisis y visualización de datos, este proceso podrá ser optimizado a medida en que se aplique y se explote cada una de las funciones o componentes que pone a disposibilidad la caja de herramientas del software MATLAB.

Por otro lado, debido a la existencia de la bifurcación para la versión del firmware Marlin 2.0, la interfaz web ESP3DWEUI también es compatible con nuestro Dispositivo IoT LDM.

Estos 2 factores constituyen poderosas herramientas que otorgaran un valor agregado desde el punto de vista del bloque funcional de APLICACIONES al Ecosistema IoT seleccionado.

4. Desarrollar el presupuesto total de la solución definitiva.- Este objetivo se marca como: logrado, debido a lo evidenciado en esta memoria en sus apartados:

- 4.6 Presupuesto
- 4.7 Planificación

Y acorde a los resultados esperados, queda justificado, que el actual mercado posee mucha dinámica, la oferta y la demanda que existe para implantar esta solución es surtida, por ello, se ha elaborado un presupuesto referencial que satisface las necesidades para aterrizar el inicio de la implantación de esta nueva línea de negocio que la tienda Kirei Crafts & Arts EC incursionará a futuro en un mediano plazo.

Entonces, finalmente concluimos que el objetivo general: **“Seleccionar a través de un estudio comparativo tanto tecnológico como económico, la solución comercial óptima que la tienda Kirei Crafts & Arts EC debe adoptar para incursionar en el proceso de fabricación inteligente de artesanías funcionales”**, ha sido logrado al ejecutar este TFM.

5.2. Trabajo Futuro

Debido al impacto novedoso que este tipo de solución ha causado como una aplicación enfocada al ámbito de la Cerámica / Alfarería, al mostrarse como una fusión de tecnologías para habilitar la fabricación de objetos funcionales en arcilla de forma más sencilla y con diseños más complejos usando la técnica de impresión 3D LDM con la adición de sinergias de conectividad que lo han transformado como ese Dispositivo IoT LDM, es decir nuestro bloque inferior HARDWARE, que a ser integrado a un bloque central MIDDLEWARE, para nuestro caso a través de la plataforma de código abierto ThingSpeak permite interactuar con el bloque final APLICACIÓN, como: el software de cómputo MATLAB y la interfaz ESP3dWEBUI para solidificar la funcionalidad total de este Ecosistema IoT creado; podemos:

Robustecer el bloque central de este Ecosistema IoT que hemos formado, nos referimos al Middleware, en el que, como una línea futura a seguir, se plantea el uso de una plataforma de propósito general que ofrecen soluciones más completas en servicios Cloud y que lo lideran proveedores con alta injerencia en el mercado como: Microsoft Azure, AWS o Google Cloud.

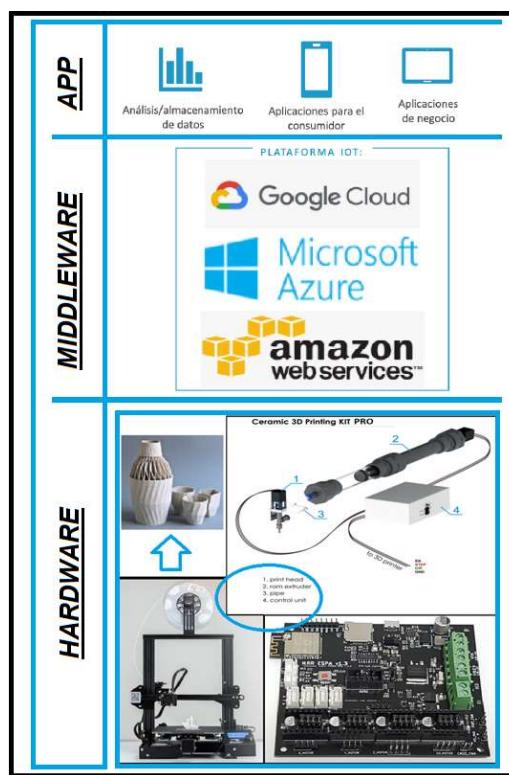


Ilustración 5-1: Plataforma Propósito General como MIDDLEWARE

Fuente: Collage de elaboración propia

Hoy en día las plataformas basadas en Servicios Cloud han alcanzado gran aceptación por su amplio catálogo de componentes que ofrece su "IaaS" Infraestructura como Servicio para dar solvencia al desarrollo de casos de uso IoT. Dicho esto; queda planteado nuestro trabajo futuro para robustecer nuestro bloque funcional MIDDLEWARE.

Como una síntesis de esta propuesta de trabajo futuro, Azure de Microsoft nos brinda muchos componentes integrados en la nube para cubrir las necesidades acordes al grado de complejidad de una solución. Algunas aplicaciones no necesariamente usarán todos los componentes **Azure** que describimos a continuación: (*Azure Reference Architectures, 2020*)

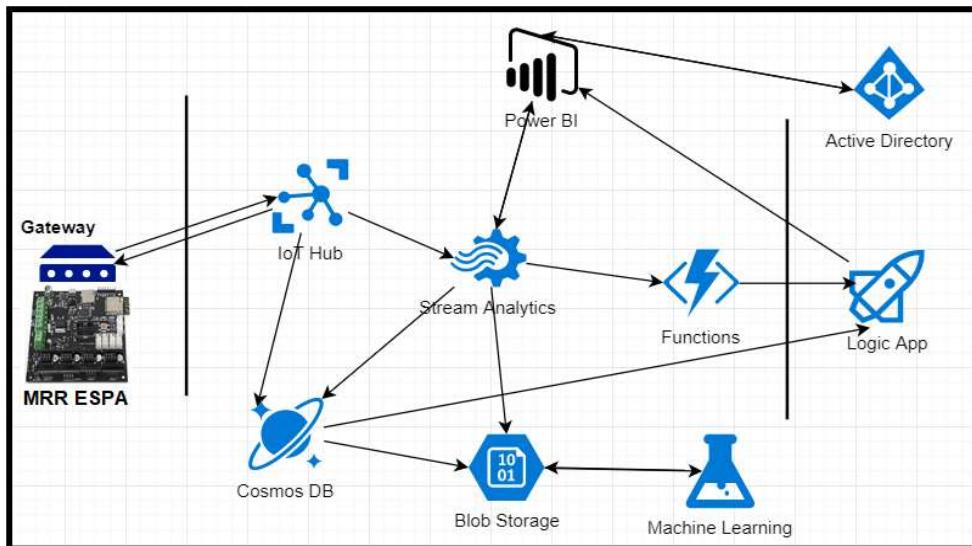


Ilustración 5-2: Despliegue en Microsoft Azure planteado.

Fuente: (Esquema propio draw.io) (Azure Reference Architectures, 2020)

IoT Hub: Usado como una puerta de enlace para la nube que proporciona conectividad segura, ingesta de eventos, comunicación bidireccional y administración de dispositivos.

IoT Edge: Usado para el registro seguro de dispositivos perimetrales que ejecutan procesamiento de datos en el propio dispositivo o en una puerta de enlace.

IoT Hub Device Provisioning Service: Usado para registrar y asignar a gran escala dispositivos conectados a Azure IoT Hub.

Stream Analytics: Usado para ejecutar procesamiento de flujos, análisis complejo a escala a través de funciones basadas en ventanas temporales. Otras variantes de uso para esto son Apache Spark en Azure Databricks.

Machine Learning: Usado para aprendizaje automático a través de la ejecución de algoritmos de predicción en datos históricos de telemetría.

Cosmos DB: Usado para almacenamiento en rutas de acceso semiactivas, es una base de datos distribuida global.

SQL: Usado para almacenamiento en rutas de acceso semiactivas, es una base de datos relacional como servicio basada en Microsoft SQL Server.

Blob Storage: Usado para almacenamiento en rutas de acceso inactivas para archivar indefinidamente datos a bajo costo y autorización de acceso para su procesamiento por lotes.

