



UNIVERSIDAD DE IXTLAHUACA CUI, A. C.

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN
TELECOMUNICACIONES, SISTEMAS Y ELECTRÓNICA

INCORPORADA A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Clave 8968-66

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT CARTESIANO
PARA APLICACIONES EN LA IMPRESIÓN 3D
MONITOREADO POR IOT”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES, SISTEMAS Y
ELECTRÓNICA

PRESENTA

JOSÉ ÁNGEL DE LA GARZA MACEDO

ASESOR: M. en C. JORGE EDMUNDO MASTACHE MASTACHE



IXTLAHUACA, MÉXICO. OCTUBRE 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

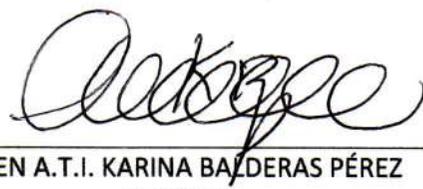
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

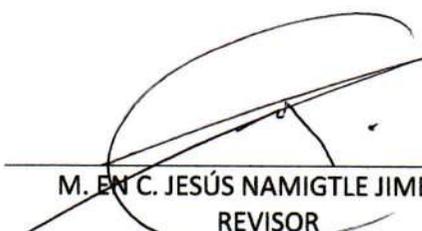
REVISORES



M. EN C. JORGE EDMUNDO MASTACHE
MASTACHE
ASESOR



M. EN A.T.I. KARINA BALDERAS PÉREZ
REVISOR



M. EN C. JESÚS NAMIGTLE JIMÉNEZ
REVISOR



DR. EN C. LUIS ANTONIO MIER QUIROGA
REVISOR



ING. E.M. HUGO ÁNGELES CRUZ
REVISOR

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN.	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.	VII
ÍNDICE DE TABLAS.	XI
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN. ...	1
1.1. Introducción.	2
1.2. Propuesta.	5
1.3. Justificación.	6
1.4. Antecedentes.	6
1.5. Hipótesis.	8
1.6. Objetivos Generales.	8
1.6.1. Objetivos Específicos.	8
1.7. Metodología.	8
2. MARCO TEÓRICO.	11
2.1. Morfología del robot.	12
2.1.1. Estructura Mecánica de un robot.	12
2.1.2. Transmisiones y reductores.	14
2.1.3. Actuadores.	14
2.1.4. Sensores internos.	22
2.1.5. Elementos terminales.	23
2.2. Impresión 3D o Fabricación Aditiva.	24
2.2.1. Sinterizado Láser Selectivo (SLS).	24
2.2.2. Estereolitografía (SLA).	25
2.2.3. Modelado por deposición fundida (FDM).	26
2.2.4. Polyjet.	27
2.2.5. Sinterizado Directo de Metal Láser (DMLS).	28
2.3. Mecánica de una impresora 3D (FDM).	29
2.3.1. Tipos de impresora 3D (FDM).	29
2.3.2. Extrusión del material.	34
2.3.3. Movimiento de los ejes.	37

2.4.	Materiales para la impresión 3D (FDM).....	41
2.4.1.	PLA (Acido Poliláctico).....	42
2.4.2.	ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).	43
2.4.3.	PET (Tereftalato de Polietileno).....	44
2.4.5.	NYLON.....	46
2.4.6.	HIPS (Poliestireno de alto Impacto).....	47
2.4.7.	TPU o TPE.	48
2.4.8.	PVA (Acetato de Polivinilo).	49
2.5.	Problemas de la impresión 3D (FDM).	49
2.5.1.	Warping.....	50
2.5.2.	Delaminación o Cracking.	50
2.5.3.	Desplazamiento de capas o layer shift.	52
2.5.4.	Bamboleo en el eje Z o Z-wobble.	53
2.5.5.	Hilillos o Stringing.....	54
2.5.6.	Sobrecalentamiento o overheating.	55
2.5.7.	Pie de elefante.	56
2.6.	Sistema eléctrico de una impresora 3D.....	56
2.6.1.	Placa controladora.	56
2.6.2.	Pantalla lcd.....	58
2.6.3.	Driver de motores.....	58
2.6.4.	Modulo Mosfet.....	59
2.6.5.	Modulo TL-smoother.	60
2.6.6.	Finales de carrear.	61
2.6.7.	BL-touch.....	61
2.6.8.	Ventiladores.	62
2.6.9.	Cama caliente.	63
2.6.10.	Hot-end.....	64
2.6.11.	Servomotor.....	65
2.6.12.	Modulo relay.....	66
2.6.13.	Fuentes de alimentación.....	67
2.6.14.	Placa IOT.	70
2.7.	Sistema de Control (Firmware).....	71

2.7.1.	Marlín 2.0.	71
2.7.2.	Sistema IOT.	72
2.8.	Fusion 360.	72
2.9.	Visual Studio Code.	73
2.10.	Cura.	74
2.11.	Arduino IDE.	74
2.12.	Blynk.	75
3.	Diseño.....	76
3.1.	Esquema del diseño mecánico.....	77
3.1.1.	Características de componentes mecánicos del robot.....	80
3.1.2.	Cálculo de los parámetros de movimiento de los ejes.	85
3.2.	Diseño eléctrico.	86
3.3.	Firmware y Software.....	90
3.3.1.	Firmware.	91
3.3.2.	Configuración de parámetros en el Software Slicer Cura.	107
3.3.3.	Configuración de la APP Blynk	112
4.	Resultados.....	114
4.1.	Acoplamiento mecánico.....	115
4.2.	Acoplamiento eléctrico.....	120
4.3.	Firmware.....	124
4.4.	Comparativa Robot Cartesiano e Impresora 3D (Anet A8)	128
4.4.1.	Comparaciones Mecánicas.....	128
4.4.3.	Comparaciones en el Firmware	130
4.5.	Casos de uso Robot Cartesiano.....	130
4.5.1.	Caso de uso 1 “Parámetro Temperatura de extrusión”	131
4.5.2.	Caso de uso 2 “Parámetro Ventilación de Capa”	132
4.5.3.	Caso de uso 3 “Parámetro Retracción”	133
4.5.4.	Caso de uso 4 “Parámetro Temperatura de Cama”	134
4.5.5.	Caso de uso 5 “Parámetro Velocidad de Impresión”	135
4.5.6.	Resultado de los casos de uso del Robot cartesiano.....	136
4.6.	Casos de uso Impresora 3D Ante A8	136
4.6.1.	Caso de uso 1 “Parámetro Temperatura de extrusión”	137

4.6.2.	Caso de uso 2 “Parámetro Ventilación de Capa”	138
4.6.3.	Caso de uso 3 “Parámetro Retracción”	139
4.6.4.	Caso de uso 4 “Parámetro Temperatura de la cama”	140
4.6.5.	Caso de uso 5 “Parámetro Velocidad de impresión”	141
4.6.6.	Resultado de los casos de uso de la Anet A8	142
4.7.	Comparativa de los resultados de las dos maquinas.....	144
5.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	146
5.1.	Conclusiones.	147
6.	Anexos.....	148
7.	Referencias.....	160

AGRADECIMIENTO

Agradezco enormemente a mis padres por ser los más importantes patrocinadores y motivadores de mis metas, gracias por darme la confianza para poder lograr esta meta y las que vienen; gracias por hacer el mayor esfuerzo de formarme como una persona con valores y principios, por apoyarme en mis decisiones por más locas y arriesgadas que parezcan, por sus consejos y opiniones que ayudaron a enderezar el camino de mi preparación universitaria. Gracias por el apoyo que me brindaron para culminar mi carrera universitaria, con su respaldo y confianza, lo necesario para no rendirme por más complicado que se tornara la situación. Les dedico el esfuerzo que realice para hacer esta Tesis.

De igual forma agradezco a toda mi familia por el apoyo directamente o indirectamente que me aportaron en este camino universitario, alentándome a no rendirme y terminar de la mejor manera este trabajo de tesis.

Agradezco a mi asesor M. en C. Jorge Edmundo Mastache Mastache que con toda su experiencia, conocimientos y motivación supo orientarme en el desarrollo de este proyecto, por la gran paciencia y tiempo que me tuvo para explicarme y enseñarme que por más complicado que parezca un problema, paso por paso se puede resolver cualquier complicación.

Gracias a todos mis Maestros, amigos y compañeros con los que compartí mi carrera universitaria, por los buenos y malos momentos que nos forjaron para ser mejores personas y profesionistas.

Por último, agradezco a la Universidad de Ixtlahuaca CUI por permitir que muchas personas como yo cumplamos el sueño de terminar una carrera universitaria y a su vez preparándonos como personas con valores y principios.

RESUMEN.

El desarrollo y maquinado de piezas es un sector importante, el cual forman parte del desarrollo en la industria y en particular en cualquier actividad productiva.

En el presente trabajo de tesis se desarrolló y construyó un robot cartesiano, con aplicaciones en la impresión 3D que se ha podido monitorear a distancia con sistema IoT, el cual consiste en un sistema mecánico en donde se muestra el ensamblaje de todos los componentes, el sistema eléctrico el cual muestra todos los componentes electrónicos y su conexión, y el sistema programación en donde se configuraron todos los parámetros y características del robot cartesiano para su correcto funcionamiento, así mismo se muestran las pruebas a las que fue sometido el robot con fines de observar el desempeño de la máquina.

De igual forma se desarrolló e implemento un sistema IoT de monitoreo a distancia, conformado por placas de programación como el ESP32-cam, el esp01, módulo relay y arreglo de servomotores.

ÍNDICE DE FIGURAS.

Fig. 1 Instalaciones anuales de robots industriales 2015-2020.....	2
Fig. 2 Densidad de robots en la industria manufacturera 2020.....	3
Fig. 3 Experiencia de Impresión 3D por país 2019 (porcentaje).....	4
Fig. 4 Experiencia de impresión 3D por industria 2019 (porcentaje).....	5
Fig. 5 Los seis pares inferiores de Reuleaux.....	13
Fig. 6 Configuraciones más frecuentes en robots industriales.....	13
Fig. 7 Esquema de cilindro neumático de doble efecto.....	15
Fig. 8 Motor de paletas.....	15
Fig. 9 Cilindros Hidráulicos de efecto doble.....	16
Fig. 10 Bomba de paletas.....	16
Fig. 11 Partes de un motor eléctrico.....	17
Fig. 12 Motor de Corriente Alterna.....	18
Fig. 13 Partes de motor a pasos.....	19
Fig. 14 El principio de funcionamiento del motor en modo de medio paso con suministro de 2 fases.....	19
Fig. 15 Motor bipolar y el método de conectar sus devanados.....	20
Fig. 16 Pinza de robot.....	24
Fig. 17 Sinterizado Láser Selectivo.....	25
Fig. 18 Sinterizado Láser.....	25
Fig. 19 Estereolitografía.....	26
Fig. 20 Resina 3D.....	26
Fig. 21 Modelado por deposición fundida.....	27
Fig. 22 Impresión 3D.....	27
Fig. 23 Polyjet.....	28
Fig. 24 Sinterizado Directo de Metal Láser.....	28
Fig. 25 Metal 3D.....	29
Fig. 26 Impresora 3D.....	30
Fig. 27 Impresoras 3D tipo delta.....	31
Fig. 28 Impresora Core xy.....	32
Fig. 29 Estructura 3D.....	32
Fig. 30 Impresoras 3D Polares.....	33
Fig. 31 Impresoras 3D con Brazos robóticos.....	34
Fig. 32 Partes del fuso.....	35
Fig. 33 Extrusor mk8.....	36
Fig. 34 Extrusor directo.....	36
Fig. 35 Extrusor Bowden.....	37
Fig. 36 Transmisión por banda de sincronización.....	38
Fig. 37 Motor CC husillo.....	38
Fig. 38 Extrusor y eje X.....	39
Fig. 39 Eje Y. Fuente propia.....	40
Fig. 40 Eje Z. Fuente propia.....	41

Fig. 41 Figuras Impresas 3D	42
Fig. 42 Mecanismo de engranes	43
Fig. 43 Plástico Pet.....	44
Fig. 44 Petg	45
Fig. 45 Engranes de nylon.....	46
Fig. 46 Soporte de hips.....	47
Fig. 47 Tenis de tpu.....	48
Fig. 48 Soporte de pva.....	49
Fig. 49 Warping.....	50
Fig. 50 Cracking.....	51
Fig. 51 Layer shift	53
Fig. 52 Z-wobble	54
Fig. 53 Hilillos	55
Fig. 54 Sobrecalentamiento.....	55
Fig. 55 Pie de elefante	56
Fig. 56 bigtreetech skr v1.3	57
Fig. 57 Bigtreetech TFT24-V1.1.....	58
Fig. 58 Driver TMC2208.....	59
Fig. 59 Mosfet.....	59
Fig. 60 Mosfet HA210NO6	60
Fig. 61 TL-smoother	61
Fig. 62 End-stop.....	61
Fig. 63 BL-touch.....	62
Fig. 64 Ventilador	63
Fig. 65 Hot-bed	63
Fig. 66 Termistor.....	64
Fig. 67 Resistencia térmica	65
Fig. 68 Termistor.....	65
Fig. 69 Diagrama de Bloque del Servomotor	66
Fig. 70 Modulo Relay 3V.....	67
Fig. 71 Transformador. Fuente propia.	67
Fig. 72 Señal rectificada de media onda. Fuente propia.....	68
Fig. 73 Rectificación de onda completa. Fuente propia.	68
Fig. 74 Filtro de capacitor. Fuente propia.....	68
Fig. 75 Regulador de voltaje. Fuente propia.....	69
Fig. 76 Fuentes conmutadas. Fuente propia.	69
Fig. 77 ESP32-CAM	70
Fig. 78 ESP8266.....	70
Fig. 79 Marlín.....	72
Fig. 80 Fusion 360	73
Fig. 81 Visual Studio Code	73
Fig. 82 Cura.....	74
Fig. 83 Arduino.....	75
Fig. 84 Blynk.....	75

Fig. 85 Componentes mecánicos	77
Fig. 86 Componentes eje X. Fuente propia.	79
Fig. 87 Extrusor. Fuente propia.	79
Fig. 88 Extrusor otor ángulo. Fuente propia.....	79
Fig. 89 Perfiles V-slot	81
Fig. 90 Propiedades PLA.....	82
Fig. 91 Husillo 8mm.....	83
Fig. 92 Correa GT2.....	84
Fig. 93 BMG	84
Fig. 94 Circuito principal. Fuente propia.	87
Fig. 95 Circuito de driver y motores. Fuente propia.	88
Fig. 96 Circuito de la pantalla. Fuente propia.	89
Fig. 97 Circuito IOT. Fuente propia.	90
Fig. 98 Diagrama de flujo principal. Fuente propia.	91
Fig. 99 Configuración del pic. Fuente propia.	91
Fig. 100 Configuración de la comunicación. Fuente propia.	92
Fig. 101 Placa de control. Fuente propia.....	92
Fig. 102 No. Extrusor. Fuente Propia.	92
Fig. 103 Termistores. Fuente propia.	93
Fig. 104 Temperaturas. Fuente propia.	93
Fig. 105 Temperaturas de protección. Fuente propia.....	94
Fig. 106 Temperatura máxima de seguridad. Fuente propia.....	94
Fig. 107 PID. Fuente propia.	95
Fig. 108 Configuración PID. Fuente propia.	95
Fig. 109 Configuración PID bed. Fuente propia.	96
Fig. 110 Protecciones térmicas. Fuente propia.	96
Fig. 111 Tipo de impresora. Fuente propia.	96
Fig. 112 Configuración end-stop. Fuente propia.	97
Fig. 113 Tipo de driver. Fuente propia.....	97
Fig. 114 Steps. Fuente propia.....	97
Fig. 115 Velocidad máxima. Fuente propia.....	98
Fig. 116 Dimensiones de la cama. Fuente propia.....	99
Fig. 117 Idioma en la pantalla. Fuente propia.	99
Fig. 118 Controladores para la pantalla. Fuente propia.	99
Fig. 119 Configuración de protecciones. Fuente propia.....	99
Fig. 120 Configuración de protecciones bed. Fuente propia.	100
Fig. 121 Compilación del código. Fuente propia.	100
Fig. 122 Menú principal. Fuente Propia.....	101
Fig. 123 Submenú. Fuente Propia.	102
Fig. 124 Temperatura del hot-end. Fuente propia.....	103
Fig. 125 Temperatura de hot-bed. Fuente propia.	103
Fig. 126 Ventilación. Fuente propia.....	104
Fig. 127 Flujo d filamento. Fuente propia.	104
Fig. 128 Impresión. Fuente propia.	105

Fig. 129	Proceso de impresión. Fuente propia.....	106
Fig. 130	ESP32-CAM. Fuente propia.	106
Fig. 131	ESP01. Fuente propia.	107
Fig. 132	Capas.....	107
Fig. 133	Altura de capa. Fuente propia.	108
Fig. 134	Grosor de paredes. Fuente propia.	108
Fig. 135	Relleno. Fuente propia.	109
Fig. 136	Patrón de relleno. Fuente propia.....	109
Fig. 137	Velocidad de impresión. Fuente propia.....	110
Fig. 138	Salto en Z.	111
Fig. 139	Refrigeración. Fuente propia.	111
Fig. 140	Soportes. Fuente propia.	112
Fig. 141	Adherencia. Fuente propia.....	112
Fig. 142	Blynk. Fuente propia.	113
Fig. 143	Ángulo. Fuente propia.	115
Fig. 144	Ángulo trasero. Fuente propia.	115
Fig. 145	Ángulo de en medio. Fuente propia.....	116
Fig. 146	Soporte. Fuente propia.	116
Fig. 147	Ángulo de arriba. Fuente propia.	116
Fig. 148	Chasis. Fuente propia.....	117
Fig. 149	Ejes. Fuente propia.	118
Fig. 150	Montaje de cama y extrusor. Fuente propia.	118
Fig. 151	Componentes eléctricos. Fuente propia.....	119
Fig. 152	Lcd. Fuente propia.	119
Fig. 153	Montaje del sistema eléctrico. Fuente propia.	120
Fig. 154	Sistema IoT. Fuente propia.....	120
Fig. 155	Prueba del lcd. Fuente propia.....	121
Fig. 156	Motores a pasos. Fuente propia.....	121
Fig. 157	Prueba de motores. Fuente propia.	122
Fig. 158	Prueba de extrusión. Fuente propia.....	122
Fig. 159	Prueba de ventiladores. Fuente propia.	123
Fig. 160	Prueba de hot-bed. Fuente propia.	123
Fig. 161	Circuito IoT. Fuente propia.....	124
Fig. 162	Menú principal. Fuente propia.	124
Fig. 163	Submenú. Fuente propia.	125
Fig. 164	Menú de calefacción. Fuente propia.....	125
Fig. 165	Menú de movimiento. Fuente propia.	126
Fig. 166	Terminal Gcode. Fuente propia.....	126
Fig. 167	Menú de parámetros. Fuente propia.....	127
Fig. 168	Panel de control. Fuente propia.	127
Fig. 169	Test temperatura PLA. Fuente propia.	131
Fig. 170	Test temperatura ABS. Fuente propia.....	132
Fig. 171	Test ventilación PLA, Fuente propia.	132
Fig. 172	Test ventilación ABS. Fuente propia.	133

Fig. 173 Test retracción PLA. Fuente propia.	133
Fig. 174 Test retracción ABS. Fuente propia.	134
Fig. 175 Temperatura cama PLA. Fuente propia.	134
Fig. 176 Temperatura cama ABS. Fuente propia.	134
Fig. 177 Test velocidad PLA. Fuente propia.	135
Fig. 178 Test velocidad ABS. Fuente propia.	135
Fig. 179 Test temperatura PLA A8. Fuente propia.	138
Fig. 180 Test temperatura ABS A8. Fuente propia.	138
Fig. 181 Test ventilación PLA A8. Fuente propia.	139
Fig. 182 Test ventilación ABS A8. Fuente propia.	139
Fig. 183 Test retracción PLA A8. Fuente propia.	140
Fig. 184 Test retracción ABS A8. Fuente propia.	140
Fig. 185 Temperatura cama PLA A8. Fuente propia.	141
Fig. 186 Temperatura ABS A8. Fuente propia.	141
Fig. 187 Test velocidad PLA A8. Fuente propia.	142
Fig. 188 Test velocidad ABS A8. Fuente propia.	142

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Secuencia norma.	20
Tabla 2 Secuencia wave drive.	21
Tabla 3 Secuencia de medio paso.	22
Tabla 4 Características motor nema 17.	82
Tabla 5 Correa GT2.	83
Tabla 6 BMG.	84
Tabla 7 Engrane GT2.	85
Tabla 8 Materiales de impresión.	110
Tabla 9 Características mecánicas.	128
Tabla 10 Características eléctricas.	129
Tabla 11 Características del Firmware.	130
Tabla 12 Casos de uso robot cartesiano.	136
Tabla 13 Casos de uso A8.	143
Tabla 14 Comparaciones casos de uso.	144

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN.