Funciones: Usado para la transformación de datos en el manejo o adición del flujo de datos de telemetría después de que atravesen el IoT Hub. Esta función se integra nativamente con IoT Hub, Cosmos DB y Blob Storage.

Logic Apps: Usado para la integración de procesos corporativos como: gestión de mensajería SMS, correo electrónico, alarmas, visualización como **Power BI** o sistemas ERP, CRM, etc.

Active Directory: Usado para la autenticación y autorización de usuarios para la administración de cuentas individuales o grupales de privilegios en los dispositivos como por ejemplo una actualización del firmware.

Tabla 5-1: Componentes Microsoft Azure

Fuente: (Azure Reference Architectures, 2020)

BIBLIOGRAFÍA

3D Printer, slicer settings. (2020). StoneFlower 3D Printer for Ceramics.

<https://www.stoneflower3d.com/support/3d-printer-slicer-settings/>

117.- Wemos D1 R32 ESP32. Cliente de ThingSpeaker. (2020).

http://kio4.com/arduino/117_Wemos_ThingSpeaker.htm

A8 3d Printer. (2020). Anet3d.Com. <https://anet3d.com/pages/a8-3d-printer>

Access MATLAB Add-On Toolboxes—MATLAB & Simulink—MathWorks América Latina.

(2020). <https://la.mathworks.com/help/thingspeak/matlab-toolbox-access.html>

Azure Reference Architectures. (2020). [https://docs.microsoft.com/es-](https://docs.microsoft.com/es-es/azure/architecture/reference-architectures/iot)

[es/azure/architecture/reference-architectures/iot](https://docs.microsoft.com/es-es/azure/architecture/reference-architectures/iot)

Bigtreetech/BIGTREETECH-SKR-V1.3. (2020). GitHub.

<https://github.com/bigtreetech/BIGTREETECH-SKR-V1.3>

Binder jetting. (2020). <https://www.manufacturingguide.com/en/binder-jetting>

Ceramic 3D Printing KIT. (2020). StoneFlower 3D Printer for Ceramics.

<https://www.stoneflower3d.com/store/ceramic-3d-printing-kit/>

Ceramic 3D printing KIT and print head. (2020). StoneFlower 3D Printer for Ceramics.

<https://www.stoneflower3d.com/support/ceramic-3d-printing-kit-and-print-head/>

Ceramics Additive Manufacturing Markets 2017-2028. (2017). SmarTech Analysis.

<https://www.smartechanalysis.com/reports/ceramics-additive-manufacturing-markets-2017-2028/>

ClayXYZ: Desktop 3D Clay Printer. (2018). Kickstarter.

<https://www.kickstarter.com/projects/clayxyz/clayxyz-desktop-3d-clay-printer-create-your-own-ar>

Controlando nuestra Impresora 3D mediante OctoPrint. (2020). [Reprap.org].

<https://reprap.org/forum/read.php?411,816875>

Cooper, E. (1987). *Historia de la cerámica.* Ceac.

Creality Ender 3 Pro: Mejor impresora 3D por menos de 300€. (2020). All3DP.

<https://all3dp.com/es/1/creality-ender-3-pro-impresora-3d-analisis/>

Decoluxe. (2015). Figuras de cerámica en 3D. *Decoora*. <https://www.decoora.com/figuras-ceramica-impresas-3d/>

Digital Light Processing, DLP. (2020). <https://www.manufacturingguide.com/en/digital-light-processing-dlp>

Digital Light Processing Moving Light, DLP Moving Light. (2020).

<https://www.manufacturingguide.com/en/digital-light-processing-moving-light-dlp-moving-light>

Electrónica de la impresora 3D. (2020). Zona Maker. <https://www.zonamaker.com/impresion-3d/crea-impresora/3-electronica-crea-imp>

Encendiendo y Apagando nuestra Impresora 3D mediante OctoPrint y un Relay. (2018).

<https://reprap.org/forum/read.php?411,819641>

Ender-3 PRO 3D Printer. (2020). <https://www.creality.com:443/ender-3-pro-3d-printer-p00251p1.html>

ESP32, el «hermano mayor». (2020). *Luis Llamas*. <https://www.luisllamas.es/esp32/>

Español, D. T. en. (2020). *Design Thinking en Español*.

<https://designthinking.es/inicio/index.php>

Fab, U. (2012). Road to better paste extrusion. *Unfold ~fab*.

<http://unfoldfab.blogspot.com/2012/08/road-to-better-paste-extrusion-episode.html>

FM, Y. (2018, agosto 3). *¿ Qué es Arduino ?* Xataka. <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>

Fused Deposition Modeling, FDM. (2020). <https://www.manufacturingguide.com/en/fused-deposition-modeling-fdm>

Geeetech Wiki. (2020). [Geeetech].

<http://www.geeetech.com/wiki/index.php/File:04%E5%AF%B9%E6%AF%94%E8%A1%A8%E6%A0%BC.jpg>

GTM32 Rev B. (2020). [Geeetech].

<http://www.geeetech.com/forum/viewtopic.php?f=77&t=69582&p=110094&hilit=gtm32#p110094>

Guerrero De Mier, A., & Espinosa Escudero, M. D. M. (2014). AVANCES EN REPRAP:

IMPRESIÓN 3D DE CÓDIGO ABIERTO. *DYNA INGENIERIA E INDUSTRIA*, 89(3), 34-38. <https://doi.org/10.6036/5659>

Guía de filamentos. (2020). *LEON3D*. <https://www.leon-3d.es/guia-de-filamentos-leon-3d/>

Guía de Instalación SKR 1.4 Turbo + 2209 + TFT35 v3 + 3DTouch en Anet A8 Plus. (2020). <https://fullchollos.com/2020/07/guia-de-instalacion-skr-1-4-turbo-2209-tft35-v3-3dtouch-en-anet-a8-plus.html>

Häßge, G. (2020). *OctoPrint.org*. OctoPrint.Org. <https://octoprint.org/>

Home | *OpenEnergyMonitor*. (2020). OpenEnergyMonitor. <https://openenergymonitor.org/>

Impresión 3D de cerámica. (2019, abril 17). *3Dnatives*.

<https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-de-ceramica-170420192/>

IoT platform Ubidots. (2020). ubidots. <https://ubidots.com/>

Kirei Crafts & Arts EC. (2015). <https://web.facebook.com/KireiCraftsEc/>

LDM Wasp Extruder. (2020). WASP. <https://www.3dwasp.com/en/wasp-launches-the-new-professional-clay-extruder/>

Learn More—ThingSpeak IoT. (2020). [ThingSpeak].

https://thingspeak.com/pages/learn_more

Lorenzo, J. (2019, enero 29). Guía Definitiva sobre Extrusores y Hotends para Impresora 3D. *Of3lia*. <https://of3lia.com/guia-extrusor-y-hotend-impresora-3d/>

Los 30 mejores servicios de impresión 3D online de 2020. (2020, abril 14). All3DP.

<https://all3dp.com/es/1/mejor-servicio-de-impresion-3d-en-linea/>

Luc-github. (2020). *Luc-github/ESP3D-WEBUI* [JavaScript]. <https://github.com/luc-github/ESP3D-WEBUI> (Original work published 2017)

Maplerainresearch/MRR_ESPA. (2020). GitHub.

https://github.com/maplerainresearch/MRR_ESPA

MKS BASE 1.0—RepRap. (2020). https://reprap.org/wiki/MKS_BASE_1.0

MMR - Products. (2020). Maplerain Research Co., Ltd.

<https://sites.google.com/maplerain.com/www/en/products>

Modules | Espressif Systems. (2020). ESP32-S2 Series Modules.

<https://www.espressif.com/en/products/modules>

Original Prusa i3 MK3S kit. (2020). Prusa Research. https://shop.prusa3d.com/en/3d-printers/180-original-prusa-i3-mk3s-kit.html?search_query=mk3s&results=126

Panel de Control de expansión Ramps 1,6. (2020).

<https://es.aliexpress.com/i/32971662146.html>

Panucatt/ESP3D-WEBUI. (2019). Panucatt Devices LLC.

<https://github.com/Panucatt/ESP3D-WEBUI> (Original work published 2019)

Protoboard. (2017). ESP32 con el IDE de Arduino en Windows. *Arduino y solo Arduino - Todo lo que necesitas lo encontrarás aquí.*

<https://soloarduino.blogspot.com/2017/03/como-programar-el-esp32-con-el-ide-de.html>

¿Qué es Raspberry Pi? (2020). Raspberry Pi. <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/Raspberry-pi-modulos-comparativa-conectividad>. (2020).

<https://mecatronicauno.com/comparando-los-raspberry-pi/raspberry-pi-modulos-comparativa-conectividad/#main>

Shield RAMPS para Impresora 3D. (2020). Naylamp Mechatronics - Perú.

<https://naylampmechatronics.com/arduino-shields/69-shield-ramps-impresora-3d.html>

SKR V1.4 product details. (2020). BIGTREETECH. <http://www.bigtree-tech.com/shop/product/show/id/2>

Stereolithography, SLA. (2020). <https://www.manufacturingguide.com/en/stereolithography-sla>

Technical Architecture Kaa. (2020). Kaa IoT Platform. <https://www.kaaproject.org/platform>

Technology XJet's NanoParticle Jetting. (2020). Xjet. <https://www.xjet3d.com/technology/>

Thinger.io IoT Platform. (2020). Thinger.io. <http://thinger.io>

ThingSpeak. (2020). <https://la.mathworks.com/products/thingspeak.html>

ThingSpeak, Plataforma Gratuita para la Internet de las Cosas. (2020).

Descubrearduino.com. <https://descubrearduino.com/thingspeak/>

Tipos-de-arduino. (2020). <https://uploads.filipeflop.com/2014/02/tipos-de-arduino.png>

Triana, I. (2015). Ingenio Triana Blog: Diagrama de conexión de impresora 3D Prusa i3 con Ramps para Arduino. *Diagrama de conexión de impresora 3D Prusa i3 con Ramps para Arduino.* <http://ingenio-triana.blogspot.com/2015/12/diagrama-de-conexion-de-impresora-3d.html>

VAT Photopolymerisation | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University. (2020).

<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categorysofadditivemanufacturing/vatphotopolymerisation/>

Waterfall: Metodología para el desarrollo secuencial de tareas. (2017, junio 22). *TIC Portal.*

<https://www.ticportal.es/glosario-tic/waterfall-metodologia-desarrollo-secuencial>

ANEXOS

ANEXO 1 Detalle Modelo 1 → Dispositivo IoT LDM

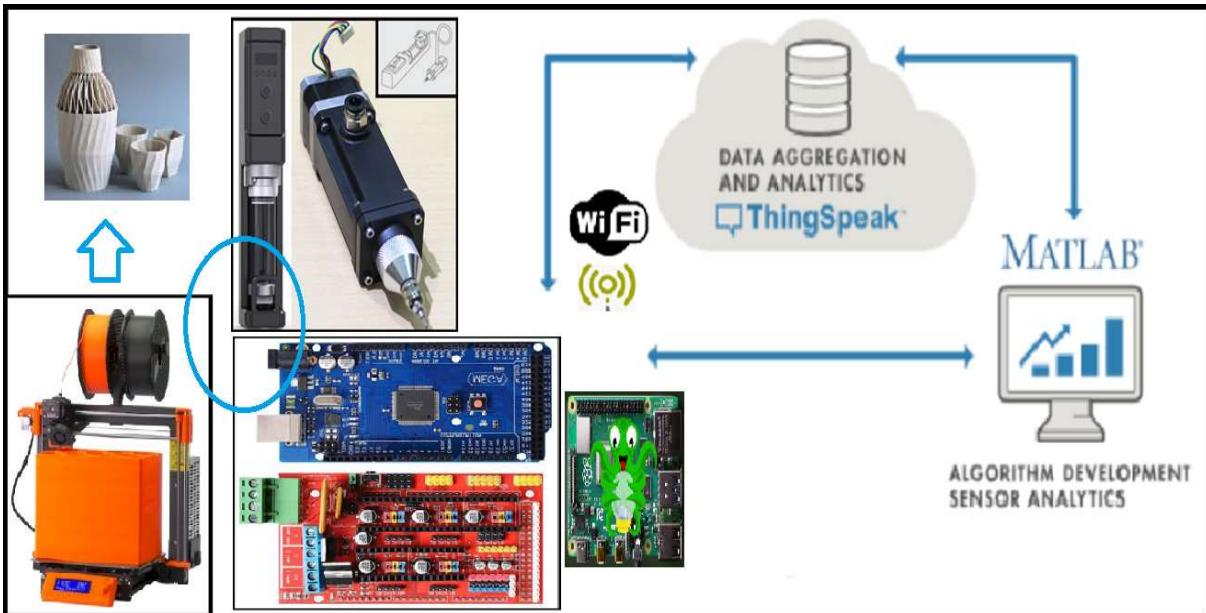


Ilustración A-1: Ecosistema IoT → Modelo 1

Fuente: Collage de elaboración propia

Este primer modelo como Dispositivo IoT LDM, es una combinación muy usada en el mercado para repotenciar una impresora 3d Prusa i3 MK3S el uso de las placas: Arduino Mega 2560 R3 + RAMPS 1.4; basándonos en esta pareja se ha adicionado también la placa SBC Raspberry Pi a través de una conexión USB a la placa RAMPS 1.4 a fin de obtener sinergia en conectividad WiFi para la integración con ThinksSpeak y Octoprint.

- ✓ En esta pareja, el papel de placa de control lo ejecuta la Arduino Mega que está dotada por un microcontrolador ATmega1280, que al cargarlo con el firmware Marlin 2.0 la transforma en el cerebro de nuestra impresora 3D.
- ✓ El papel de placa escudo protector lo ejecuta la RAMPS 1.4, aquí cada componente de nuestra impresora 3D es conectado minuciosamente acorde a las especificaciones del fabricante a fin de que como resultado final se obtenga el control a través de la placa Arduino Mega.

Conexión de componentes: La placa RAMPS se ensambla sobre placa Arduino MEGA, tras acoplar sus regletas conectoras.

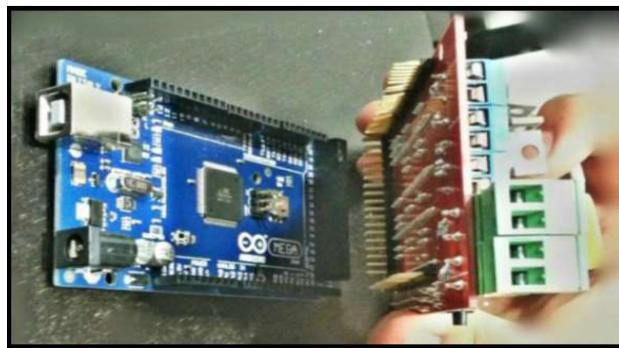


Ilustración A-2: Montaje RAMPS a Arduino MEGA
Fuente: (Triana, 2015)

- ✓ A continuación, se detalla lo expuesto en el esquema siguiente, notar que esta configuración obedece para dos extrusores: (Triana, 2015)