Se expone un análisis sobre el contexto del uso de robots en todo el sector industrial; los índices de robots por cada cierto número de empleados, como ha crecido el uso de estos desde el 2015 hasta el 2021 en los diferentes continentes, y particularmente como se desempeñan los robots cartesianos en la industria.

De la misma manera, dentro del uso de los robots cartesianos, se expone el acoplamiento de la impresión 3D en estas máquinas y toda la estadística del uso de esta tecnología en todo tipo sector industrial como lo es la aeroespacial, automotriz, etc. Denotando que sectores ya tenían conocimientos, las que ya aplicaban esta tecnología y las que están dispuestas a emigrar a este prototipado de piezas.

Por lo que en este capítulo se propone el desarrollo y construcción de un robot cartesiano con aplicaciones en la impresión 3D monitoreado por IoT, tomando en cuenta todos los sistemas necesarios para su construcción, esta propuesta fomentó el uso de la tecnología 3D con el propósito de hacer del conocimiento a más personas de esta tecnología, disminuir tiempo de maquinado de piezas, y todo el potencial para el uso de esos robots capaces de materializar piezas en plástico.

1.1. Introducción.

En la actualidad, las grandes y fuertes industrias, que tienen las ganas de ser competitivas y seguir siendo vigentes en un mercado que se caracteriza por ser cambiante y flexible, han tenido que tomar diferentes decisiones y acciones en lo que se refiere a sus procesos de producción; implementando de manera organizada, la mayoría de todos sus sistemas de producción, invirtiendo en maquinaria automatizada capaz de realizar la manufactura necesaria en la producción.

Se ha observado que la implementación de robots industriales en el sector industrial, ha podido dar a la producción una enorme mejora en relación de calidad, mayor productividad, una considerable reducción de costos, y una mejor gestión de la información de todas las líneas de producción. El uso de robots en fábricas de todo el mundo está creciendo a un ritmo exponencial, la Federación Internacional de Robótica (IFR) reporta que se registran alrededor de 126 robots por cada 10,000 empleados, de acuerdo al informe mundial de robots del 2021, esto habla que creció un 91% respecto al 2015, ya que se registraron 66 unidades por cada 10,000 empleados. En el año 2021 se registró un incremento del 13% en la instalación de nuevos robots a nivel mundial, que fue de 435,000, respecto al año 2020 que fue de 384,000 unidades instaladas (véase Fig. 1) [1].

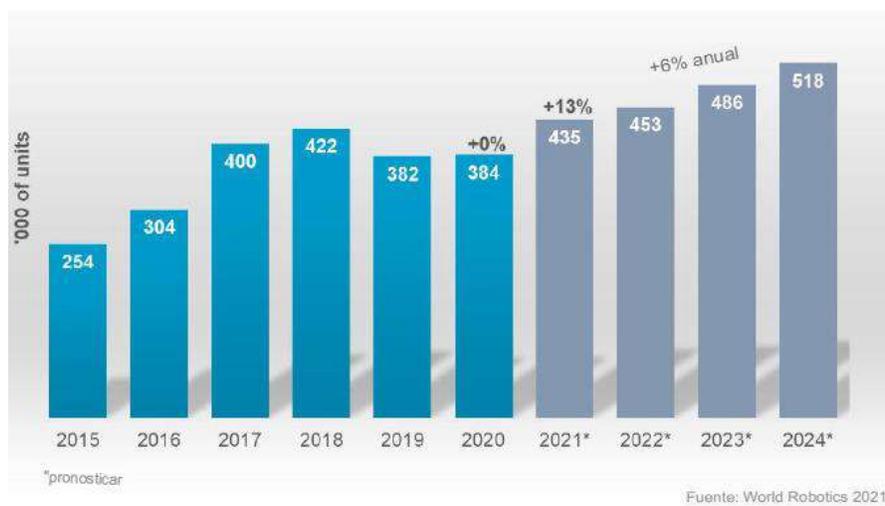


Fig. 1 Instalaciones anuales de robots industriales 2015-2020 y 2021*-2024*(porcentaje)
Fuente: IFR, (2021).

La densidad de robots promedio en Asia se estima que es de 134 unidades, Europa 123 unidades y en América un promedio de 111 unidades por cada 10,000 empleados, tomando en cuenta que los países que cuentan con más

automatización en el mundo son Corea del sur, Singapur, Japón, Alemania, y Suecia como se muestra en la Fig. 2.

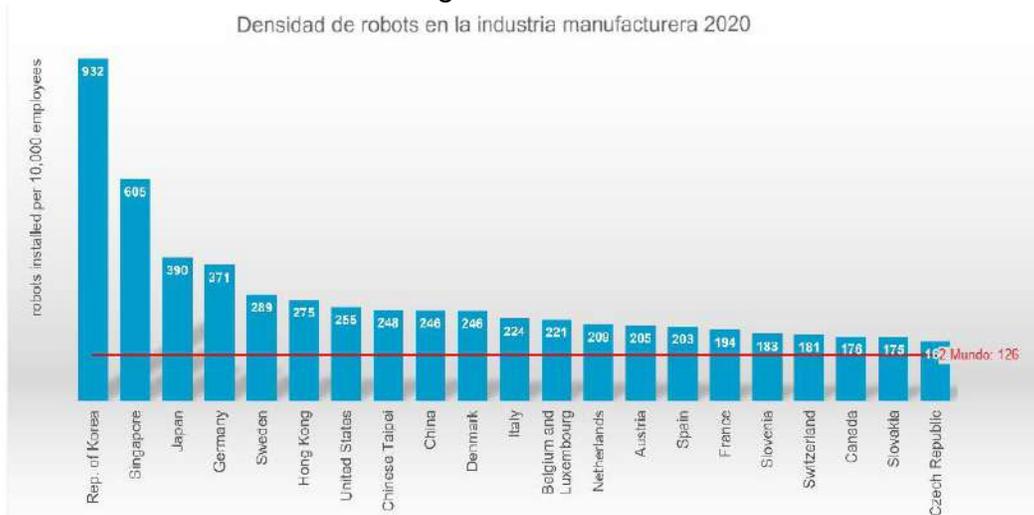


Fig. 2 Densidad de robots en la industria manufacturera 2020. Fuente: IFR, (2021).

Los robots cartesianos, son una de las principales máquinas más utilizadas en la manufactura, derivado de sus infinitas aplicaciones y procesos, estos equipos son ampliamente utilizados en líneas de producción, tales como ensamblado de diversos componentes, atornillado de piezas, aplicación de silicones, selladores y adhesivos, también en soldadura de componentes, grúas para acomodar lotes, fresadora de materiales y en la impresión 3D, dependiendo de todas estas tareas que son capaces de realizar los robots cartesianos, estos se subdividen en industriales y de sobremesa, los robots de sobremesa son los ideales para montar en una mesa y realizar trabajos mediante de uso cotidiano.

Haciendo énfasis en la impresión 3D, es un área que aún no está muy explorada, pero que poco a poco va creciendo y demostrando que es una herramienta indispensable, e importante en el desarrollo de piezas con distintos propósitos, esta tecnología te permite abaratar costos de manufactura, con una gama de materiales distintos de acuerdo al uso al que se le vaya a dar a la pieza. Esta tecnología permite crear objetos tan comunes como soportes y fundas para celulares, juguetes, herramientas, decoraciones y también hasta piezas que requieren una manufactura más refinada, maquetas arquitectónicas, autopartes, prótesis médicas, y refacciones de todo tipo.

Según el Global Printing Report 2019, registro que en el año 2016 el 24% de las industrias tenían experiencia en la parte de impresión 3D, este análisis engloba a empresas que estaban empezando a incorporar estos sistemas o estaban experimentando esta tecnología, ya para el año 2019 el porcentaje de

empresas que incorporaron la impresión 3D, se incrementó hasta un 65% (véase Fig. 3) [2].

Experiencia de tecnologías AM por país 2019 (%)

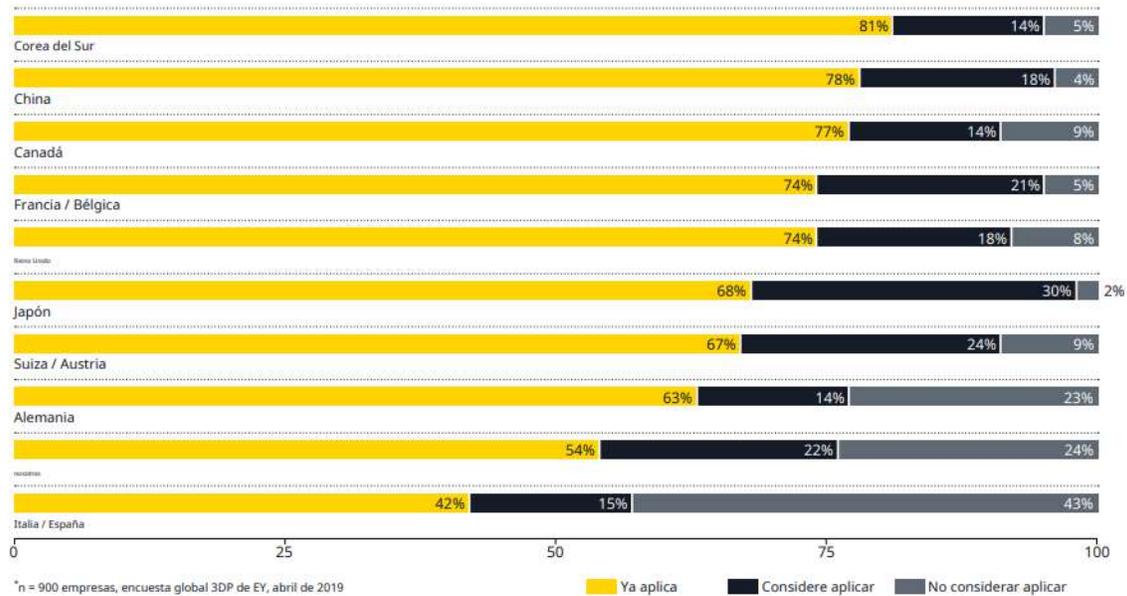


Fig. 3 Experiencia de Impresión 3D por país 2019 (porcentaje) Fuente: A Global EY Report (2019).

Este crecimiento acelerado de las tecnologías 3D, se ha convertido en una necesidad tanto en las industrias como en el uso personal. A continuación, se muestra en la Fig.4 que uno de los sectores que más ha optado por el uso de estos robots, es la Aeroespacial (78%), seguido de los bienes de consumo y envasados (76%) hasta la parte automotriz con un 55%, de esta manera podemos observar que la impresión en 3D no solo es aplicable en un solo sector, sino que abarca diferentes; y gracias a esto, los procesos de manufactura llegan a alcanzar niveles de producción y automatización competitivos para cualquier industria.

Experiencia de tecnologías AM por industria 2019 (%)*

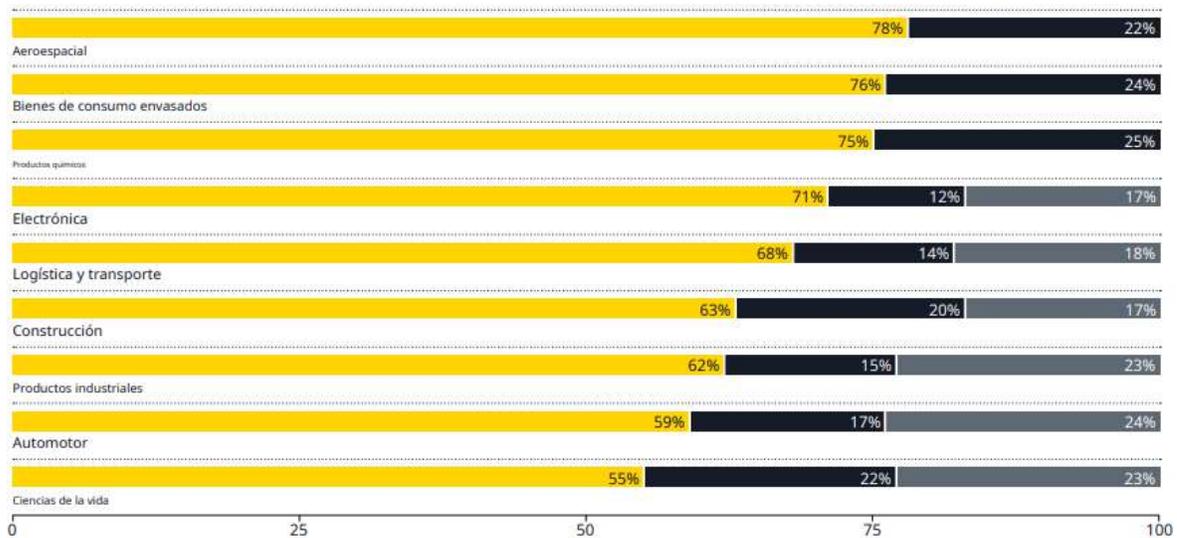


Fig. 4 Experiencia de impresión 3D por industria 2019 (porcentaje) Fuente: A Global EY Report, (2019).

El uso de este tipo de maquinaria debería de poder estar al alcance de cualquier persona, en el ámbito industrial como en el uso doméstico, ya que es una tecnología que tiene un prometedor futuro en un sinfín de sectores, con la capacidad de adaptarse a las exigencias del mercado, y que cualquier persona pueda fabricar todo tipo de piezas personalizadas y sobre todo sin los costosos moldes o algún otro tipo de maquinado.

1.2. Propuesta.

Se pretende desarrollar un robot cartesiano implementado en impresión 3D, acoplándolo a una interfaz IoT, capaz de poder imprimir piezas de plástico previamente trazadas en software, en donde sus fases de desarrollo y diseño estarán enfocadas en la construcción de cada sistema indispensable para su funcionamiento, sistema mecánico, sistema eléctrico, configuración del firmware que controlara a la máquina, rectificación de su funcionamiento mecánico, eléctrico y calefacción, desarrollo de interfase IoT que pretende poder monitorear a distancia. A través de todas estas etapas de desarrollo se aspira a poder tener un robot cartesiano, capaz de crear objetos sólidos tridimensionales por medio de la adición de material a partir de un diseño creado por software en piezas personalizadas con un propósito casero.

Los sistemas IoT son una nueva tecnología que está tomando importancia en cualquier tipo de sector, permite estar monitoreando todo ejemplar de aparatos electrónicos, como son refrigeradores, lavadoras, sistemas de seguridad, sistema eléctrico y alumbrado de cualquier infraestructura, de esta forma se puede juntar información sobre todo el entorno físico, con el propósito de

automatizar y optimizar procesos, por lo cual tener cualquier ejemplar de máquina conectada a internet permite tener el control de estas actividades.

Las impresoras 3D son máquinas que por lo general sus procesos ocupan algo de tiempo, lo cual hace muy complicado su manipulación y monitoreo, al implementar un sistema IoT en una máquina la cual consume considerable tiempo de supervisión, permitiría recopilar información a través de un panel de control en un dispositivo inteligente y de esta forma poder optimizar tiempos manipulando la máquina mediante una interfaz IoT.

1.3. Justificación.

El presente trabajo servirá como base para futuros proyectos, relacionados en el área de ingeniería, con el fin de que las personas que estén a cargo del robot puedan aprender a modelar piezas a través de software, y conocer el funcionamiento del robot.

Se utilizarán distintas herramientas para el desarrollo de este proyecto, como Fusion 360, con el propósito de dimensionar y analizar la estructura del robot cartesiano, posteriormente se utilizará Visual Studio Code, para poder visualizar, configurar y compilar el firmware que controlara todo el comportamiento del robot, se ocuparán módulos para el filtrado tanto en el sistema eléctrico y de señales para el buen funcionamiento de la cinemática del robot cartesiano.

De la misma forma, poder implementar en escuelas y universidades este tipo de tecnologías, con el fin de que los alumnos aprendan a modelar piezas y a aplicar esta tecnología en proyectos escolares, talleres de robótica, mecánica, sobre todo a nivel universitario, como en ingenierías, arquitectura, medicina, implementando un modelo de aprendizaje dinámico para el desarrollo de la capacidad de resolución y análisis de problemas enfocado a estudiantes.

Este prototipo funcional, es el punto de partida para más investigaciones sobre impresión 3D, en la implementación de distintos materiales o distintos usos de un robot cartesiano relacionadas con la manipulación, la automatización, el control y sobre todo la optimización de este prototipo.

1.4. Antecedentes.

Los robots cartesianos desarrollan actividades sustanciales en cualquier tipo de industria, estos robots permiten acelerar procesos industriales, en el año de 1930 Bill Taylor creó un robot cartesiano con forma de grúa, encargado de mover y organizar objetos bien conocido como (pick and place).

Este tipo de robots, por su estructura permite desarrollar distintas tareas dependiendo del tamaño y la tarea para la que el robot cartesiano se haya construido, en el año de 1982 IBM implemento un robot de montaje industrial RS-1 compuesto por 3 dispositivos de deslizamiento.