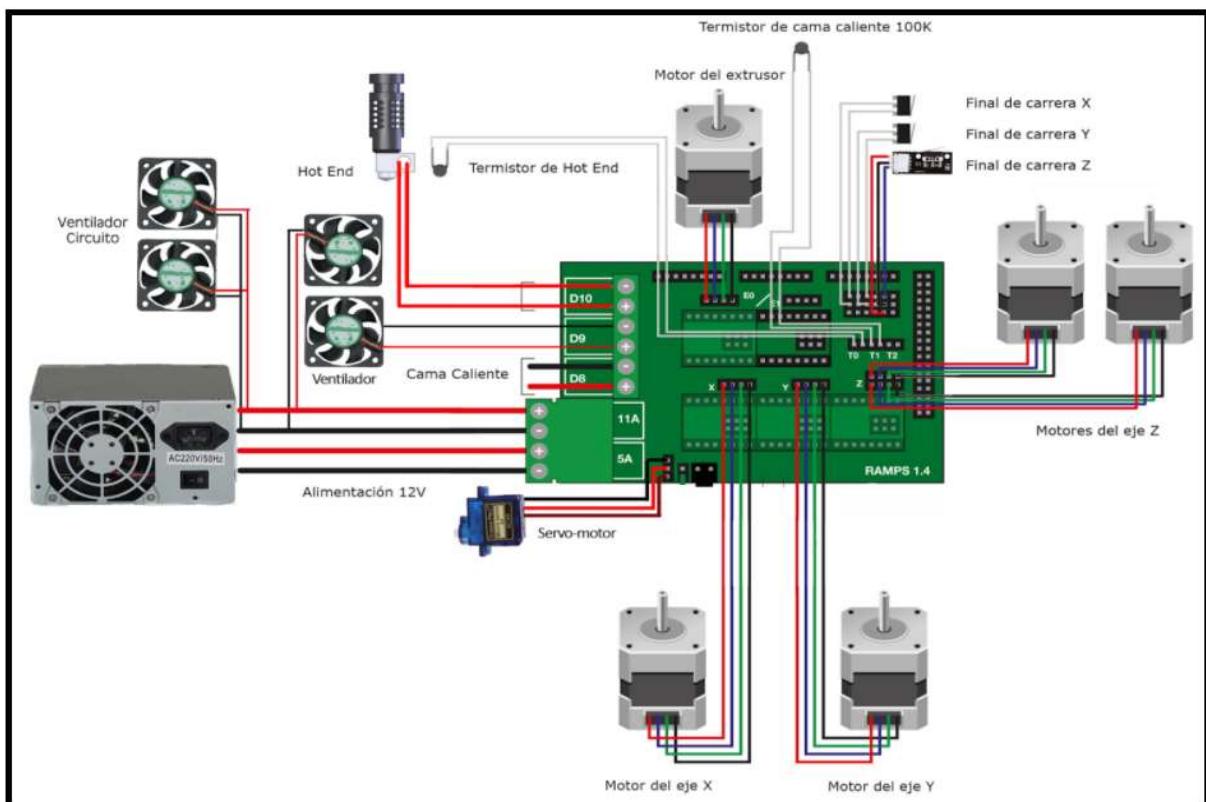


Ilustración A-3: Conexión placa RAMPS
Fuente: (Triana, 2015)

Alimentación: Se conecta una fuente de alimentación dual bipolar:

- ✓ Línea de 11 [A] suministra la corriente para el elemento Cama Caliente.
- ✓ Línea de 5 [A] suministra corriente para el resto de los elementos.
- ✓ Línea opcional suministra corriente para independizar los ventiladores.

Controladores de Potencia: En estas conexiones es requerido disponer de un elemento disipador para el MOSFET de la cama caliente.

- ✓ D8 → Cama Caliente. (no polaridad)
- ✓ D9 → Ventilador de Capa. (si polaridad)
- ✓ D10 → Resistencia del Hotend. (no polaridad)

Motores Paso a Paso: En estas conexiones es requerido ubicar Jumpers debajo de los controladores. Use el orden de cableado especificado por el fabricante de sus motores.

- ✓ 3 controladores → para cada uno de los ejes de la impresora.
- ✓ 2 controladores → para el extrusor.

Finales de Carrera: En estas conexiones es requerido seguir estrictamente el orden del cableado para cada final de carrera por cada eje, a fin de no averiar la placa. No olvide verificar qué cable corresponde a cada fase desde la placa del final de carrera.

- ✓ Señal → Pin azul. (normalmente cable verde)
- ✓ Tierra → Pin negro. (normalmente cable negro)
- ✓ Voltaje → Pin rojo. (normalmente cable rojo)

Termistores: En estas conexiones no se requiere polaridad:

- ✓ T0 (2B2A) → Termistor Hotend.
- ✓ T1 (1B1A) → Termistor Cama Caliente.

Auto Calibrado: En estas conexiones es requerido un servo y sustituir el final de carrera mecánico por otro de mayor precisión para su correcto funcionamiento.

Adaptador LCD: En estas conexiones es requerido un adaptador.

Conexión a una placa Raspberry Pi: La placa Raspberry Pi 3B con OctoPrint dotará de nuevas prestaciones a nuestro modelo 1 para dispositivo IoT; así pues, el patrón de conexión final será:

- ✓ OctoPrint → Raspberry Pi → Arduino + RAMPS → Marlin 2.0.
- ✓ Placa Raspberry PI se acopla a placa RAMPS a través de USB y relé corta corriente.
- ✓ Pin 18 del GPIO de la placa Raspberry Pi activará o desactivará este dispositivo relé.
- ✓ Las conexiones de 12 [V] desde la fuente de poder no cambian hacia la placa RAMPS.
- ✓ La placa Raspberry Pi es conectada vía USB a la placa RAMPS.

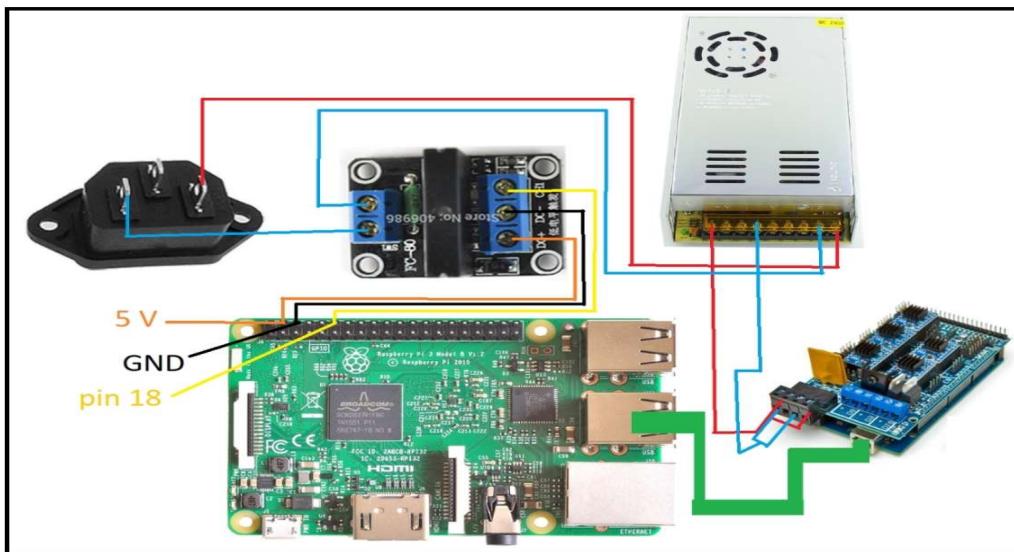


Ilustración A-4: Conexión placa Raspberry Pi

Fuente: (Encendiendo y Apagando nuestra Impresora 3D mediante OctoPrint y un Relay, 2018)

- ✓ Una vez completado este esquema debemos configurar la placa Raspberry Pi para habilitar el pin 18 del GPIO para que se reconozca esta nueva configuración. (Encendiendo y Apagando nuestra Impresora 3D mediante OctoPrint y un Relay, 2018)

Acople a Kit Clay XYZ Extrusor: Finalmente para finiquitar nuestro modelo 1 como un Dispositivo IoT para soluciones LDM, ya repotenciada nuestra impresora FDM Prusa i3 MK3S podremos fabricar objetos funcionales de arcilla impresos en 3D acoplando el dispositivo de extrusión ClayXYZ, el mismo que para mejorar la precisión del proceso de impresión a rangos de 0,2 [mm] otorga las siguientes prestaciones: (ClayXYZ, 2018)

- ✓ Un compresor de aire especial que elimina las burbujas de arcilla.
- ✓ Extrusora de accionamiento por motor paso a paso de alta precisión.
- ✓ Válvula solenoide y una válvula de presión complementadas.
- ✓ Boquilla del extrusor disponible en variedad de diámetros diferentes.
- ✓ Compatible con placa Arduino Mega2560 bajo firmware Marlin 2.0.
- ✓ Admite formatos de modelo STL, IGS, STP y OBJ, y software Cura y Slic3r.