Este tipo de máquinas tienen muchas formas de utilizarse, de acuerdo a la herramienta que tenga como elemento terminal, como una pinza, soldador, taladro, láser, etc. En los años 1994 se adopta la estructura de los robots cartesianos para las máquinas CNC, estos robots son mucho más pequeños con el fin de generar piezas tallando o grabando madera, plásticos y un sinfín de materiales.

La implementación de impresoras 3D, facilita la manufactura de piezas para la industria que consiste en poner capas de material una en cima de otra hasta formar un objeto, en 1984 la empresa 3D-System ocupa esta técnica, en donde se fabrican capas con resina líquida que se endurecen con la exposición a luz ultravioleta, conectada capa con capa sin la necesidad de ningún ensamblaje, la primera impresora 3D comercial, SLA-1[3].

Los robots cartesianos, se emplean en las impresoras 3D (FDM), que consisten en construir figuras capa por capa permitiendo materializar objetos o piezas, pero tomando como materia prima el plástico, en el año 2004 el doctor Adrián Bowyer desarrollo el proyecto RepRap abreviatura de Replicating Rapid-prototyper, la cual se le conoce como la primera impresora 3D (FDM) y fue capaz de autorreplicar sus mismas piezas en plástico para construir más impresoras, este proyecto registro que una impresora RepRap, puede replicar un 70% de sus propias piezas, sin tomar en cuenta tuercas y tornillos, gracias a que este proyecto es de código abierto ha permitido mejorar este tipo de máquinas[4].

Las impresoras 3D, requieren de un área o base en donde se puede depositar el plástico por capas a través del movimiento del robot cartesiano, pero es esencial que esta base tenga la capacidad de calentarse, con el fin de que el plástico depositado en esta base no se deforme por los fuertes cambios de temperatura. En el 2010 Josef Prusa, con la necesidad de crear sus propias piezas, tomo como base el proyecto RepRap y el modelo Mendel, rediseño el modelo e implemento la cama caliente por primera vez, posteriormente en el año 2012 aplico una interfaz de control y visual, con el fin de poder controlar estas máquinas, sin la necesidad de estar conectadas a una computadora.

El monitoreo de los robots, es importante debido a que los procesos para los que se crearon, son importantes en la industria, el IoT nace de la necesidad de poder recolectar información, del entorno de trabajo de aparatos electrónicos y a su vez poder visualizar esa información en la nube. Para el año 2005, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), da a conocer el primer estudio IoT *“Una nueva dimensión se ha agregado al mundo de las tecnologías de*

información y la comunicación (TIC): a cualquier hora, en cualquier lugar, ahora vamos a tener conectividad para cualquier cosa. Las conexiones se multiplican y crearán una nueva red dinámica de redes con redes, una Internet de las Cosas” [5].

El prototipo propuesto para este proyecto de tesis, está coordinado con los trabajos anteriores en el principio fundamental de los robots cartesianos, aplicados a la impresión 3D monitoreados a través de un sistema IoT.

1.5. Hipótesis.

Se podrá implementar un robot cartesiano como prototipo y ser monitoreado con IoT, para aplicaciones de impresión 3D.

1.6. Objetivos Generales.

Diseñar e implementar un robot cartesiano controlado con IoT, para aplicaciones de impresión 3D

1.6.1. Objetivos Específicos.

- Diseñar y construir la estructura del robot cartesiano.
- Montar sistema eléctrico y de control de la máquina.
- Configurar el firmware que controla al robot.
- Analizar y probar la mecánica del robot.
- Montar, probar el sistema de calefacción de la máquina, y realizar pruebas de impresión.
- Desarrollo de sistema IoT, para monitorear al robot.

1.7. Metodología.

El proyecto del robot cartesiano aplicado a la impresión 3D monitoreado por IoT, se compone de seis etapas de construcción y desarrollo que son las siguientes:

- Etapa 1 (Estructura del robot cartesiano): Se desarrollará y construirá la estructura mecánica del robot cartesiano, utilizando perfil de aluminio ranurado de 20x20 mm como el marco del robot, se usarán soportes de ángulos impresos en 3D para unir la estructura del chasis. En la estructura que se utilizara para el eje X, se ocuparan dos ejes ópticos para darle rigidez al eje y a su vez un motor nema 17 acoplados a una

correa dentada, para transmitir el movimiento al extrusor, en el eje Y de igual forma, se utilizarán dos ejes ópticos cromados y una correa dentada para otorgarle el movimiento a la cama caliente, y en el eje Z se emplearán dos ejes ópticos y dos motores nema 17 de cada extremo del eje X, cada motor se juntará a una varilla roscada, a través de un acople flexible de aluminio, que contará con una tuerca trapezoidal que se encargará de darle la altura al eje X, en el extrusor se acoplará un motor nema 17 a una caja de engranes BMG, que a su vez se unirá con el nozzle en donde el plástico se derretirá.

- Etapa 2 (Sistema eléctrico y de control de la máquina): Se instalará el sistema eléctrico y de control del robot cartesiano, a un costado de la estructura metálica se instalará la placa que controla a todo el robot, se usará la placa BIGTREETECH SKR V1.3, esta tarjeta funciona con un microcontrolador LPC1768, en esta tarjeta se le acoplarán distintos módulos en sus periféricos como son dos módulos MOSFET 210A, dos módulos TL-smoother que se conectarán a los motores de los ejes X y Y, un módulo paralelo que duplicará la señal a los dos motores del eje Z, se instalará una resistencia cerámica de 12v, una cama caliente que se conectará a las salidas de los Mosfet, y dos termistores 100k que medirán la temperatura de la cama como del nozzle que se conectarán a la placa, se enchufarán cinco motores paso a paso, además se instalarán tres switches o finales de carrera, uno en cada eje de movimiento, así mismo una pantalla lcd TFT24 V1.1. touch, y se destinará una fuente ATX de 12v a 20A.
- Etapa 3 (Firmware de control): Configuración del firmware para el funcionamiento del robot, se utilizará el firmware Marlin 2.0 tanto para la placa como para la pantalla lcd, se configurará la relación de pasos que deben tener los motores para mover los ejes, la distancia exacta, a su vez se configurará el tamaño de la cama caliente que se va a utilizar, el tipo de termistor, el tipo de control para la calefacción de la máquina, las temperaturas que se utilizarán, sistemas de protección, los finales de carrera, el sistema de ventilación, el tipo de fuente que se va a utilizar, el idioma que aparecerá en la pantalla lcd, corrientes de los motores y todo esto para el correcto funcionamiento del robot.
- Etapa 4 (Mecánica del robot): Testear el funcionamiento de la mecánica del robot, se ensayará el movimiento de todos los ejes del robot, así mismo que los movimientos, los motores que cuenten con el desplazamiento preciso y que no tengan un sobrecalentamiento y problemas mecánicos, a su vez se comprobará que los finales de carrera

estén funcionando adecuadamente y que la placa los reconozca, se probará el funcionamiento de la pantalla lcd.

- Etapa 5 (Sistema de calefacción y pruebas de impresión): Se montará y testeará el sistema de control de las temperaturas del nozzle y la cama caliente, además se realizarán pruebas de extrusión para ver que el sistema no tenga atascos ni fugas de plástico, se calibrará el nivel de la cama caliente respecto a la punta del extrusor, y se realizarán las primeras pruebas de impresión.
- Etapa 6 (Sistema IoT): Se desarrollará y montará un sistema IoT, para el monitoreo del robot a distancia, se utilizará una placa ESP32-cam para mostrar la imagen del robot, dos servomotores sg90 que moverán a la cámara para tener una vista más amplia del entorno, un módulo relay para el encendido y apagado del robot, que serán controlados por un módulo ESP8266-01, esto para poder monitorear en tiempo real el funcionamiento de la máquina.

2. MARCO TEÓRICO.

En este capítulo, se abordarán los fundamentos teóricos sobre robótica, máquinas eléctricas, tipo de impresoras 3D de acuerdo al material, a su tipo de configuración mecánica, tipo de materiales de impresión (FDM), problemáticas de la impresión (FDM), transformación de energía, componentes electrónicos, programación del robot y sistema IoT, que son nuestro soporte para el planteamiento del problema.

De la misma manera, el marco teórico, permite el entendimiento de los resultados obtenidos.

2.1. Morfología del robot.

Los robots están compuestos por distintas secciones, que son las encargadas de proporcionarle la capacidad física a la máquina para poder funcionar adecuadamente [6]:

1. Estructura Mecánica
2. Transmisiones y reductores
3. Actuadores
4. Elementos terminales

2.1.1.Estructura Mecánica de un robot.

Los robots están constituidos por una serie de eslabones unidos entre sí por unas articulaciones, la cual permite darle cierto grado de libertad a al robot de acuerdo a la aplicación para la cual fue desarrollado, por lo general la mayoría de robots industriales adoptan un cierto parecido a la anatomía de un brazo humano, por tanto, se les llega a conocer a los distintos elementos que constituyen a los robots como cuerpo, brazo, codo y muñeca [6].

2.1.1.1. Articulaciones.

Las articulaciones son las uniones que se encuentran entre los eslabones, sin este tipo de conexiones, el movimiento sería imposible en la estructura del robot, las articulaciones cuentan con un número de grados de libertad, que son las responsables de los grados de libertad que puede tener un robot (véase Fig.5).

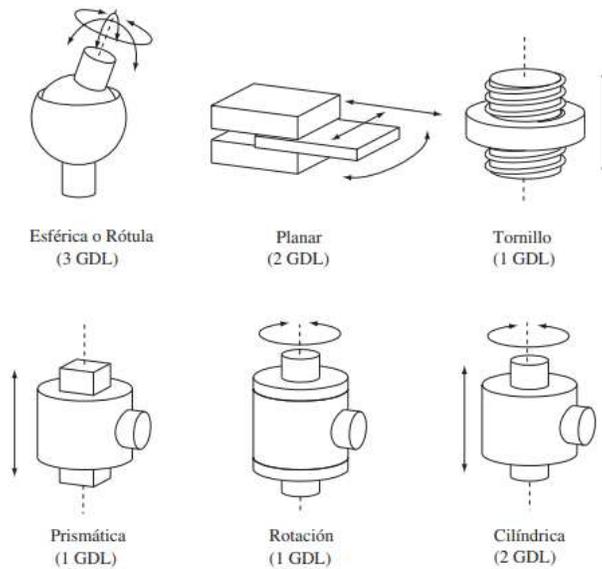


Fig. 5 Los seis pares inferiores de Reuleaux. Fuente: Fundamentos de robótica. (2007).

2.1.1.2. Configuraciones de robots.

El implemento de diferentes mezclas de las articulaciones de un robot da como resultados distintas configuraciones, con diferentes características a tomar en cuenta de acuerdo al uso o aplicación que sea destinado el robot (véase Fig.6) [6].

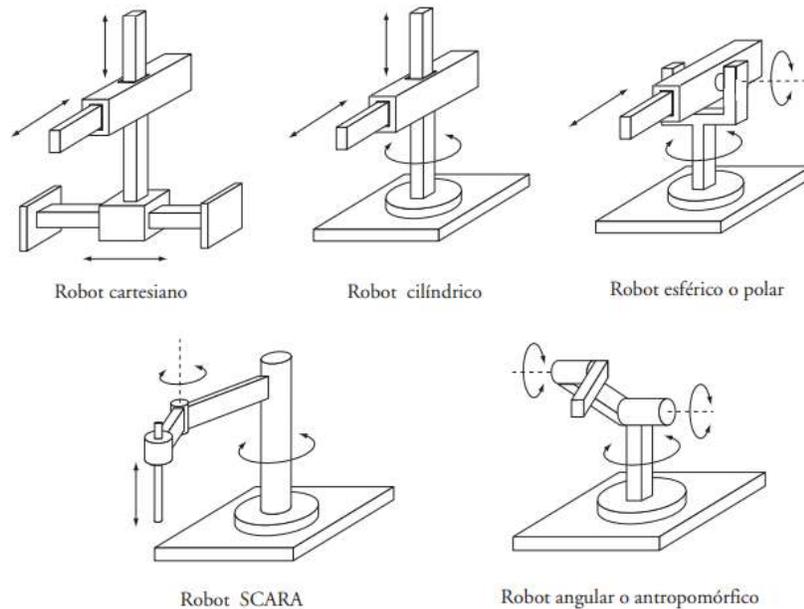


Fig. 6 Configuraciones más frecuentes en robots industriales. Fuente: Fundamentos de robótica. (2007).

2.1.2. Transmisiones y reductores.

Las transmisiones, son los componentes que tienen como tarea transmitir el movimiento que proviene de los actuadores hasta las articulaciones, que a su vez se le adjuntan los reductores que son los encargados de ajustar el par y la velocidad que entregan los actuadores para un buen movimiento del robot [6].

2.1.2.1. Transmisiones.

Existen distintos tipos de transmisiones, que se utilizan para transformar el movimiento circular a lineal y viceversa, las características de estos sistemas deben de tener un peso y tamaño reducido, y sobre todo que no presenten juegos u holguras en el movimiento, existen diferentes tipos de transmisiones de acuerdo al movimiento que se necesite realizar y son:

- Circular-circular
- Circular -lineal
- Lineal-circular

2.1.2.2. Reductores.

Como su nombre lo indica, son componentes mecánicos encargados de disminuir la velocidad, y a su vez elevar el par que genera el actuador, este tipo de componentes tienen una enorme exigencia en su funcionamiento debido a que se requiere una precisión y velocidad demasiado concisa.

2.1.3. Actuadores.

Los actuadores, son componentes de gran importancia, ya que son los responsables de generar el movimiento de todos los elementos de un robot de acuerdo a lo solicitado, en la industria se utilizan distintos actuadores, esto dependiendo de las tareas a realizar, derivando en tres secciones como: la hidráulica, neumática y eléctrica, cada uno de estos sistemas cuentan con distintas características, como lo son la potencia, precisión, controlabilidad, velocidad, mantenimiento, peso y volumen.

2.1.3.1. Actuator neumático.

En este tipo de actuador su principal fuente de energía es el aire a presión, la presión más utilizada va de entre los 5 y 10 bar, a comparación de los hidráulicos, estos sistemas ofrecen altas velocidades de funcionamiento, pero un torque limitado, los actuadores se dividen en dos tipos derivado de su estructura mecánica que son [6]:

- Cilindros neumáticos:

Los cilindros neumáticos, se caracterizan por el desplazamiento de un émbolo o pistón dentro de un cilindro, gracias a las diferencias de presión que se consiguen en ambos lados del pistón, y estos actuadores se subdividen en simple efecto o doble efecto, como se muestra en la Fig. 7, considerando que en el de simple efecto, únicamente se inyecta el aire en un lado, teniendo el control de únicamente expulsar el pistón, pero no regresarlo a diferencia del doble efecto, que tiene dos entradas de aire otorgando el control de entrada y salida del pistón [6].

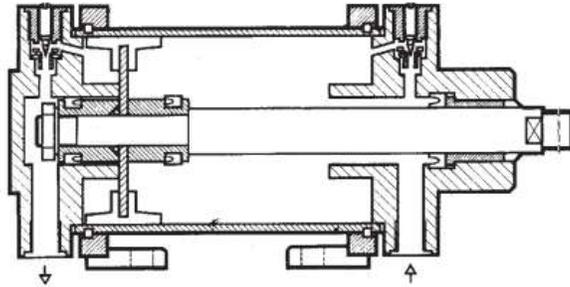


Fig. 7 Esquema de cilindro neumático de doble efecto. Fuente: Fundamentos de robótica. (2007.)

- Motores neumáticos:

En estos actuadores, únicamente se obtiene el movimiento de rotación de del eje a través de aire a presión, el sistema más comúnmente utilizado, es el motor de aletas rotativas, en este sistema se encuentran aletas acopladas al rotor del motor generando el movimiento de rotación, al aplicar el aire a presión a través de la fuerza aplicada del aire hacia las aletas (véase Fig. 8).

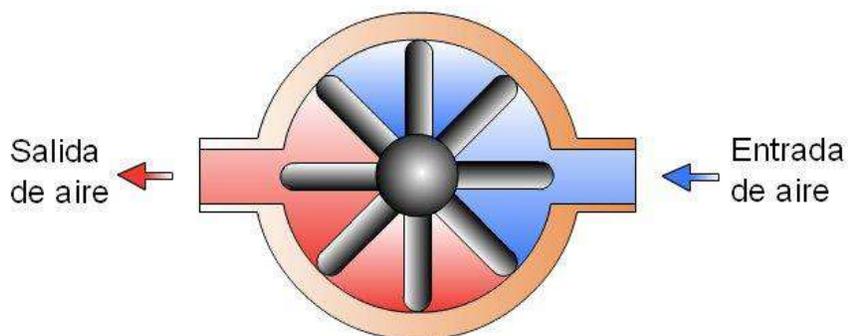


Fig. 8 Motor de paletas. Fuente: http://www.portaleso.com/web_neumatica/neumatica_indice.html

2.1.3.2. Actuator hidráulico.

Los actuadores hidráulicos son similares a los actuadores neumáticos en su funcionamiento, su fuente de energía con fluidos que por lo general son aceites

minerales a presiones demasiado altas de 50 a 100 bar, considerando que han alcanzado presiones de hasta 300 bar [6].

- Cilindro hidráulico:

Los cilindros hidráulicos, se caracterizan por el desplazamiento de un émbolo o pistón dentro de un cilindro gracias a las diferencias de presión que se consiguen en ambos lados del pistón, estos actuadores se subdividen en simple efecto o doble efecto, considerando que en el de simple efecto únicamente se inyecta el aceite en un lado teniendo el control de únicamente expulsar el pistón, pero no regresarlo, a diferencia del doble efecto que tiene dos entradas de aire otorgando el control de entrada y salida del pistón (véase Fig. 9).

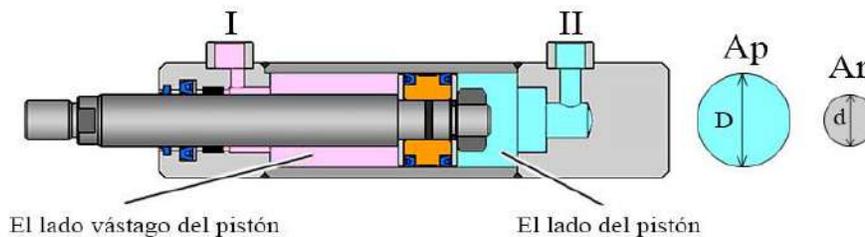


Fig. 9 Cilindros Hidráulicos de efecto doble. Fuente: <https://www.hydraulic-calculation.com/es/article.php?ID=16>

- Motor hidráulico:

En estos actuadores únicamente se consigue un movimiento de rotación de un eje a través del aceite a presión, el sistema más comúnmente utilizado es el motor de aletas rotativas Fig.10, en este sistema se encuentran aletas acopladas al rotor del motor generando el movimiento de rotación al aplicar el aceite a presión, hacia las aletas generando el movimiento.

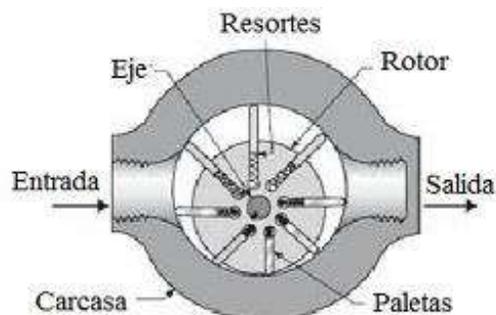


Fig. 10 Bomba de paletas. Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn212.html>

2.1.3.3. Actuador eléctrico.

Este sistema de actuador, es el más utilizado en la industria debido a que tiene características favorables en el control, la sencillez y precisión en su manipulación, estos se dividen en tres tipos diferentes de actuadores.

2.1.3.3.1. Motor de corriente directa.

Como se ve en la Fig.11, los motores eléctricos de corriente directa son máquinas que transforman la energía eléctrica de corriente directa a energía mecánica, que principalmente están compuestos por un rotor y un estator que genera el movimiento gracias a un campo magnético, este tipo de motor tiene la ventaja de tener la capacidad de poder controlar su velocidad o rotación y lo convierte en una excelente opción en aplicaciones, en donde es esencial una velocidad y torque específicos [7].

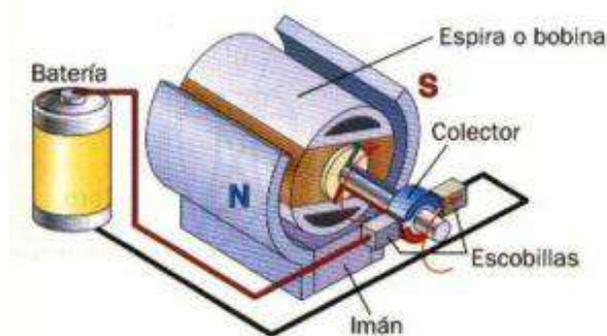


Fig. 11 Partes de un motor eléctrico. Fuente <https://www.motorex.com.pe/blog/cual-es-la-diferencia-entre-los-motores-electricos-ca-y-cc/>

2.1.3.3.2. Motor de corriente alterna.

Los motores eléctricos de corriente alterna, son máquinas que de igual forma que los de corriente directa transforman la energía eléctrica en mecánica, con la diferencia que la energía que utilizan es alterna, este tipo de motor es más barato derivado de que se utiliza la energía tal cual se entrega del suministro eléctrico, sus principales partes son el rotor, estator y carcasa (véase Fig. 12) [7].

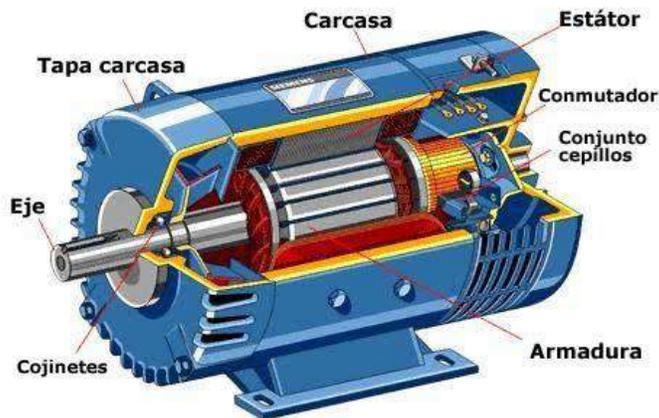


Fig. 12 Motor de Corriente Alterna. Fuente: <https://www.kellyangood.co.uk/motors/aplicaciones-de-los-motores-de-corriente-alterna/>.

2.1.3.3.3. Motores paso a paso.

El motor paso a paso, es un actuador eléctrico muy utilizado en áreas de la robótica, este motor se controla a través de impulsos desfasados provenientes de un microcontrolador, entonces este motor transforma un impulso eléctrico en un movimiento angular, por lo cual este actuador es excelente en tareas en las cuales se utiliza un control de posicionamiento y velocidad como lo son las impresoras [8].

El motor paso a paso, es un componente que genera un movimiento con base en los impulsos eléctricos recibidos por sus bobinas, el ángulo mínimo de rotación entre una modificación de impulsos se le conoce como “paso” los valores más utilizados para este tipo de motores son 200 pasos por vuelta, por lo cual un paso equivale a un ángulo de 1.8° , pero también existen de 48, 100 y 200 pasos por vuelta [9].

En términos generales, los motores paso a paso están conformados por un estator que cuenta con dos bobinas desfasadas a 90° y un rotor compuesto por un imán permanente incrustado en el eje del motor, como se ve en la Fig. 13.

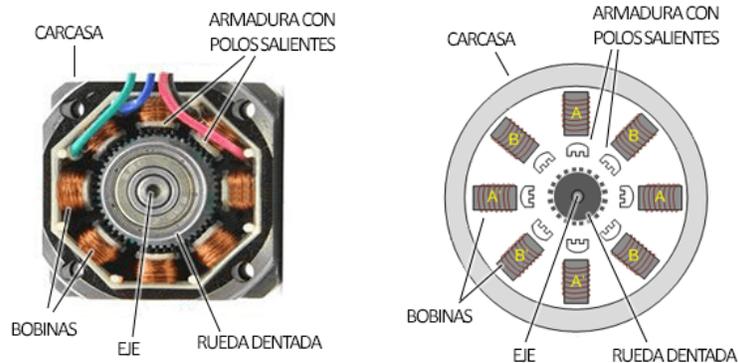


Fig. 13 Partes de motor a pasos. Fuente: <https://www.luisllamas.es/tipos-motores-rotativos-proyectos-arduino/>

Por lo cual, implementando una secuencia de encendido a las bobinas provocando que el imán se oriente gradualmente hasta generar una vuelta completa, estos motores se dividen en bipolares y unipolares (véase Fig. 14).

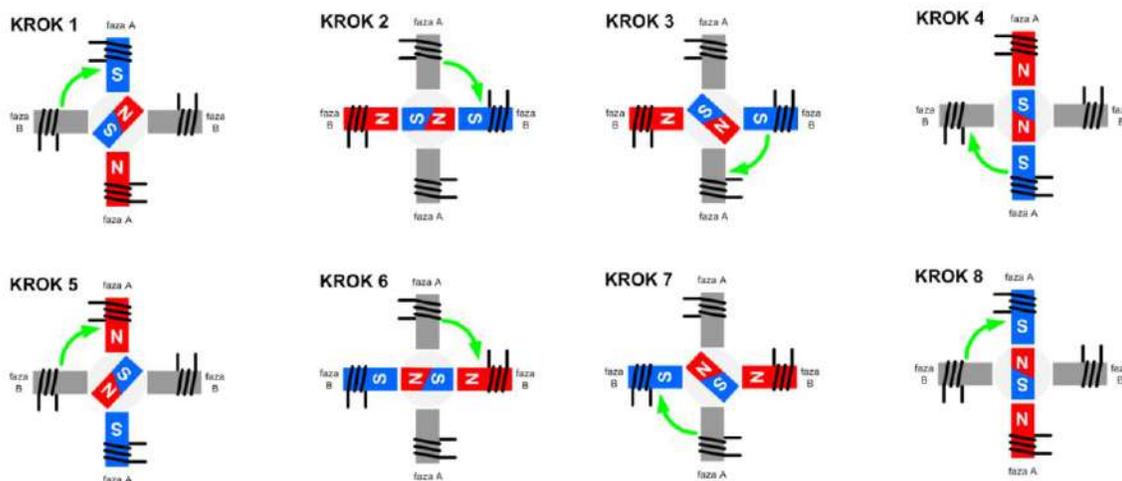


Fig. 14 El principio de funcionamiento del motor en modo de medio paso con suministro de 2 fases. Fuente: <https://www.tme.com/mx/es/news/library-articles/page/41861/Motor-paso-a-paso-tipos-y-ejemplos-del-uso-de-motores-paso-a-paso/>

- Motor paso a paso Bipolar

Estos motores bipolares, se caracterizan por únicamente tener cuatro cables y cada cable está asociado a un par de bobinas, en la Fig. 15 podemos visualizar la conexión de las bobinas de un motor bipolar [10].

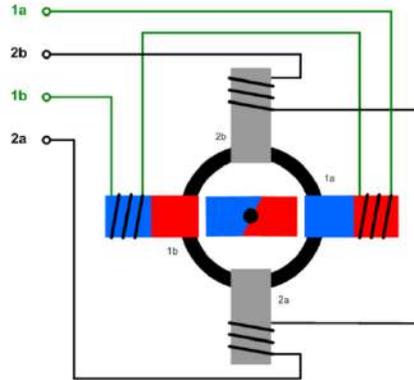


Fig. 15 Motor bipolar y el método de conectar sus devanados. Fuente: <https://www.tme.com/mx/es/news/library-articles/page/41861/Motor-paso-a-paso-tipos-y-ejemplos-del-uso-de-motores-paso-a-paso/>

Estos motores tienen distintos modos de giro de acuerdo a como se alimenten las bobinas, está la secuencia normal, secuencia wave drive y medio paso, estas secuencias tienen como objetivo girar el eje del motor y a su vez tener el control del ángulo de giro que se quiere conseguir.

- Secuencia normal:

Consiste en alimentar a la vez un par de bobinas consecutivamente, para generar el giro, este tipo de secuencia genera mayor torque y retención, en la siguiente tabla se muestra este tipo de secuencia (véase Tabla 1).

Tabla 1 Secuencia normal. Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos37/motores/motores2>

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	ON	OFF	OFF	
2	OFF	ON	ON	OFF	
3	OFF	OFF	ON	ON	
4	ON	OFF	OFF	ON	

- Secuencia wave drive:

Esta secuencia únicamente activa una bobina, a la vez consecutivamente generando el campo electromagnético al mismo tiempo generando el giro del eje del motor, el torque y la retención son menores que en la secuencia normal, a continuación, se muestra la tabla 2 en donde se ve el funcionamiento.

Tabla 2 Secuencia wave drive. Fuente:
<https://www.monografias.com/trabajos37/motores/motores2>

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	OFF	ON	OFF	OFF	
3	OFF	OFF	ON	OFF	
4	OFF	OFF	OFF	ON	

○ Secuencia de medio paso:

Esta secuencia es la combinación de las dos anteriores, así generando que el eje gire medio paso, por lo que este ciclo cuenta con ocho movimientos a comparación de los otros que solo son cuatro movimientos (véase Tabla 3).

Tabla 3 Secuencia de medio paso. Fuente:
<https://www.monografias.com/trabajos37/motores/motores2>

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	ON	ON	OFF	OFF	
3	OFF	ON	OFF	OFF	
4	OFF	ON	ON	OFF	
5	OFF	OFF	ON	OFF	
6	OFF	OFF	ON	ON	
7	OFF	OFF	OFF	ON	
8	ON	OFF	OFF	ON	

2.1.4. Sensores internos.

Para obtener la capacidad de que un robot realice su trabajo con la adecuada precisión y velocidad, es necesario que la misma máquina tenga el conocimiento de su estado y del entorno en donde se desenvuelve, toda la información relacionada con su entorno sobre todo la posición de sus extremidades, se obtiene a través de los dispositivos llamados sensores [6].

Existen distintos tipos de sensores de acuerdo al tipo de sensados que se requiera registrar, como son la posición, la velocidad y presencia, tomando en cuenta que cada tipo de sensado se subdivide en la forma física del sensado.

2.1.4.1. Sensores de posición.

Los sensores de posición, son dispositivos electrónicos capaces de poder medir simultáneamente los cambios que sufre la posición angular con respecto a una posición de referencia, las distintas técnicas utilizadas en este tipo de sensor son potenciómetros, LVDT, encoder, resolver y regla óptica.

2.1.4.2. Sensores de velocidad.

Los sensores de velocidad, son componentes electrónicos que tienen la capacidad de definir la velocidad rotacional de un eje, este sensado se hace de suma importancia para conocer el comportamiento dinámico de los actuadores de los que está compuesto un robot, el tipo de sensado utilizado para la velocidad es el taco generatriz.

2.1.4.3. Sensores de presencia.

Estos sensores, son componentes electrónicos capaces de detectar la presencia de objetos dentro de un radio de alcance determinado, este sensado se puede realizar con o sin un contacto físico, de acuerdo al principio físico que se utilice, en el caso de la detección con contacto físico se utiliza un contacto o switch que genera pulsos al ser presionado, existen otros tipos de sensores como lo son el inductivo, capacitivo, óptico, ultrasónico y efecto hall.

2.1.5. Elementos terminales.

Los elementos terminales, son dispositivos que tienen como tarea tener una interacción con todo el entorno del robot, estos elementos tienen distintas características de acuerdo a la tarea o actividad a desarrollar, como herramientas de sujeción.

Existen muchas aplicaciones en las cuales el robot no precisamente tiene que manipular objetos, sino que es necesario el uso de herramientas como soplete para soldadura, atornilladores, pistola de pintura y como se muestra en la fig. 16, una pinza o gripper.



Fig. 16 Pinza de robot. Fuente: <https://www.turbosquid.com/es/3d-models/robot-gripper-8-3d-model-1407192>

2.2. Impresión 3D o Fabricación Aditiva.

La impresión 3D o la Fabricación aditiva, es un proceso de manufactura que lleva como objetivo crear o producir piezas en el momento, utilizando el diseño asistido por computadora o como bien se le conoce CAD, esta nueva tecnología de fabricación crea objetos o piezas a base de capa tras capa por lo general de plástico y metal [11].

Hoy en día este tipo de producción, se utiliza particularmente en sectores donde la personalización y el tiempo son factores claves en la manufactura de piezas, existen distintos métodos de impresión 3D, de acuerdo al material utilizado para la creación de estas piezas.

2.2.1. Sinterizado Láser Selectivo (SLS).

La tecnología Sinterizado Selectivo por Láser (SLS), funciona de tal forma que un láser funde y compacta el consumible, en este caso ese material es poliamida en polvo, como se muestra en la Fig.17, la máquina dirige un láser sobre una pequeña capa de material, fundiendo únicamente el área de la pieza que se está fabricando, esto sin tocar el sobrante de polvo que a su vez funciona como soporte para la pieza [12].

Estas máquinas trabajan precalentando este polvo muy cerca de su fusión, para que el láser logre fundirlo y que se genere la estructura, el material sobrante no puede ser reutilizado muchas veces, ya que al ser calentado va perdiendo propiedades, por lo cual se recomienda que por cada pieza fabricada se ponga la cantidad necesaria de material y cambiar con frecuencia el material sobrante por uno nuevo (véase la Fig.18).

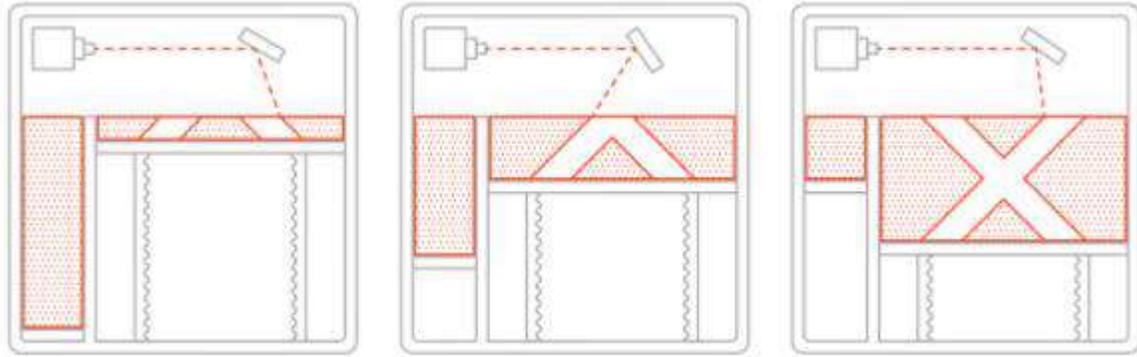


Fig. 17 Sinterizado Láser Selectivo. Fuente: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>



Fig. 18 Sinterizado Láser. Fuente: <https://tu3dprintlab.club/wp-content/uploads/2021/02/powder-3d-printing-900x400.jpg>

2.2.2. Estereolitografía (SLA).

Este método de impresión, es uno de los más conocidos como Impresión 3D de Resina, este sistema es parecido al (SLS), ya que también cuenta con un láser que se encarga de solidificar o curar las resinas que son utilizadas, cuando la resina es expuesta a una determinada longitud de onda de luz, se acoplan cadenas moleculares formando la pieza (véase la Fig.19) [12].

Este tipo de impresión ofrece una de las mejores resoluciones de impresión, acabados más lisos como se muestra en la Fig. 20, y sobre todo que se ha encontrado un buen funcionamiento mecánico, óptico y térmico para el uso de piezas en resina, el material utilizado son resinas acrílicas o epóxicas.

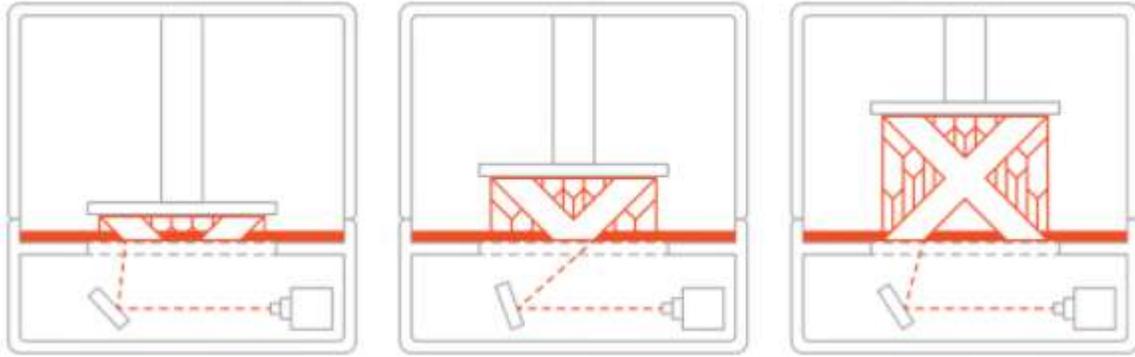


Fig. 19 Estereolitografía. Fuente: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

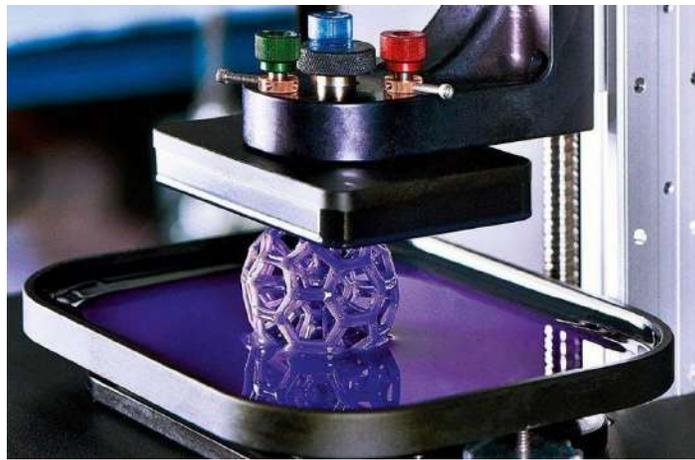


Fig. 20 Resina 3D. Fuente: https://cdn.shortpixel.ai/client/q_glossy,ret_img,w_832,h_468/https://electronicamade.com/wp-content/uploads/2020/04/maxresdefault-1024x576.jpg

2.2.3. Modelado por deposición fundida (FDM).

Este tipo de impresión es la más barata, común y conocida, ya que esta tecnología utiliza como materia prima algunos plásticos en la Fig. 21, se muestra su principio de funcionamiento que cuenta de un extrusor que derrite e inyecta el plástico derretido capa por capa y a su vez moviendo el cabezal a lo largo de las coordenadas específicas, situando el material fundido sobre una cama caliente en donde se solidifica así formando piezas [13].