Ilustración A-5: Acople Kit Clay XYZ Extrusor

Fuente: (ClayXYZ, 2018=

ANEXO 2 Detalle Modelo 2 → Dispositivo IoT LDM

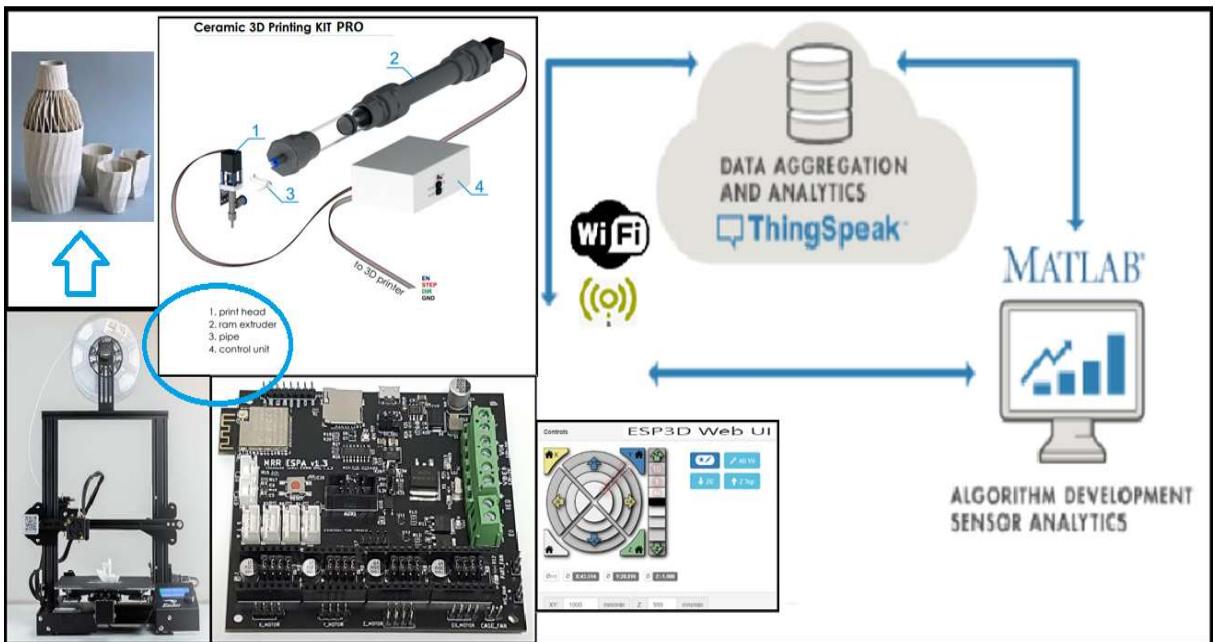


Ilustración A-6: Ecosistema IoT → Modelo 2

Fuente: Collage de elaboración propia

En este segundo modelo para Dispositivo IoT LDM, se ha buscado repotenciar la impresora Ender 3 Pro utilizando una única placa que integra un microcontrolador ESP32 de 32 bits con WiFi nativo y un shield; nos referimos a la MRR ESPA capaz de dotar sinergia en conectividad WiFi para la integración con ThinkSpeak y ESP3DWEBUI.

Conexión de componentes: La placa MRR ESPA nos permite controlar:

- ✓ 4 controladores para motores paso a paso: X, Y, Z y E0.
- ✓ 1 hotend.
- ✓ 1 cama con calefacción.
- ✓ 1 ventilador de enfriamiento.
- ✓ Topes finales mínimos X, Y y Z.
- ✓ Fuente de alimentación de entrada de 12-24 [V].
- ✓ Fuente de alimentación separada para la cama de calor.
- ✓ Conector dedicado para sonda del eje Z, como un sensor inductivo, que funciona con la tensión de alimentación de entrada 12-24 [V].
- ✓ Conector USB para una computadora host.
- ✓ Lectura directa desde microSD.

Conexión de Drivers TMC 2130: Al configurar algunos puentes bajo el modo SPI podemos usar controladores paso a paso del tipo TMC 2130. Para cada controlador paso a paso, hay

un conjunto de puentes determinado, por ello también se pueden usar estos puentes para configurar controladores paso a paso del tipo A4988 y DRV8825.

Ya configurado los puentes usamos un cable como puente para conectar el pin CS de cada controlador paso a paso Trinamic con el pin ESP32 nativo respectivo. (*MMR - Products*, 2020)

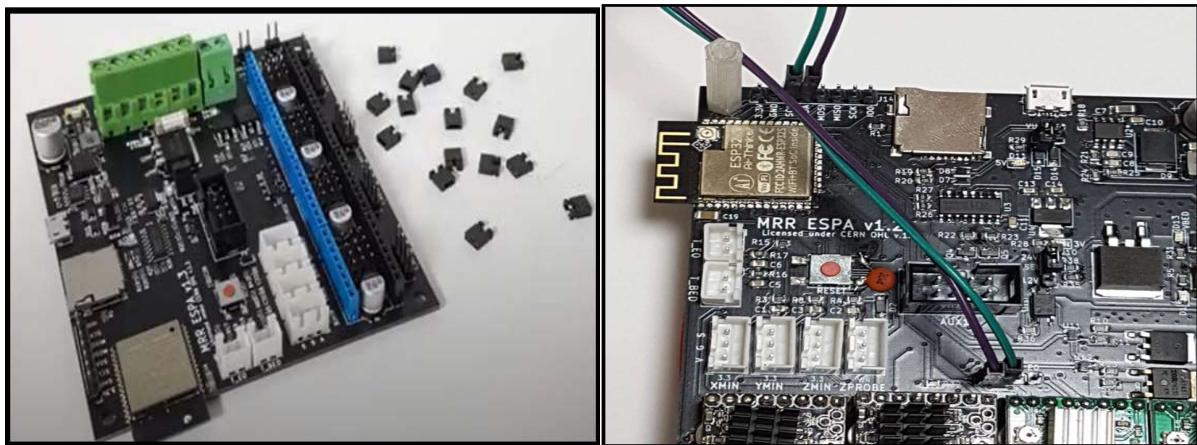


Ilustración A-7: Conexión Drivers TMC 2130

Fuente: (*MMR - Products*, 2020)

Integración a ESP3D: Adicional debido a que esta placa integra el microcontrolador ESP32 de 32 bits con WiFi nativo que soporta protocolos: 802.11 b / g / n; prácticamente el control remoto de la impresora 3D a través de un navegador web es totalmente factible al ejecutar una bifurcación personalizada de firmware Marlin 2.0 para habilitar un servidor web para hacer el control remoto vía web por medio de la popular interfaz ESP3D WEB UI bajo el uso de una licencia GPL 3.0. (*Panucatt/ESP3D-WEBUI*, 2019/2019)