Los plásticos utilizados en la impresión 3D (FDM) son muy variados, como lo son el PLA, ABS, PETG, ASA, TPU y un sinfín de combinaciones de plásticos, con los que es posible imprimir de acuerdo al uso de las piezas a crear, este plástico viene en forma de filamento enrollado en un carrete con un diámetro de 1.75 mm o de 3 mm de acuerdo a la configuración de la impresora a utilizar (véase Fig.22).

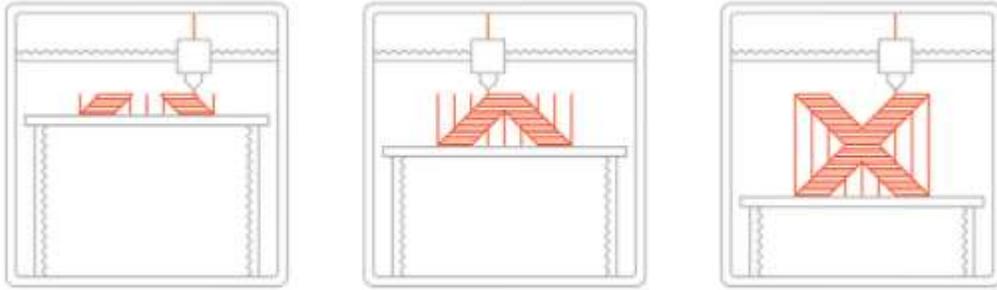


Fig. 21 Modelado por deposición fundida. Fuente: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

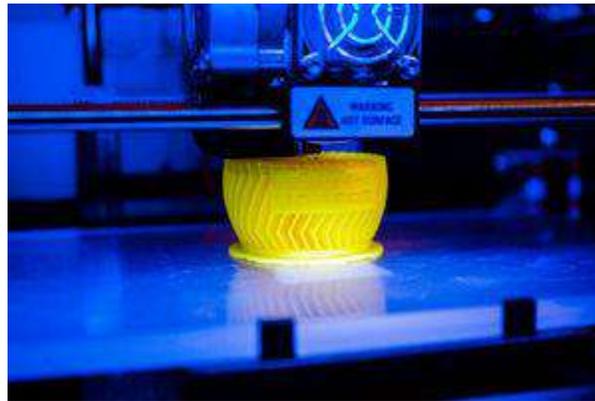


Fig. 22 Impresión 3D. Fuente: https://img.directindustry.es/images_di/photo-m2/72590-14428313.jpg

2.2.4. Polyjet.

Este tipo de impresión 3D fusiona la mecánica de las impresoras (FDM) y el material utilizado en la impresión (SLA), a través de un inyector va depositando capas de resina y a su vez se expone a una luz ultravioleta para endurecerla, de esa forma se va formando la pieza, este tipo de manufactura tiene como ventaja que las piezas quedan con acabados lisos, con mucho mayor detalle que las (FDM) y más resistentes, ya que utiliza resinas como se muestra en la Fig.23 [14].

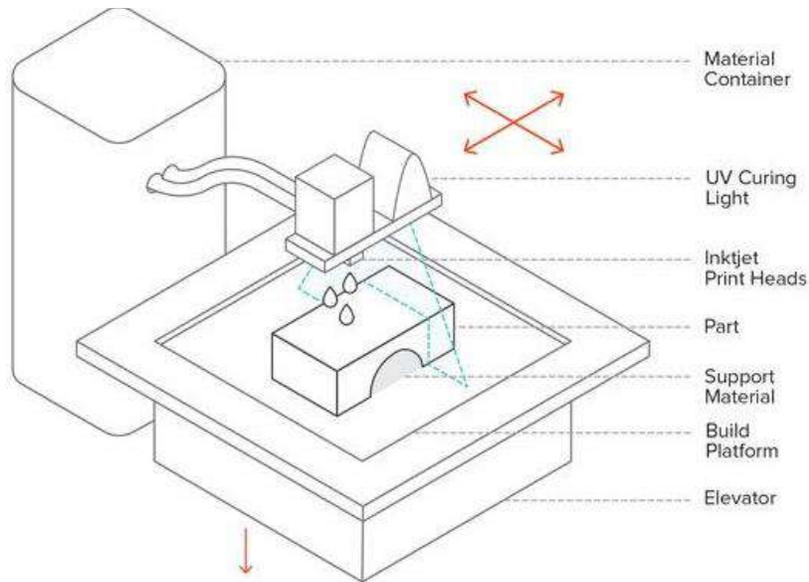


Fig. 23 Polyjet. Fuente: <https://www.3dnatives.com/es/wp-content/uploads/sites/4/materialjetting.jpg>

2.2.5. Sinterizado Directo de Metal Láser (DMLS).

Por lo general este tipo de impresión es confundido con (SLS) puesto que su principio de funcionamiento es el mismo, su principal e importante diferencia es el material con el que se fabrican las piezas, la impresión (SLS) utiliza polvo de plásticos, cerámica o de vidrio y la impresión (DMLS) utiliza polvo de metales como lo son: el acero, cobalto, cromo, aluminio, titanio y el Inconel, la máquina lanza un rayo láser que funde el polvo de metal así formando piezas en metal (véase Fig.24) [12].

Por consecuente, la resistencia de las piezas fabricadas por este tipo de maquinado, es muchísimo más fuerte que cualquier tipo de impresión e incluso se compara con las técnicas utilizadas anteriormente como la fundición, como se muestra en la Fig.25.

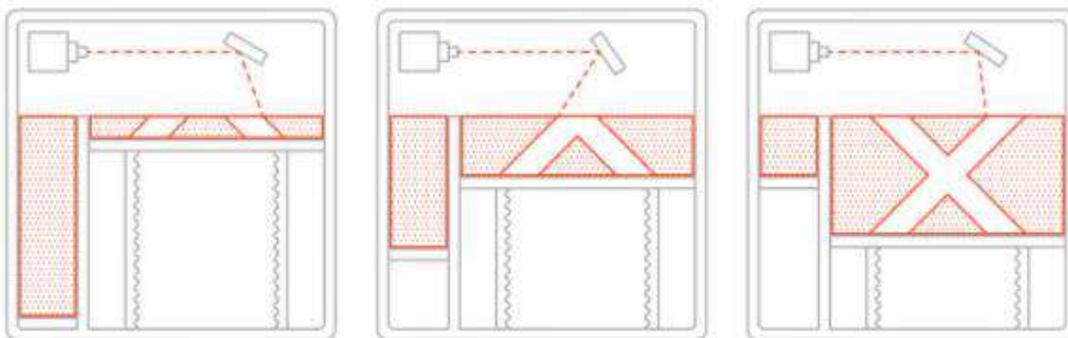


Fig. 24 Sinterizado Directo de Metal Láser. Fuente: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>



Fig. 25 Metal 3D. Fuente: <https://e00-expansion.uecdn.es/assets/multimedia/imagenes/2015/12/22/14508080979905.jpg>

2.3. Mecánica de una impresora 3D (FDM).

El funcionamiento de las impresoras 3D (FDM) y todos los anteriores, se rigen por una mecánica de 3 ejes X, Y, y Z, que cuenta con un extrusor el cual permite derretir el plástico a través de estos ejes de movimiento, deposita el plástico en una cama caliente generando capas de plástico y así conseguir una pieza en plástico, existen distintos tipos de impresoras 3D (FDM) de acuerdo al tipo de configuración en la que se encuentran posicionados los motores.

2.3.1. Tipos de impresora 3D (FDM).

Los cinco tipos de impresoras 3D más comunes en el mercado son: las cartesianas, Delta, Core xy, polar y de brazo robótico, su funcionamiento es el mismo regido por coordenadas cartesianas, la parte que las diferencia es la forma o la configuración en la mecánica de los motores.

2.3.1.1. Impresora 3D tipo cartesiana.

La impresora 3D tipo cartesiana es la más conocida que hay en el mercado, se le da ese nombre porque utiliza un sistema de coordenadas dimensionales, el eje X, Y, y Z que son perpendiculares entre sí, son utilizados para poder definir a dónde y cómo moverse para poder situar el extrusor en las 3 dimensiones. Este tipo de impresora maneja en el eje X el extrusor de filamento, y a su vez va montado en el eje Z, en el eje Y va montada la cama caliente que se muestra en la Fig.26, en esta configuración se utilizan los dos sistemas de extrusión directa y Bowden dependiendo del fabricante, las marcas más comunes son: Makerbot, Ultimaker, Creality, Artillery, Prusa y Anet [15].

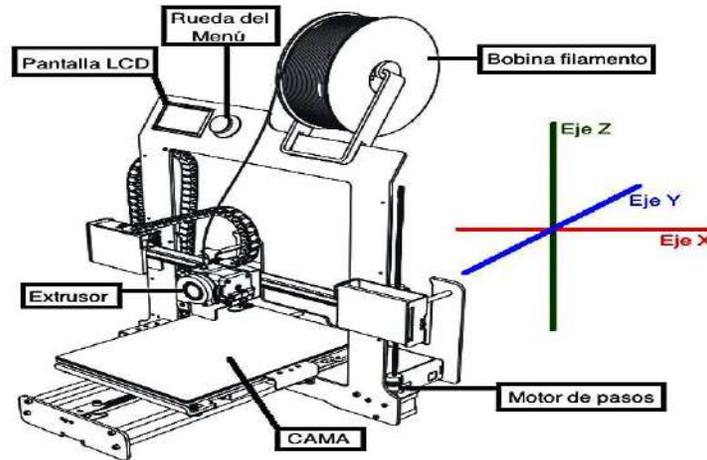


Fig. 26 Impresora 3D. Fuente: <https://www.tintasytonercompatibles.es/blog/que-impresoras-3d-comprar/>

- Ventajas: Esta configuración cuenta con la mecánica más sencilla, ya que son las más fáciles de calibrar y reparar errores futuros, son las impresoras más baratas por la sencillez de su estructura, se cuenta con mucha información en la red.
- Desventajas: Tiene una menor velocidad de impresión por la inercia y el peso que cargan los ejes, se debe monitorear la tensión de las correas, a comparación de las otras configuraciones, es la única que la cama que está en el eje Y tiene movimiento.

2.3.1.2. Impresora 3D tipo delta.

La impresora 3D tipo delta está conformada por tres brazos articulados acomodados con una configuración triangular, por lo cual se le da el nombre Delta, que sujetan al extrusor, se desplazan hacia arriba y abajo, de esa forma le proporcionan el movimiento tridimensional al extrusor para generar la pieza, debido a esto el sistema de extrusión de estas máquinas es Bowden, por lo general este tipo de impresora tiene una cama caliente redonda que es fija como en la Fig. 27, las marcas más comunes son: Flsun, Anycubic, Tevo, Anet, Monoprice [16].

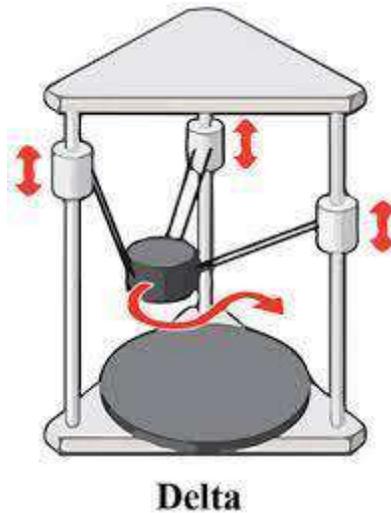
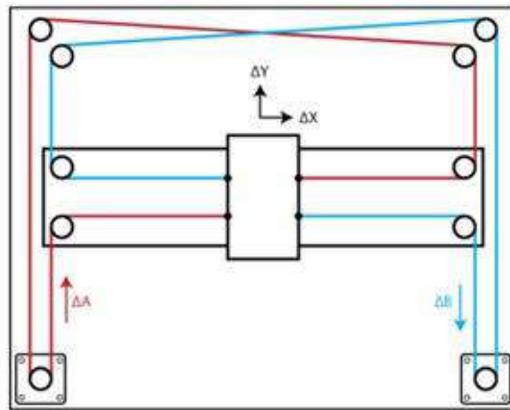


Fig. 27 Impresoras 3D tipo delta. Fuente: <https://www.hta3d.com/es/blog/partes-importantes-de-una-impresora-3d-componentes-clave-como-elegirlos-y-mejorar-tu-impresora-3d>

- Ventajas: Esta configuración permite imprimir a alta aceleración y velocidad, por lo cual el tiempo se reduce, tiene buena definición, una amplia capacidad de movimiento, cama de impresión estática, lo cual evita que la pieza se despegue por el movimiento.
- Desventajas: Las primeras configuraciones son muy tediosas y complicadas, es mucho más grande y estorbosa que otro tipo de configuraciones, tiene sistema de extrusión Bowden lo que ocasiona que no se puedan imprimir filamentos flexibles, es complicada de reparar debido a que se tiene que desmontar muchas partes de la máquina, en la red no hay mucha información sobre este tipo de impresoras.

2.3.1.3. Impresora 3D tipo Core xy.

Como se muestra en la Fig. 28, esta configuración de impresora es similar a la cartesiana, los motores del eje X y Y son fijos a la estructura e interconectados entre sí, permitiendo el movimiento del extrusor, y el eje Z tiene un movimiento de arriba abajo para darle las dimensiones a la pieza.



Equations of Motion:

$$\Delta X = \frac{1}{2}(\Delta A + \Delta B), \quad \Delta Y = \frac{1}{2}(\Delta A - \Delta B)$$

$$\Delta A = \Delta X + \Delta Y, \quad \Delta B = \Delta X - \Delta Y$$

Fig. 28 Impresora Core xy. Fuente: <https://www.frax3d.com/corexy>

Se utilizan los dos sistemas de extrusión directa y Bowden, eso dependiendo del fabricante, cuentan con una cama caliente y las principales marcas son: Ultimaker, Multimaker, Creality, Flyingbear, Zonestar.

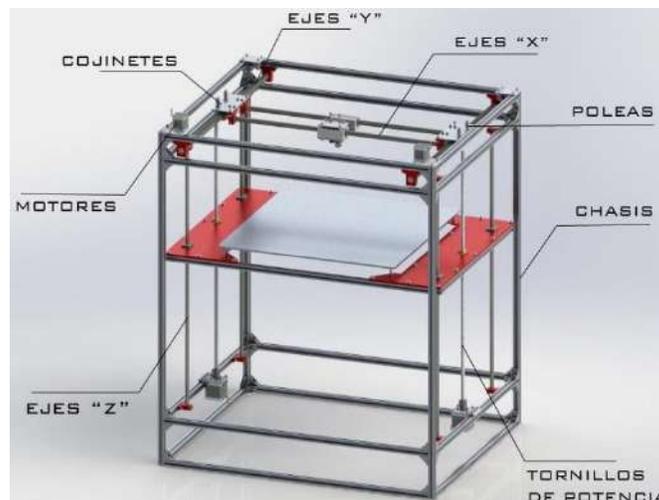


Fig. 29 Estructura 3D. Fuente: <https://docplayer.es/86229141-Diseno-y-construccion-de-una-impresora-3d-de-gran-formato-con-tecnologia-de-fabricacion-con-filamento-fundido-fff-tipo-core-xy-basada-en-arduino.html>

- Ventajas: Tiene una buena calidad y precisión debido a que los ejes X y Y no se desplazan, únicamente el eje Z, son rápidas al imprimir, suelen tener un área de impresión bastante grande (véase Fig.29).
- Desventajas: Son muy ruidosas por consecuente de la velocidad a la que imprimen, son bastante estorbosas por su tamaño, la configuración es algo difícil, su precio elevado, las correas que mueven los ejes X y Y son demasiado largas.

2.3.1.4. Impresora 3D tipo Polar.

Esta configuración de impresora se caracteriza por utilizar coordenadas polares, entonces las coordenadas refieren puntos en una cuadrícula circular, que no son determinados por los ejes X, Y, y Z, pero si por ángulos y longitudes, este tipo de robots cuentan con una cama caliente redonda que gira y el extrusor se mueve arriba, abajo, izquierda y derecha [16].

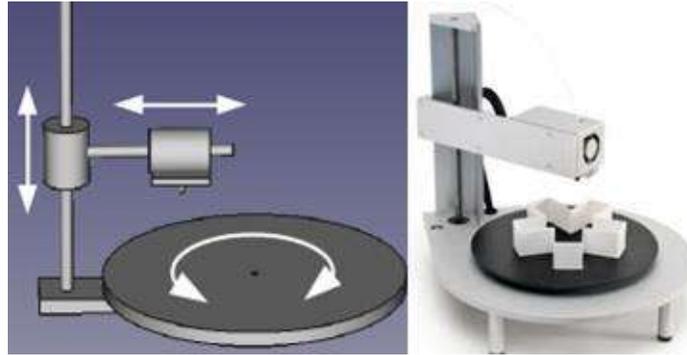


Fig. 30 Impresoras 3D Polares. Fuente: <https://agelectronica.blog/2020/11/09/impresion-3d/>

- Ventajas: Solo utiliza dos motores más, aparte el del extrusor, tiene un tamaño reducido y es fácil de acomodar, tiene extrusión directa como se ve en la Fig.30.
- Desventajas: El área de impresión es demasiado chica, no hay información accesible sobre este tipo de impresora.

2.3.1.5. Impresora 3D tipo Brazo robótico.

Los brazos robóticos que se ve en la Fig. 31 en la industria, tienen un sinnúmero de tareas a realizar como es el ensamblaje de piezas, soldadura, mover piezas, etc. Entonces esto quiere decir que el robot dependiendo de la herramienta que se le ponga como extremidad final, es la tarea que puede realizar, en este caso se le acopla un extrusor de filamento y por sí solo el brazo para siguiendo coordenadas específicas para depositar el filamento, así como lo haría con algún otro tipo de tarea.

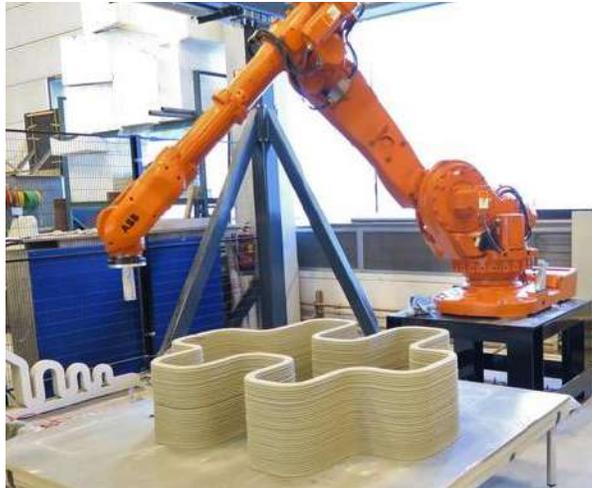


Fig. 31 Impresoras 3D con Brazos robóticos. Fuente: <https://creality3d.shop/blogs/choose-your-3d-printer/core-xy-vs-cartesian?lang=es>

- Ventajas: Estos robots son muy versátiles, por lo cual se pueden ocupar para varias tareas, sus ejes de movimiento permiten que la impresión sea mucho más rápida.
- Desventajas: Este tipo de robots son demasiado caros y sería un desperdicio utilizar una máquina de este tipo para imprimir piezas en plástico, no se encuentra mucha información en la red.

2.3.2.Extrusión del material.

La extrusión es la parte mecánica de una impresora 3D (FDM) más importante, porque es la que suministra el material de tal forma que permite ser manipulado con el fin de poder crear una pieza, este material es derretido a su vez puesto por capas y después se enfría dándole rigidez a la estructura.

2.3.2.1. Extrusor.

El extrusor está compuesto por dos grupos o secciones, que es la unidad de alimentación del filamento o feeder drive y el fusor.

- Alimentación del filamento (feeder drive): esta sección consiste en los elementos mecánicos encargados de suministrar el material [17].
 - Motor: se utiliza motor a pasos modelo nema 17, que se encarga de empujar el filamento.
 - Rodamiento de precisión: este rodamiento presiona el filamento contra él engrane de tracción para que se mueva con fluidez y precisión.
 - Engranaje de tracción: engrane que gracias a los dientes que agarran el filamento y lo empujan al girar el motor como se ve en la Fig.33.

- Fusor: esta unidad consiste en alcanzar temperatura de los 190 a los 235 °C para poder derretir el filamento y ser manipulado con facilidad, y al conjunto de estos componentes se le conoce como hot-end.
- Resistencia térmica: es la encargada de calentar a la temperatura necesaria para derretir el material.
- Termistor: este dispositivo funciona como sensor, cuenta con un material semiconductor sinterizado que presenta un cambio de resistencia al ser expuesto a cambios de temperatura, gracias a esta propiedad se puede utilizar como sensor de temperatura.
- Boquilla o Nozzle: es por donde sale el filamento fundido, y existen distintos diámetros de boquillas, con el fin de imprimir piezas con diferentes características.
- Garganta: sirve para dirigir el filamento al bloque de aluminio para ser derretido.
- Bloque de aluminio: en este bloque se ensamblan toso los componentes anteriores para su buen funcionamiento.
- Disipador: la garganta va adentro de este disipador, con el fin de disipar el calor que se filtra de la resistencia térmica a la garganta y no se derrita el filamento antes de entrar al bloque de aluminio.

Con base a los anteriores componentes, existen dos diferentes configuraciones de extrusión, extrusión directa y extrusión Bowden, que cuentan con distintas ventajas y desventajas de acuerdo al uso de la impresora 3D (véase la Fig.32).

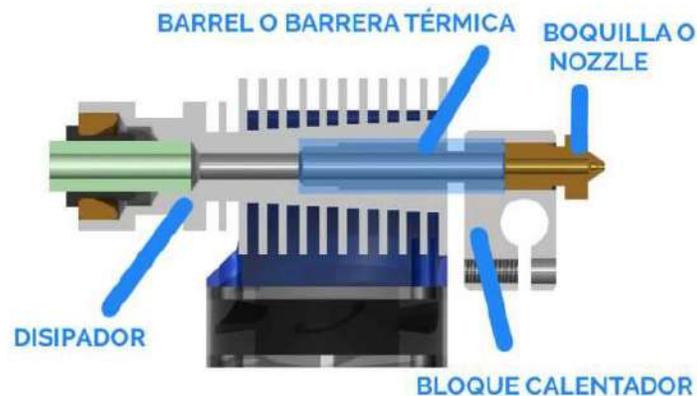


Fig. 32 Partes del fusor. Fuente: <https://soloelectronicos.com/2020/04/06/como-arreglar-atascos-en-su-impresora-3d/>

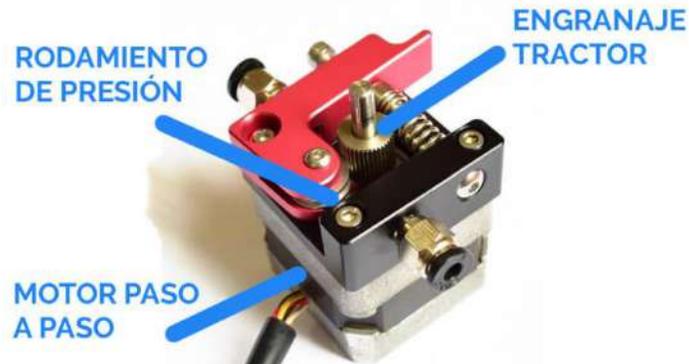


Fig. 33 Extrusor mk8. Fuente: <https://of3lia.com/guia-extrusor-y-hotend-impresora-3d/>

2.3.2.1.1. Extrusión directa.

En la Fig. 34, se ve como el filamento es empujado desde el engrane de tracción hasta el hot-end, estos se encuentran muy próximos uno del otro, esta poca distancia permite que la extrusión del filamento sea más fácil, esta configuración se le puede acoplar un sistema de engranes conectados al motor con el fin de aumentar el torque aplicado al filamento [18].

- Ventajas: se encuentra en una sola pieza, por lo cual es mucho más sencillo desmontarlo y arreglar atascos o averías del extrusor, por otra parte, su estructura permite poder utilizar todo tipo de filamentos incluso flexibles.
- Desventajas: este tipo de extrusión limita la velocidad de impresión a causa de que como es una pieza completa va montado en el eje X y al mover el extrusor se genera una inercia que el motor tiene que frenar en el eje Z, por otro lado, también se le agrega más peso, ya que el eje X va montado en este eje.

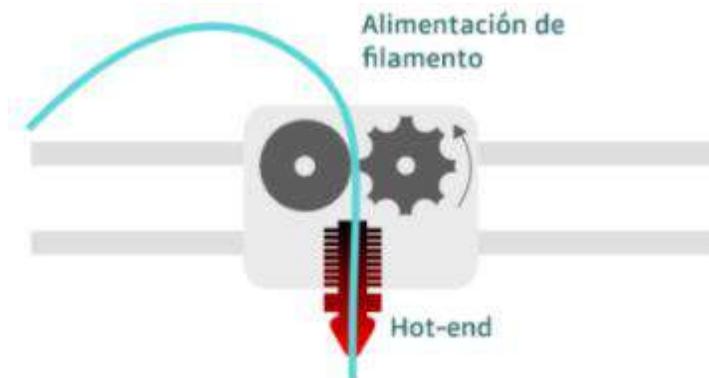


Fig. 34 Extrusor directo. Fuente: <https://abax3dtech.com/2021/01/08/extrusor-impresora-3d-componentes-tipos-y-limpieza/>

2.3.2.1.2. Extrusión Bowden.

A comparación de la extrusión directa, este sistema funciona con la parte de la alimentación del sistema, completamente separa de la fundición del plástico

que se acopla a través de un tubo de teflón (PTFE) por donde el filamento pasa, esta distancia entre las dos secciones suele dar problemas si no está bien calibrado y ensamblado todos los componentes (véase la Fig.35) [18].

- Ventajas: los ejes X y Z no cuentan con peso extra, por lo cual permite una velocidad más alta y a su vez disminuir el tiempo de impresión, tiene mejor calidad debido a que ya no tiene el peso de la sección de alimentación.
- Desventajas: no se puede imprimir con filamentos flexibles, ya que es muy fácil que el material se descarrile al ser empujado por el motor, las reparaciones son más tediosas dado que se tiene que desmontar todo, el acople de teflón se tiene que cambiar después de determinado tiempo.

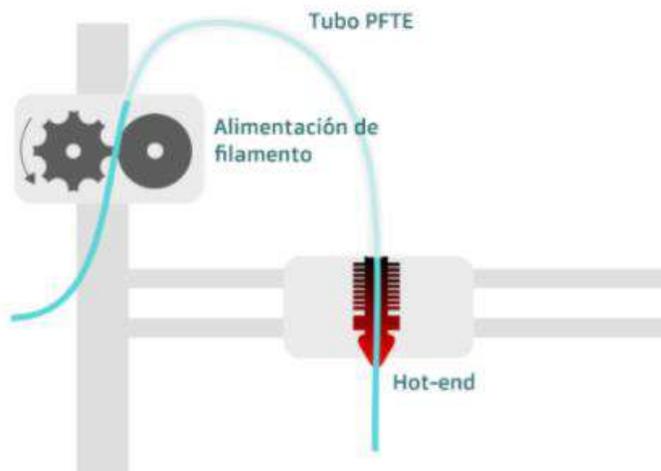


Fig. 35 Extrusor Bowden. Fuente: <https://abax3dtech.com/2021/01/08/extrusor-impresora-3d-componentes-tipos-y-limpieza/>

2.3.3.Movimiento de los ejes.

El movimiento de los ejes de un robot cartesiano está conformado por una transmisión de forma circula-lineal, utilizando distintos componentes, gracias a esta transmisión se le otorga el movimiento a la impresora 3D.

Las impresoras 3D por lo general cuentan con transmisiones de movimiento, basadas en poleas con correas dentadas como se muestra en la Fig.36, estos componentes aplican el acoplamiento positivo de dos grupos de dientes engranados buscando una transmisión de movimientos limpia y eficaz.

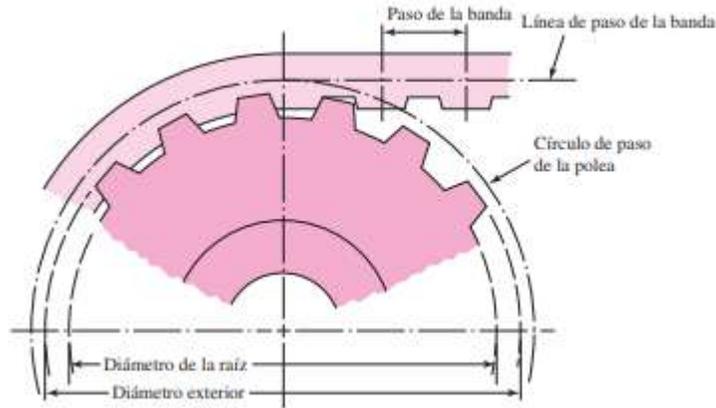


Fig. 36 Transmisión por banda de sincronización. Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. (2008).

Este tipo de mecanismos tienen la capacidad de transmitir pares de una gran magnitud y a su vez aguantan altas aceleraciones sin dejar atrás la versatilidad de este sistema gracias a la flexibilidad de las correas dentadas, estas correas cuentan con una serie de dientes con un espacio uniforme entre ellos, en este tipo de sistema no presentan ningún tipo de deslizamiento ni fricciones, por lo que no se requiere una lubricación en los dientes [6].

Un sistema de transmisión también utilizado en las impresoras 3D, es el de tornillo de avance o husillo, consiste en un tornillo diseñado para transmitir movimiento circular a lineal, este sistema si presenta una alta fricción, su eficiencia es de un 90% por lo que es necesario tener una buena lubricación, esto refiere a que es un método de transmisión, utilizado en operaciones de bajas velocidades y en aplicaciones en donde el retroceso es inaceptable como cargar peso (véase la Fig.37) [19].

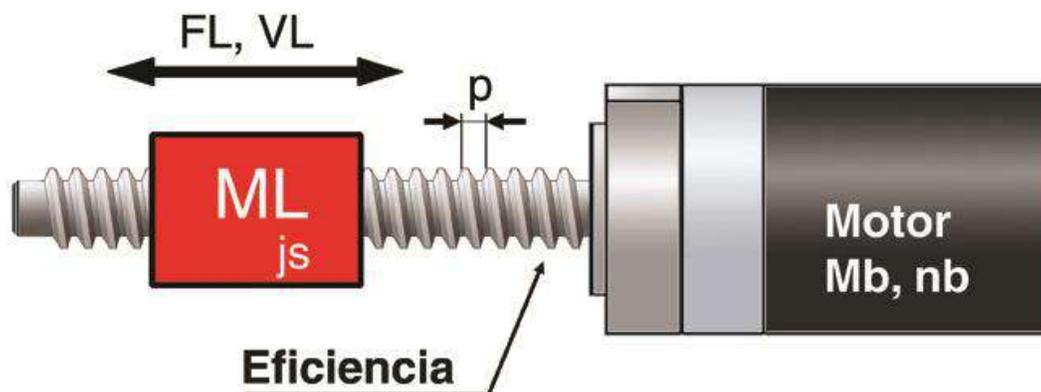


Fig. 37 Motor CC husillo. Fuente: <https://www.motorcontinua.es/accionamientos-motor-cc-husillos/>

2.3.3.1. Movimiento eje X.

La Fig.38, muestra el movimiento de este eje, que está regido por un motor nema 17 y un mecanismo engrane-correa dentada, que mueve toda la masa del extrusor, este movimiento es guiado por dos pares de rodamientos lineales situados sobre un par de ejes ópticos como se muestra en la Fig. 38.



Fig. 38 Extrusor y eje X. Fuente:
<https://guides.bearlab.com/Guide/4.+Extruder+and+X+axis+assembly/20>

Este movimiento del eje X está determinado por el número de pasos del motor, además por la relación de transmisión definida por el número de dientes del engrane y el paso de la correa dentada, la velocidad lineal está dada en función de la velocidad angular del motor y del radio del engrane [20].

- Movimiento o Desplazamiento

$$\Delta Px = \frac{Pm \mu P}{Pc N}$$

- ΔPx = desplazamiento eje X
- N = es el número de los dientes del engrane
- Pc = los pasos de la correa dentada
- Pm = el número de pasos del motor por una vuelta
- μP = micro pasos del driver

- Velocidad lineal

$$Vx = W_{mx} r_{px}$$

- V_x = velocidad angular del eje X
- r_{px} = radio del engrane
- W_{mx} = velocidad angular del motor

2.3.3.2. Movimiento eje Y.

El movimiento de este eje está regido por un motor nema 17 y un mecanismo engrane-correa dentada, que mueve toda la masa del extrusor, este movimiento es guiado por dos pares de rodamientos lineales situados sobre un par de ejes ópticos como se muestra en la Fig. 39.

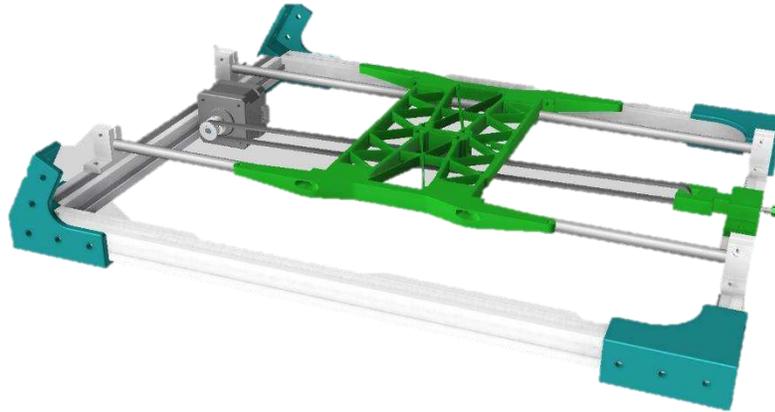


Fig. 39 Eje Y. Fuente propia.

Este movimiento del eje Y está determinado por el número de pasos del motor, además por la relación de transmisión definida por el número de dientes del engrane y el paso de la correa dentada, la velocidad lineal está dada en función de la velocidad angular del motor y del radio del engrane [20].

- Movimiento o Desplazamiento

$$\Delta Py = \frac{Pm \mu P}{Pc N}$$

- ΔPy = desplazamiento eje Y
- N = es el número de los dientes del engrane
- Pc = los pasos de la correa dentada
- Pm = el número de pasos del motor por una vuelta
- μP = micro pasos del driver

- Velocidad lineal

$$Vx = W_{mx} r_{px}$$

- V_x = velocidad angular del eje X
- r_{px} = radio del engrane
- W_{mx} = velocidad angular del motor

2.3.3.3. Movimiento eje Z.

El movimiento del eje está regido por dos motores nema 17, con un mecanismo de tornillo sin fin y su tuerca por cada motor, que se encarga de elevar toda la estructura del eje X representado en la Fig.40, este movimiento es guiado por un par de rodamientos lineales montados en un eje óptico por cada motor, así generando el desplazamiento de arriba abajo.

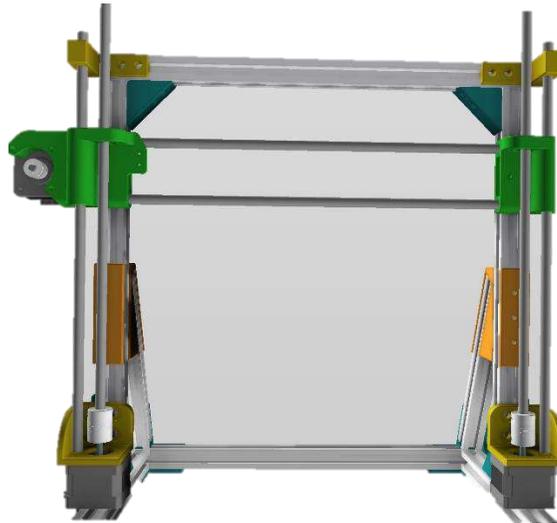


Fig. 40 Eje Z. Fuente propia.

Este movimiento del eje Z está determinado por el número de pasos del motor, además por la relación de desplazamiento por vuelta de la varilla roscada [20].

$$\Delta P_z = \frac{P_m \mu P}{P_r}$$

- ΔP_z = desplazamiento eje Z
- P_m = el número de pasos del motor por una vuelta
- μP = micro pasos del driver
- P_r = pasos de la rosca

2.4. Materiales para la impresión 3D (FDM).

Existe una variedad inmensa de materiales de filamento de acuerdo al uso de la pieza a imprimir, como puede ser uso mecánico, alimenticio, piezas de colección, piezas para prototipado, solo es necesario tomar en cuenta las características de cada tipo de filamento para que la calidad de impresión sea lo mejor posible y sobre todo conservar de mejor manera las propiedades de cada filamento.

2.4.1.PLA (Acido Poliláctico).

El PLA es un plástico derivado de recursos naturales como lo son el almidón de maíz, caña de azúcar o raíces de tapioca, por lo cual este material es biodegradable, este es un polímero sintético, por tanto, pertenece a los poliésteres, este material es el más usado en la impresión 3D (FDM), la temperatura de fusión es de 190° - 220° °C y la temperatura de la cama caliente debe de ser entre temperatura ambiente y 60° °C, por lo general se utiliza para imprimir piezas de colección o de adornos que se observan en la Fig.41 [21].