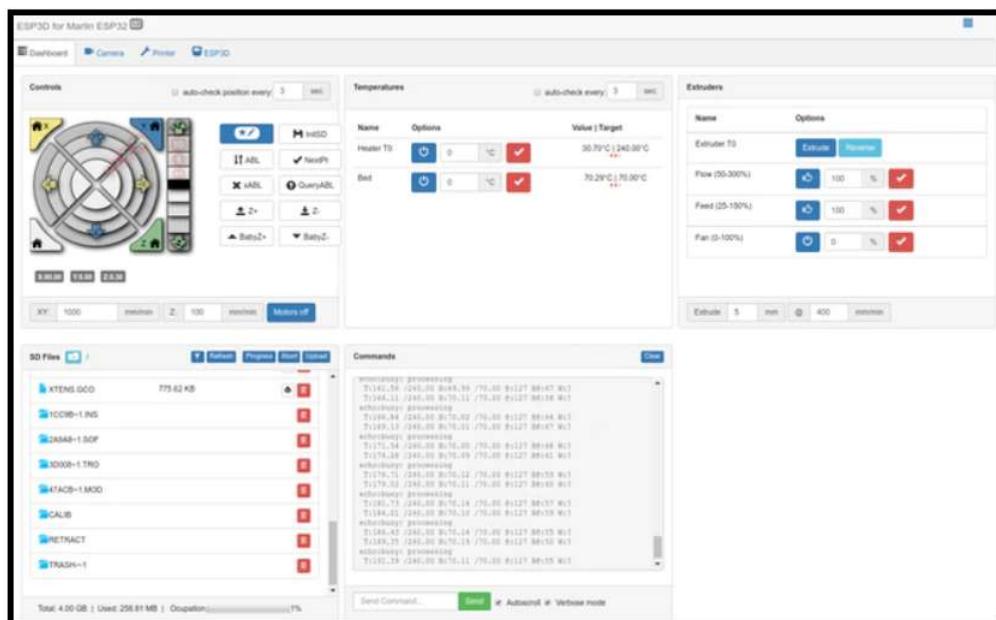


Ilustración A-8: Integración ESP3D

Fuente: (*Panucatt/ESP3D-WEBUI*, 2019/2019)

Acople a Kit de impresión 3D de cerámica Pro : Finalmente para terminar nuestro modelo 2 como un Dispositivo IoT para soluciones LDM, ya repotenciada nuestra impresora Ender 3 Pro podremos fabricar objetos funcionales de arcilla impresos en 3D acoplando el Kit de impresión 3D de cerámica Pro. Este kit incluye: (*Ceramic 3D Printing KIT, 2020*)



Ilustración A-9: Componentes “Ceramic 3D Printing KIT PRO”

Fuente: (*Ceramic 3D Printing KIT, 2020*)

- ✓ Cabezal de impresión desarrollado con motor paso a paso Nema 17 de peso ligero con una extrusora tipo Auger fácilmente montable, desmontable y de alto rendimiento.
- ✓ Potente bomba de jeringa motorizada que no requiere de aire comprimido con una capacidad de 1500 [ml].
- ✓ Unidad de control que hace que el KIT sea totalmente compatible con: placas base, software y firmware para todas las impresoras 3D FDM de escritorio. Adicional soporta la función de impresión infinita para fabricación de objetos más grandes al pausar la impresión, cargar nuevamente arcilla y reanudar la impresión.

ANEXO 3 Detalle Modelo 3 → Dispositivo IoT LDM

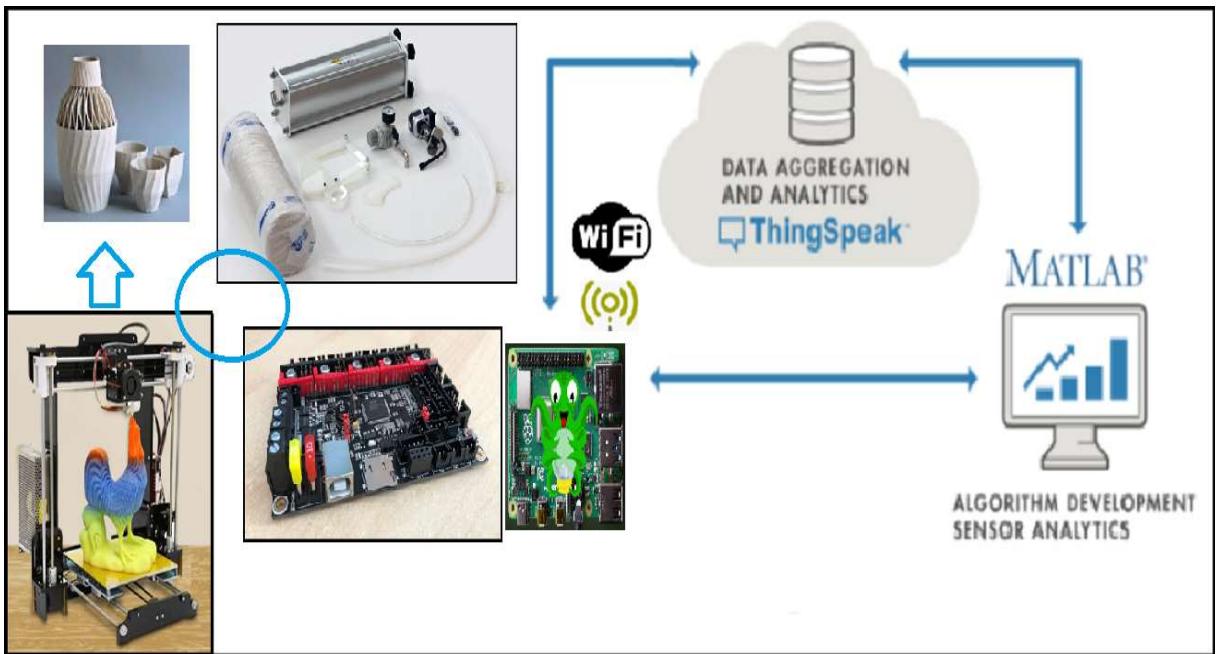


Ilustración A-10: Ecosistema IoT → Modelo 3

Fuente: Collage de elaboración propia

Una última combinación en la que hemos incursionado para obtener un modelo como Dispositivo IoT LDM, es la repotenciación de la impresora 3D ANET A8 usando la placa: SKR 1.4 que acoplada a una placa SBC Raspberry Pi a través de una conexión USB se obtiene la sinergia en conectividad WiFi para su integración con ThinkSpeak y Octoprint.

Conexión de componentes: Entre las ventajas que nos brinda sustituir la placa original de la impresora 3D ANET A8 por una placa SKR 1.4 tenemos:

- Drivers totalmente silenciosos en el proceso de impresión.
- Incremento del tamaño de la memoria.
- Ejecución de versión de firmware Marlin 2.0.
- Mayor conectividad de elementos requeridos.

Para ilustrar la adaptación de componentes Anet A8 Plus en SKR 1.4 detallamos en el diagrama de la placa las conexiones importantes que no sufren alguna variante. (*Guía de Instalación SKR 1.4 Turbo + 2209 + TFT35 v3 + 3DTouch en Anet A8 Plus, 2020*)