- Ventajas:
 - Es muy fácil de imprimir por sus características.
 - Su velocidad de impresión es relativamente alta.
 - Es un material biodegradable.
 - Se puede reciclar.
 - Su temperatura de fusión no es tan alta como otros plásticos.
 - Proviene de materia orgánica.

- Desventajas:
 - Su resistencia térmica es baja, a partir de 60° se vuelve endeble.
 - Su resistencia no es muy buena, por lo cual, no se utiliza en piezas mecánicas.
 - Es sensible a la humedad.



*Fig. 41 Figuras Impresas 3D. Fuente:
<https://www.flickr.com/photos/ministeriodeciencia/15752406900>*

2.4.2.ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).

El ABS o también conocido como plástico de ingeniería, es uno de los materiales más utilizados en la industria, su elaboración es más complicada a comparación de otros plásticos, este es uno de los más utilizados en la impresión 3D (FDM), su temperatura de fusión ronda entre los 215° a 250° °C, la temperatura para una buena adherencia a la cama caliente oscila entre los 80° y 130° °C, por lo general se utiliza para imprimir piezas mecánicas [22][23].

- Ventajas:

- Cuenta con una buena resistencia térmica hasta unos 90° °C.
- Propiedades mecánicas muy buenas. Fig.42
- Es resistente a ataques químicos.
- Alta resistencia a impactos o golpes.
- Es un material que se puede reciclar.

- Desventajas:

- Es un plástico algo complejo de imprimir.
- Es muy propenso al Warping.
- No es biodegradable.
- Es muy susceptible a cambios de temperatura.

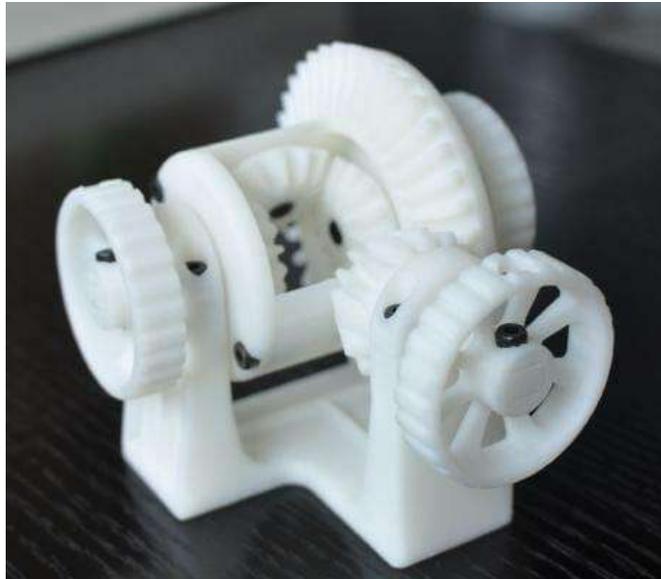


Fig. 42 Mecanismo de engranes. Fuente: <https://www.impresoras3d.com/la-guia-definitiva-sobre-los-distintos-filamentos-para-impresoras-3d/>

2.4.3.PET (Tereftalato de Polietileno).

En la Fig.43, se muestra el PET que forma parte de los termoplásticos, este plástico es utilizado en la industria embotelladora y envases, este plástico es de grado alimenticio, su temperatura de fusión anda entre los 210° y 255° °C, la temperatura para una mejor adherencia a la cama caliente está entre 55° y 70° °C [21].

- Ventajas:

- Cuenta con una alta transparencia a pesar del color del filamento.
- Baja filtración de humedad.
- Resistente a impactos o golpes.
- Resistencia a desgaste y corrosión.
- Es un material reciclable.
- Es un plástico impermeable.
- Tiene una buena flexibilidad.
- Uso alimenticio.

- Desventajas:

- Nivel de toxicidad bajo.
- No es biodegradable.
- Su resistencia térmica es baja, ronda a los 70° C.



Fig. 43 Plástico Pet. Fuente: <https://www.impresion3d.xyz/materiales-para-impresion-3d/>

2.4.4.PETG (Tereftalato de Polietileno Glicol).

El PETG se obtiene del proceso de copolimerización del PET, este proceso consiste en agregarle glicol al PET, este plástico combina algunas ventajas de otros plásticos como el PLA y ABS, este material es uno de los más utilizados en la impresión 3D (FDM), su temperatura de fusión es entre 210° y 260° °C, y la temperatura de la cama caliente para una buena adherencia es de 60° a 80° °C (véase Fig.44) [23].

- Ventajas:

- Es muy fácil de imprimir como el PLA.
- Tiene buena resistencia a impactos.
- Tiene una tolerancia a la torsión a comparación de otros plásticos como el ABS.
- Es complicado que presente problema de warping.
- Cuenta con una buena resistencia térmica.
- Es el plástico que ofrece mayor transparencia a comparación de los demás.
- Uso de grado alimenticio.

- Desventajas:

- Presenta deformaciones a los 89° °C.
- Es más denso por lo cual genera mucho hilo en la extrusión.
- Es necesario utilizar adhesivos para una buena adherencia.



Fig. 44 Petg. Fuente: <https://www.svmgt.net/project/pe/>

2.4.5.NYLON.

Como se ve en la Fig.45, el NYLON es un polímero que está constituido por enlaces de tipo amidas, a este tipo de materiales se le conoce como poliamidas, este material permite tener filamentos flexibles y rígidos, como el ABS o PETG este material también se utiliza para piezas mecánicas como engranes o piezas que sean sometidas a mucha fricción, su temperatura de fusión es alrededor de los 240° a 260° °C, la adherencia a la placa es necesario adhesivo y una temperatura de la cama caliente a unos 80° C [22].

- Ventajas:
 - Es un material con una alta resistencia térmica y a impactos.
 - Cuenta con un coeficiente de fricción bajo.
 - Tiene una buena adherencia de capa.
 - La calidad de impresión presenta acabados suaves.
 - Buenas propiedades mecánicas.
- Desventajas:
 - No es biodegradable.
 - Absorbe la humedad muy fácil.
 - Su conservación es complicada.
 - Es propenso a warping si no se tiene una buena adherencia a la cama.
 - Los cambios bruscos de temperatura pueden causar deformaciones.



Fig. 45 Engranes de nylon. Fuente: <https://www.3dnatives.com/es/caracteristicas-tiene-nylon-en-impresion-3d-120320202/>

2.4.6.HIPS (Poliestireno de alto Impacto).

El HIPS se muestra en la Fig.46, es un polímero con una combinación de estireno y butadieno, que a su vez generan una alta resistencia a impactos, este material es biodegradable, es un plástico muy similar al ABS por sus características. Su punto de fusión ronda entre los 210° y 260° °C, tiene buena adherencia sin la necesidad de altas temperaturas, se utiliza mucho en los soportes de impresión, ya que este polímero se disuelve fácilmente en hidrocarburos como es el limoneno [21][23].

- Ventajas:
 - Este polímero es reciclable.
 - Buena resistencia térmica e impactos.
 - Es resistente a ácidos bases.
 - Este material no es propenso a warping.
 - Resistente al agua.
 - No genera gases tóxicos.
 - No utiliza cama caliente.
 - Tiene buenas propiedades mecánicas.

- Desventajas:
 - No es un material biodegradable.
 - Se deforma a partir de los 80° °C
 - No aguanta estar en la intemperie.



Fig. 46 Soporte de hips. Fuente: <https://www.3dnatives.com/es/hips-soporte-impresion-3d-070820202/>

2.4.7.TPU o TPE.

El TPU o TPE está compuesto por una combinación de un termoplástico y caucho (elastómero) así juntando las mejores características de cada tipo de material, este material se utiliza comúnmente en la fabricación de suelas de zapatos como se ve en la Fig.47, llantas o neumáticos, fundas protectoras, juguetes flexibles, su punto de fusión ronda entre los 200° y 240° °C, con una temperatura en la cama caliente de 60° a 70 °C [24].

- Ventajas:

- Alta resistencia a rupturas y a fatiga.
- Tiene la capacidad de recuperar su forma original.
- Es un material reciclable
- Su textura es suave.
- Tiene un buen amortiguamiento a impactos.

- Desventajas:

- Conforme al tiempo pierde la capacidad elástica.
- Poca resistencia a químicos.
- Pierde su elasticidad si es expuesto a una mayor temperatura de la adecuada.
- Poca resistencia térmica.



Fig. 47 Tenis de tpu. Fuente: <https://www.impresoras3d.com/imprimir-3d-con-materiales-flexibles/>

2.4.8.PVA (Acetato de Polivinilo).

El PVA es un polímero que tiene características gomosas, este material es comúnmente conocido como cola blanca o cola vinílica, este material se caracteriza por tener la capacidad de disolverse en agua, por lo mismo se utiliza mucho para imprimir soportes de piezas distintas Fig.48. Su punto de fusión oscila entre los 180° y los 200° °C, y requiere de una temperatura de 50° °C en la cama caliente [21].

- Ventajas:
 - Es un material biodegradable.
 - Es muy fácil retirar los soportes de las demás piezas.
- Desventajas:
 - Al ser disuelto en agua, su almacenamiento es muy complejo.
 - Es un material costoso.



Fig. 48 Soporte de pva. Fuente: <https://www.impresoras3d.com/filamento/pva/>

2.5. Problemas de la impresión 3D (FDM).

La impresión 3D FDM es una tecnología resiente de la cual poco a poco se va dando a conocer más información, así como de los problemas que se puede enfrentar la comunidad al incorporarse en el mundo de la impresión 3D. Existen muchos problemas ocasionados por distintas circunstancias debido a que esta tecnología cuenta con un sinfín de variables a configurar, por lo cual, es importante encontrar una estabilidad entre todas estas variables para que cualquier impresión pueda salir de la mejor manera posible.

2.5.1.Warping.

El warping es uno de los principales problemas en la impresión 3D FDM, esta falla se caracteriza por una deformación o pandeo de las capas que están en contacto con la cama caliente, este defecto se puede visualizar en la Fig. 49, este problema es más común en los materiales que requieren de temperaturas muy elevadas como es el ABS y que tienden a deformarse al momento de que se enfrían, este defecto se puede llegar a producir por los siguientes factores [25]:

- Mala adherencia a la placa: la mala adherencia a la cama caliente genera este desprendimiento y permitiendo que se deforme la pieza, es necesario nivelar correctamente la cama caliente y a su vez utilizar algún producto para mejorar la adherencia como: laca para cabello, cinta adhesiva y masking tape.
- Una temperatura inadecuada de la cama caliente: el no tener una temperatura correcta generará que el plástico se contraiga despegando la pieza y deformando su estructura, es necesario contar con la temperatura adecuada de acuerdo a las especificaciones del fabricante del filamento.
- Contracción térmica: en algunos filamentos es necesario tener el área de la impresora a una temperatura estable, ya que hay filamentos que sufren deformaciones a cambios bruscos de temperatura como es el ABS, se contrae el plástico y genera este defecto o deformidad [26].



Fig. 49 Warping. Fuente: <https://all3dp.com/2/how-to-prevent-abs-from-warping-on-a-heated-bed/>

2.5.2.Delaminación o Cracking.

La delaminación o cracking es una falla de impresión 3D, que se refiere al rompimiento o desunión entre las capas de la impresión (véase Fig.50). Este

error se puede derivar de varias situaciones con respecto a las temperaturas, por lo que es recomendable darles importancia a las temperaturas referidas del fabricante del filamento, he incluso por una mala configuración de medidas del nozzle, este defecto suele pasar con plásticos que tienen un alto punto de fusión, ya que entre más alta sea la temperatura, es más difícil poder controlar los cambios de temperatura, este problema se puede desarrollar por los siguientes aspectos:

- Mala adherencia entre capas: esto se puede generar por dos razones distintas:
 - Baja temperatura del nozzle: la temperatura del nozzle tiene que ser la necesaria para poder derretir de mejor manera el plástico, al no tener una buena temperatura por debajo del punto de fusión del plástico, no permite que las capas tengan un buen agarre entre sí y al enfriarse el plástico se contrae y se despegan las capas.
 - La altura de la capa no entra en el rango de la medida del nozzle utilizado: para una buena adherencia es necesario que cada capa que se genere, proporcione una presión suficiente para que se peguen adecuadamente, se recomienda que la altura de la capa no supere un 80% del tamaño del nozzle ocupado, comúnmente se utiliza el nozzle de 0.4 mm de diámetro, por lo cual la altura de la capa no puede ser mayor a 0.30 mm para que las capas se adhieran correctamente.
- Contracción térmica: este problema se presenta en plásticos con un punto de fusión relativamente alto, porque los cambios de temperatura muy bruscos pueden generar contracciones del material en distintos puntos de la pieza y provocar el cracking, se recomienda crear un entorno cálido en toda el área de impresión sin cambios bruscos de temperatura, tomando en cuenta que se pueden generar accidentes por altas temperaturas en la electrónica de la máquina.



Fig. 50 Cracking. Fuente: <https://www.smallcarsgarage.com/impresoras-3d-fdm/>

2.5.3.Desplazamiento de capas o layer shift.

El desplazamiento de capas es un problema generado por el hardware de la máquina y consiste en que el eje X o Y se desplacen, cambiando el punto de origen o referencia en una altura determinada, ocasionado que la pieza quede chueca como se ve en la Fig.51, las causas por las cuales se genera este error son las siguientes:

- Falla mecánica: existen distintas fallas mecánicas que pueden generar el desplazamiento de capas como lo son:
 - Mala tensión en las correas: la tensión de las correas es importante debido a que son las que transmiten el movimiento de los ejes y para poder tener piezas con las medidas específicas, es importante tener una buena transmisión. La tensión ideal debe de ser ni tan flojas ni tan apretadas, corroborando que los movimientos de los ejes sean fluidos y sin un esfuerzo excesivo de los motores.
 - Correa desgastada: con el tiempo y el uso estas correas se van desgastando debido a que todo movimiento mecánico siempre tiene fricción que genera desgaste, este deterioro puede generar en algún movimiento brusco de los motores que se pueda brincar algún diente de la correa y generar este desplazamiento, es importante revisar correas habitualmente para evitar estos problemas.
 - Obstrucción: en la impresión 3D es común que se genere algo de desperdicio considerando que algunas piezas utilizan soportes, por lo cual, es muy fácil que el área de impresión se llene de desperdicio y provoque un bloqueo o atasco en el movimiento de los motores o correas y a su vez genere el desplazamiento de capa, por lo cual, se recomienda tener siempre un área de impresión limpia.
- Exceso de temperatura en los motores: el exceso de temperatura en los motores se genera debido a exceso de fuerza de los motores provocada por una tensión alta de las correas, así mismo exigiendo una mayor corriente a los drivers, ocasionado un sobrecalentamiento en la electrónica, que a su vez genera que los drivers se desconecten por seguridad y protección de los mismos, generando que los motores pierdan pazos provocando el desplazamiento de capas, se recomienda tener ventilación en la electrónica [26].
- Ausencia de potencia en los motores: es importante revisar el voltaje que se le suministra a los drivers, corroborando su configuración con el fin de que le entreguen la potencia necesaria para que los motores muevan los ejes de la máquina.

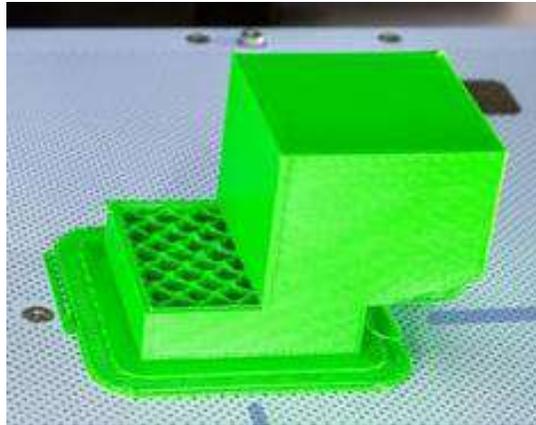


Fig. 51 Layer shift. Fuente: <https://all3dp.com/2/layer-shifting-3d-printing-tips-tricks-to-solve-it/>

2.5.4. Bamboleo en el eje Z o Z-wobble.

El Z-wobble es una falla por hardware derivada del eje Z, esta deformación se presenta en pequeñas ondulaciones periódicas en dirección del mismo eje como se visualiza en la Fig.52, es importante saber identificar la falla, dado que al tener problemas de extrusión puede generar una deformación similar, pero sin ser periódica, las causas de este problema son [26]:

- Mal montaje del eje Z: el montaje del eje Z se divide en dos partes:
 - Motor flojo: es importante montar los motores de manera correcta y apretar los tornillos adecuadamente, ya que si el motor no este fijo puede generar vibraciones.
 - Varilla roscada mal puesta: la varilla es la pieza que se encarga de transmitir el movimiento, por lo cual es necesario acoplar la varilla de tal forma que quede derecha para no generar vibración.
 - Acople: hay impresoras que cuentan con acoples rígidos generando vibraciones, si el eje del motor y la varilla no están alineadas perfectamente, por lo que se recomienda remplazarlos por acoples flexibles, estos permiten que si la varilla y el eje del motor no quedan alineados este acople amortigua ese desfase de ejes al girar, evitando vibraciones.

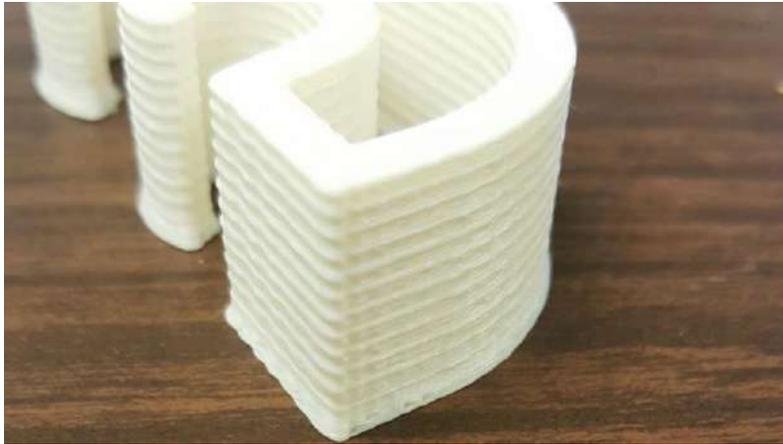


Fig. 52 Z-wobble. Fuente: <https://all3dp.com/2/3d-printer-z-banding/>

2.5.5.Hilillos o Stringing.

El stringing es un problema de una mala configuración de los parámetros de una pieza que se va a imprimir, esta falla consiste en que se generan hilos del mismo material al momento en que el extrusor se mueve de una pieza a otra, arrastrando residuos creando estos hilillos como se ve en la Fig.53, las causas de este problema son [25]:

- **Temperatura alta:** es de gran importancia verificar la temperatura de fusión del filamento a utilizar, puesto que una temperatura más alta de lo recomendado por el fabricante, puede derivar a generar estos hilillos. Se sugiere imprimir una torre de temperaturas para encontrar la temperatura de fusión ideal del filamento a utilizar.
- **Distancia de retracción:** esta variable a configurar consiste en que el extrusor jale el filamento justo en el momento en el que se mueve a otra pieza, con el fin de no generar los hilillos. La distancia de retracción más utilizada es de 3 mm a 6 mm, pero esto depende mucho del tipo de filamento y marca, se recomienda hacer pruebas para su óptimo resultado.
- **Velocidad de retracción:** la velocidad de retracción es otro factor que también puede determinar si se generan o no los hilillos, por lo general se utilizan velocidades entre 40 mm/s y 60 mm/s, esto también depende del tipo y fabricante del material.