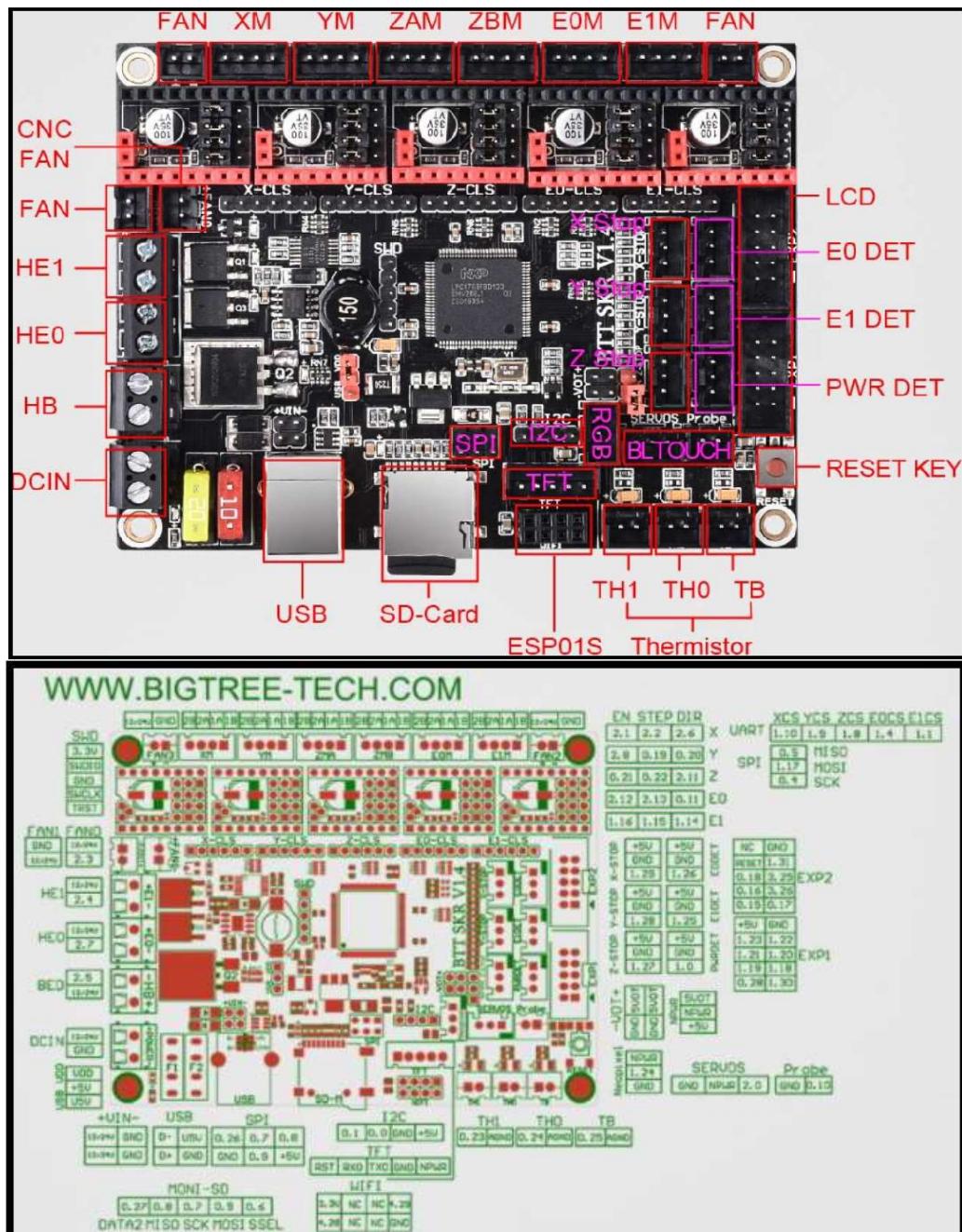


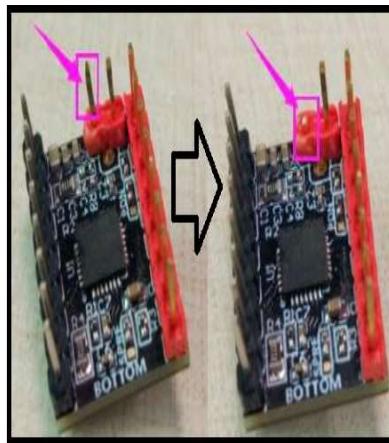
Ilustración A-11: Conexión placa SKR 1.4

Fuente: (Guía de Instalación SKR 1.4 Turbo + 2209 + TFT35 v3 + 3DTouch en Anet A8 Plus, 2020)

- ✓ A continuación, describiremos algunas conexiones que sufren variantes :

Conexión de Drivers TMC 2209: Estos Drivers son los que dotarán del silencio en nuestro proceso de impresión, para ello citaremos dos formas de conexionado:

1. No alterar los EndStop y el modo UART en TMC2209, para ello usar la configuración vía software Modo SPI (Marlin firmware) o desde pantalla LCD de parámetros (voltajes, etc.). Algo importante en este punto es no olvidar recortar la terminal en la regleta de los drivers indicada.



```
#define X_DRIVER_TYPE TMC2209
#define Y_DRIVER_TYPE TMC2209
#define Z_DRIVER_TYPE TMC2209
##define X2_DRIVER_TYPE A4988
##define Y2_DRIVER_TYPE A4988
##define Z2_DRIVER_TYPE A4988
##define Z3_DRIVER_TYPE A4988
##define Z4_DRIVER_TYPE A4988
#define E0_DRIVER_TYPE TMC2209
##define E1_DRIVER_TYPE A4988
##define E2_DRIVER_TYPE A4988
##define E3_DRIVER_TYPE A4988
##define E4_DRIVER_TYPE A4988
##define E5_DRIVER_TYPE A4988
##define E6_DRIVER_TYPE A4988
##define E7_DRIVER_TYPE A4988
```

Ilustración A-12: Conexión Drivers TMC 2209

Fuente: (Guía de Instalación SKR 1.4 Turbo + 2209 + TFT35 v3 + 3D Touch en Anet A8 Plus, 2020)

2. Eliminando los Endstop usando el modo **Stallguard** que dependiendo de la sensibilidad que se configure en el firmware Marlin, adaptaremos el motor para que al detectar un frenando, este pare, similar a la función que hace el endstop; aquí se deberá definir el modo de acción: **Stealthchop** (silencioso) o **SpreadCycle** (fuerza). Algo importante en este punto es no olvidar que los drivers 2208 no soportan esta función.

```
#define SENSORLESS_HOMING
#define X_HOME_BUMP_MM 0
#define Y_HOME_BUMP_MM 0
#define X_STALL_SENSITIVITY 80
#define Y_STALL_SENSITIVITY 150
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING false
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING false
#define STEALTHCHOP_XY
#define STEALTHCHOP_Z
//#define STEALTHCHOP_E
```

- ✓ También podemos configurar en modo **Standalone** (hardware vía jumpers, potenciómetro) en el firmware Marlin. Algo importante en este punto es no olvidar que este modo no implica que solo nos condicione a fijarlo en Standalone, es totalmente compatible con el modo descrito en el primer punto.

```
#define X_DRIVER_TYPE TMC2209_STANDALONE
#define Y_DRIVER_TYPE TMC2209_STANDALONE
#define Z_DRIVER_TYPE TMC2209_STANDALONE
##define X2_DRIVER_TYPE A4988
##define Y2_DRIVER_TYPE A4988
##define Z2_DRIVER_TYPE A4988
##define Z3_DRIVER_TYPE A4988
##define Z4_DRIVER_TYPE A4988
#define E0_DRIVER_TYPE TMC2209_STANDALONE
##define E1_DRIVER_TYPE A4988
##define E2_DRIVER_TYPE A4988
##define E3_DRIVER_TYPE A4988
##define E4_DRIVER_TYPE A4988
##define E5_DRIVER_TYPE A4988
##define E6_DRIVER_TYPE A4988
##define E7_DRIVER_TYPE A4988
```

Conexión de pantalla TFT35 V3: Esta pantalla táctil a color es compatible con el firmware Marlin, es decir, mantiene todas sus prestaciones y para ellos se debe quitar el comentario de la siguiente línea de la base del firmware Marlin ya preconfigurada:

- ✓ El modo `#define REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER` LCD es habilitado a través de las 2 conexiones típicas de serial para 12864, disponibles en los conectores: EXP1 y EXP2.
- ✓ El modo serial pantalla táctil es habilitado vía RS232 al conectarla a la placa SKR 1.4 y soporta dos métodos para impresión de archivos: card SD y USB flash.



Ilustración A-13: Conexión pantalla TFT35 V3

Fuente: (Guía de Instalación SKR 1.4 Turbo + 2209 + TFT35 v3 + 3DTouch en Anet A8 Plus, 2020)

Conexión a una placa Raspberry Pi: Acoplando la placa SKR V1.4 a una placa Raspberry Pi 3 para la ejecución de OctoPrint dotará de nuevas prestaciones también a este modelo 2 para Dispositivo IoT LDM: (BigtreeTech/BIGTREETECH-SKR-V1.3, 2020)

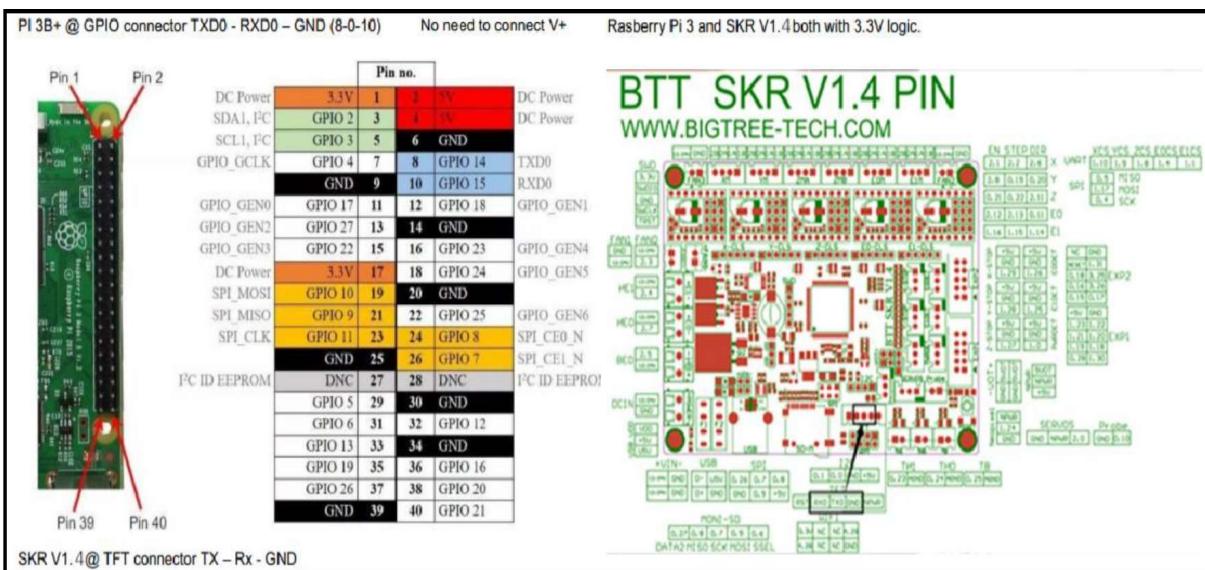


Ilustración A-14: Conexión placa Raspberry Pi

Fuente: (BigtreeTech/BIGTREETECH-SKR-V1.3, 2020)

- ✓ La distribución de pines para el RPI es como sigue:

RPI	SKR 1.4
6 (Ground)	GND (TFT)
7 BCM 14 (TXD)	RXD (TFT)
8 BCM 15 (RXD)	TXD (TFT)

Ilustración A-15: Conexión pines RPI a SKR 1.4

Fuente: (BigtreeTech/BIGTREETECH-SKR-V1.3, 2020)

Acople a kit WASP Clay: Finalmente para finiquitar este último modelo 3 de Dispositivo IoT para soluciones LDM, ya repotenciada nuestra impresora Anet 8 podremos fabricar objetos funcionales de arcilla impresos en 3D acoplando el kit WASP Clay, que es una extrusora para materiales cerámicos que se puede adaptar a la mayoría impresoras 3D del mercado, alcanzando niveles de precisión cercanos al de las extrusoras de polímeros plásticos debido a que combina una extrusora de tornillo y una extrusora de presión para controlar con precisión el flujo de material y simultáneamente aprovechar la retracción para interrumpir la deposición, permitiendo así que el aire fluya hacia arriba para eliminar la formación de burbujas dentro de la mezcla.

Adicional incluye un tanque de 3 [litros] o 5 [litros] de capacidad. En la parte interior del tanque existe un pistón asociado a 2 juntas de 4 barras que ejercen el empuje del material a través del tubo de teflón de diámetro 12 [mm] que alimenta a la extrusora; mientras que en la parte posterior del tanque existe un tapón acoplado a una válvula de seguridad ajustada a 8 [bar].

Instalar el kit WASP Clay es relativamente sencillo, para ello se requiere:

1. Obtener los archivos de origen suministrados por el fabricante.
2. Imprimir la cubierta de soporte.
3. Vincular la extrusora al cable.
4. Fijar el número de pasos por milímetro en el valor de 400.

Todas estas configuraciones son detalladas por los softwares de corte más comunes en el mercado: Slic3r o Cura. (*LDM Wasp Extruder, 2020*)



Ilustración A-16: Componentes KIT LDM Wasp Extruder
Fuente: (*LDM Wasp Extruder, 2020*)

ANEXO 4 Diagrama Gantt → Planificación

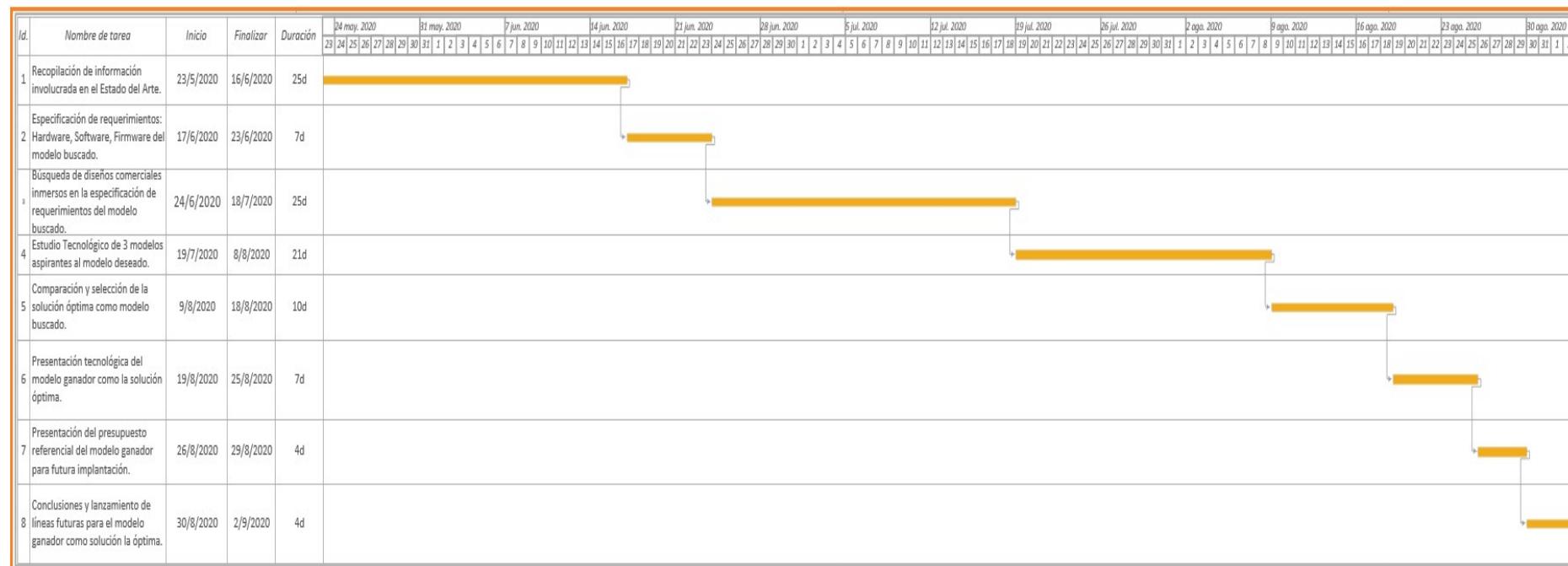


Ilustración A-17: Diagrama Gantt → Planificación

Fuente: Elaboración propia en MS Visio