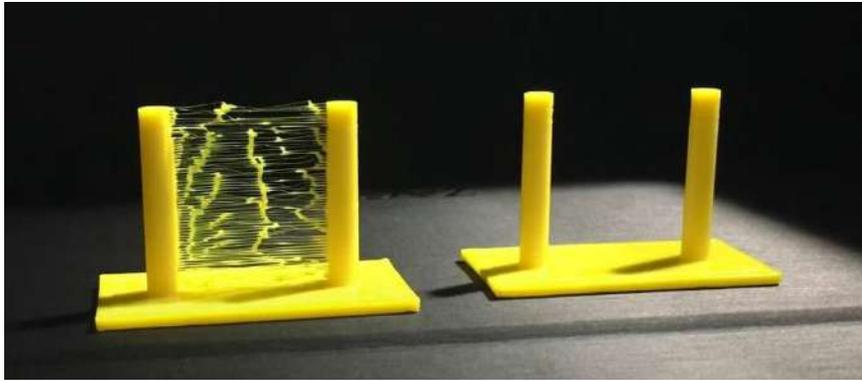


Fig. 53 Hilillos. Fuente: <https://all3dp.com/2/3d-printer-retraction-speed-what-does-it-mean/>

2.5.6. Sobrecalentamiento o overheating.

El overheating es un problema que se caracteriza por un sobrecalentamiento del material, este error da como resultado una deformación ocasionando que el centro de cada capa se hunda como en la Fig.54, por lo cual, es importante tomar en cuenta las recomendaciones del fabricante respecto al uso del material, las causas de esta deformación son las siguientes:

- Alta temperatura de extrusión: una temperatura superior a la recomendada por el fabricante genera estas deformaciones debido a que el plástico tarde más en enfriarse y endurecerse, lo que ocasiona que las capas se cuelguen o pandeen, por lo cual, se recomienda poner atención en el tipo de material y el fabricante.
- Mala configuración del ventilador de capa: como su nombre lo indica, el ventilador de capa se encarga de enfriar rápidamente el plástico con el fin de que se endurezca y no presente deformación, por lo cual es importante configurar correctamente para evitar el overheating.

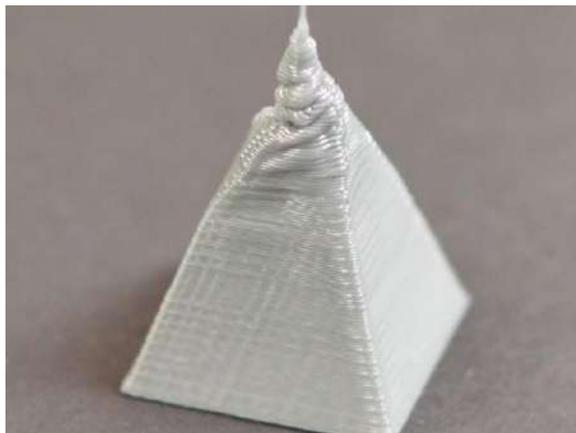


Fig. 54 Sobrecalentamiento. Fuente: <https://principiantedelinux.wordpress.com/2018/09/23/como-resolver-el-calentamiento-exesivo-over-heating-en-impresion-3d/>

2.5.7. Pie de elefante.

En la Fig.55, se muestra la deformación del pie de elefante que se caracteriza por generar una expansión del material en el plano horizontal en las primeras capas de la impresión, las causas de estos problemas son [26]:

- Mala calibración: al calibrar el nivel de la cama caliente respecto al extrusor, es de suma importancia verificar que la cama tenga el nivel adecuado porque al quedar la punta del nozzle demasiado cerca de la cama, va a ocasionar que al depositar las primeras capas estas se aplastarán por el mismo extrusor generando una expansión horizontal dando como resultado el pie de elefante.
- Alta temperatura de la cama caliente: la cama caliente debe tener una temperatura de acuerdo al tipo de material que se va a utilizar, al tener una temperatura excesiva en la cama caliente podría ocasionar que esas primeras capas no se endurezcan de la mejor forma, causando el pie de elefante.



Fig. 55 Pie de elefante. Fuente: <https://capasobrecapa.com/solucionar-problemas-fdm/>

2.6. Sistema eléctrico de una impresora 3D.

El sistema eléctrico de un robot es una parte muy importante de esta, ya que es el encargado de otorgar toda la potencia necesaria a todos los componentes eléctricos de la máquina, este tipo de robots aplicados a la impresión 3D cuentan con distintos componentes que la constituyen, como la placa controladora, la parte de interacción con el usuario, módulos eléctricos para el buen funcionamiento del sistema, etc. Estos componentes son esenciales para el funcionamiento del robot, ya que son los encargados de dar las instrucciones para que se lleve a cabo una correcta impresión 3D.

2.6.1. Placa controladora.

En el mercado se encuentran muchas placas controladoras aplicadas a la impresión 3D, unas con microcontroladores más potentes que otros,

dependiendo a qué tipo de impresora se necesite aplicar, con doble extrusión, tamaño de impresión, etc.

La placa base BIGTREETECH SKR V1.3 que se muestra en la Fig.56, es investigación y desarrollo de la empresa Shen Zhen Big Tree Technology Co., LTD. Esta placa esta desarrollada para impresoras 3D pequeñas y medianas, esta placa tiene características que la vuelven una muy buena opción para desarrollar una impresora 3D y son las siguientes:

- Esta placa controladora cuenta con un microcontrolador LPC1768, este pic cuenta con un procesador de ARM Cortex-M3 de 32 bits con una frecuencia de funcionamiento de 96 MHz, cuenta con 512 KB de memoria flash y 32 MB de memoria RAM, cuenta con interfaz USB, I2C CAN, SPI, ethernet y serie, el voltaje de funcionamiento de 3.3v [27][28].
- Las pistas que se implementaron en la placa llevaron a cabo un riguroso análisis y desarrollo, con el propósito de optimizar la disipación de calor en toda la placa.
- El voltaje de funcionamiento es de 12v o 24v CD, así como también admite pantallas táctiles a color de 2.8 y 5.5 pulgadas, cuenta con sistema de recuperación por falla eléctrica, dispone con fusible removible por si se presenta falla eléctrica [28].

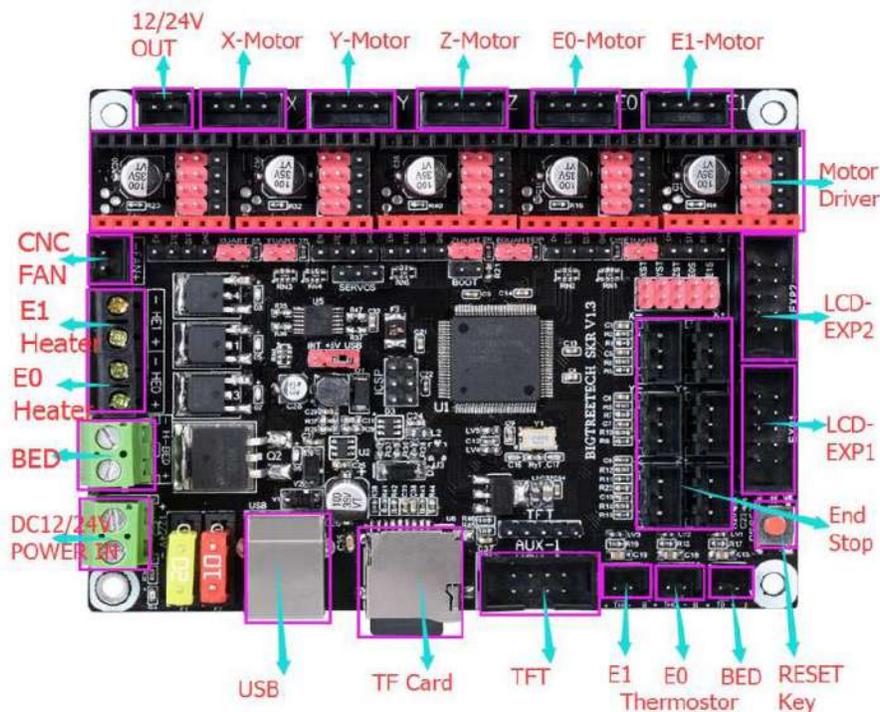


Fig. 56 bigtree tech skr v1.3. Fuente: Bigtree tech SKR V1.3 Instructions. <https://github.com/bigtree tech>.

- Esta placa admite las dos posibles configuraciones de funcionamiento para los motores a pasos STEP/DIR y SPI/UART, de acuerdo al tipo de driver a utilizar.

2.6.2. Pantalla lcd.

Las pantallas LCD es una pieza importante en la interfaz porque el usuario puede manipular el sistema de la máquina, por lo cual es requerido en las impresoras 3D, en donde al usuario le permite saber información del proceso que lleva a cabo la máquina y a su vez poder modificar parametros del proceso que se observa en la Fig.57.

La pantalla BIGTREETECH TFT24-V1.1 es una lcd que reemplaza a la típica pantalla lcd12864, cuenta con un chip ARM Cortex-M3, con una CPU de 32 bits, tiene dos modos de trabajo, el modo UART y el modo de pantalla 12864, admite tarjeta SD y puerto USB, voltaje de funcionamiento 5v [29].



Fig. 57 Bigtreetech TFT24-V1.1. Fuente: <https://github.com/bigtreetech>

2.6.3. Driver de motores.

Los drivers para motores son circuitos que tienen como objetivo controlar los motores de corriente continua de una manera muy sencilla, estos controladores permiten configurar las corrientes y voltajes que se le suministran a los motores de manera que permite controlar la velocidad y fuerza, así como también son protecciones para evitar que toda la electrónica pueda dañarse debido a que los microcontroladores están diseñados para manipular señales digitales y no son capaces de alimentar adecuadamente un motor ocasionado avería en la electrónica.

Existen dos tipos de driver de acuerdo al tipo de motor a pasos que se debe utilizar, motor paso a paso unipolar o bipolar, en el caso de las impresoras 3D se utilizan motores bipolares, ya que su control es más sencillo y cumplen con lo necesario para este tipo de máquinas.

El driver TMC2208 que se ve en la Fig.58, es de la marca TRINAMICs, este driver se caracteriza por ser un driver ultra silencioso, una muy buena eficiencia y el mejor parmotor que se puede entregar, su regulación rápida de corriente fusionado con SpredCycle permite conseguir un movimiento dinámico, su voltaje de funcionamiento es desde los 4.7v a los 36v, funciona con corriente continua de hasta 1.5 A con picos de hasta 2A, tiene frenado pasivo, se puede utilizar en modo STEP/DIR o en modo SPI/UART [30].

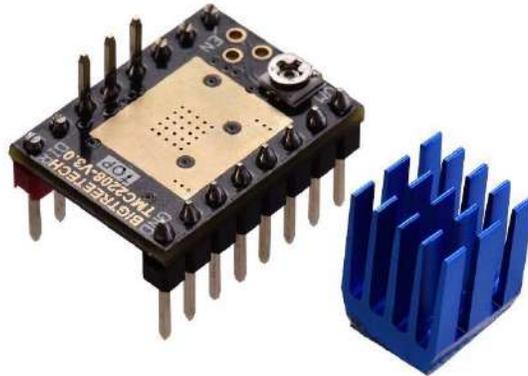


Fig. 58 Driver TMC2208. Fuente: https://www.inky.mx/Bigtreetech-Tmc2208-V3-0-Controlador-De-Motor-Paso-A-Paso-,1145_1631649436

2.6.4.Modulo Mosfet.

El Mosfet es un componente electrónico que forma parte de los transistores utilizado para amplificar o conmutar señales electrónicas, cuenta con tres terminales que son la fuente (S), drenador (D) y puerta (G) Fig.59, su funcionamiento consiste en crear un canal entre el drenador y la fuente al aplicar una tensión en la puerta, de acuerdo a la cantidad de tensión suministrada es el incremento de la conductividad eléctrica derivado de un aumento de la cantidad de portadores de carga.

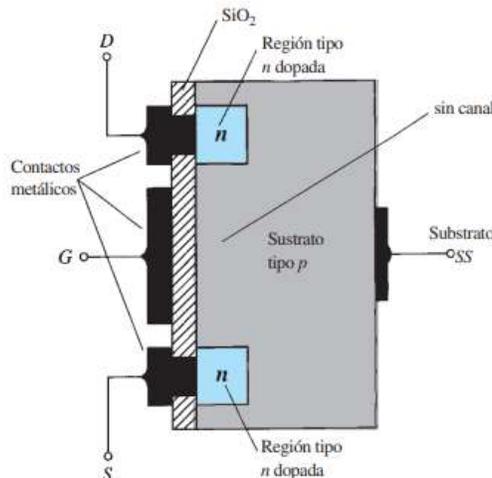


Fig. 59 Mosfet. Fuente: *Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos. (2009).*

El módulo mosfet 210A que está en la Fig.60, se utiliza en las máquinas de impresión 3D para controlar la cama caliente y la resistencia térmica, esta placa permite manejar altas corrientes sin calentarse dando como resultado un menor tiempo en el que la cama caliente o la resistencia térmica llegan a la temperatura deseada y sin comprometer a la electrónica de la máquina, este módulo cuenta con un mosfet HA210NO6, este módulo soporta hasta 60v y 210 A para suministrar la potencia necesaria [31].



Fig. 60 Mosfet HA210NO6. Fuente: <https://uelectronics.com/producto/modulo-de-potencia-mosfet-210a-cama-caliente-hot-bed-3d-cnc/>

2.6.5. Modulo TL-smoother.

El TL-smoother Fig.61, es un arreglo de diodos que suaviza la señal a los motores a pasos, este filtrado de señales es indispensable en ciertos drivers de motores debido a que se genera el efecto conocido como Aliasing o piel de Salmón que dan como resultado en la pieza impresa un acabado ondulado, por lo general estos problemas los presentan las impresoras de formato delta y que utilizan drivers DRV8825 o los famosos A4988 que son drivers muy económicos [32].

Este filtro de diodos elimina las resonancias provocadas por los campos magnéticos de los motores como también los armónicos de las señales PWM, este tipo de circuitos consumen corriente por lo que se tiene que tomar en cuenta al configurar la corriente que se le tenga que entregar a los motores, no es tan necesario aplicar estos módulos en impresoras cartesianas o con el uso de otros drivers debido a que no se presentan estos errores.



Fig. 61 TL-smoother. Fuente: <https://www.amazon.es/Biqu-TL-Smoother-Add-impresoras-controladores/dp/B0719D5N2V#:~:text=%E2%9C%94%20Principio%20funcional%3A%20TL%2DSmoother,cuando%20el%20controlador%20est%C3%A1%20desenergizado>.

2.6.6.Finales de carrera.

Un final de carrera se categoriza como un sensor de posición, esto quiere decir que este dispositivo que permite saber la posición de un elemento móvil a través de un accionamiento mecánico como se ve en la Fig.62, estos sensores se pueden situar tanto al inicio de un recorrido o al final, en la impresión 3D se utilizan estos sensores para saber en dónde está el origen o punto de referencia para de ahí realizar los movimientos necesarios al imprimir una pieza [18].

Este componente electromecánico al estar en una presión y activarse manda un pulso hacia la placa controladora en donde puede ser "1" o "0" lógico, de acuerdo a como sea haya configurado, en las impresoras 3D o máquinas CNC determinan el punto inicial (0,0,0) para la impresora 3D y (0,0) para las CNC.

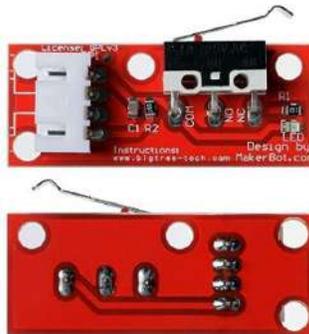


Fig. 62 End-stop. Fuente: <https://tienda.bricogeek.com/impresion-3d-electronica/1424-final-de-carrera-para-impresora-3d-endstop.html>

2.6.7.BL-touch.

El BL-touch, es un sensor de nivelación que nos permite nivelar la cama de impresión 3D independientemente de cómo se encuentre la superficie de impresión, esto quiere decir que este sensor permite identificar las inclinaciones que pueda presentar el área de impresión y compensar esos desniveles a través del movimiento del eje Z, este sensor se monta en el extrusor que hará determinar la distancia a la que tiene que quedar el nozzle respecto a la cama caliente, se muestra en la Fig.63.

Este sensor trabaja bajo el efecto hall o detección magnética, a través de un perno metálico que se desplaza gracias a un electroimán y la gravedad, así pudiendo identificar el nivel de la cama caliente, este tipo de nivelación automática es recomendable para áreas de impresión que superan los 30x30 cm porque tienden a tener más deformaciones por el tamaño, y en las áreas menores a los 30x30 cm solo se recomienda calibración manual debido a que las superficies menores no presentan deformaciones.



Fig. 63 BL-touch. Fuente: <https://www.amazon.com/-/es/ANTCLABS-BLTouch-nivelaci%C3%B3n-autom%C3%A1tico-3-3/dp/B076PQG1FF>

2.6.8.Ventiladores.

En las impresoras 3D es de suma importancia el uso de ventiladores, por lo general se utilizan tres ventiladores como se muestra en la Fig.64, un ventilador de capa, un ventilador en el extrusor y uno para la electrónica.

El ventilador de capa, como su nombre lo dice, se utiliza para enfriar el filamento que ya fue extruido con el fin de que se endurezca rápidamente y conserve la estructura. El ventilador del extrusor se utiliza para que el filamento no se derrita antes de ser extruido evitando atascos en el mismo. El ventilador de la electrónica disipa el calor que se pueda generar por los drivers de los motores o los mosfet de la cama caliente o del extrusor.



Fig. 64 Ventilador. Fuente: <https://bitfab.io/es/blog/ventilador-de-capa/>

2.6.9.Cama caliente.

La cama caliente es el área en donde se deposita el filamento derretido y se forma la pieza, de tal modo que es necesario que esta base tenga ciertas temperaturas para que la pieza tenga una buena adherencia a la base y no se deforme la pieza en el proceso de la impresión.

2.6.9.1. Resistencia térmica.

La cama caliente MK2 está conformada por una PCB de 21 x 21 cm, únicamente se encuentra un circuito resistivo en forma de pistas, su resistencia es de 1.0 a 1.5 ohm si se utiliza una fuente de 12v y de 3.0 a 3.4 ohm a 24v [18].



Fig. 65 Hot-bed. Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/32811777582.html>

2.6.9.2. Termistor.

A continuación, en la Fig.66, se observa el termistor que se caracteriza por ser una resistencia con coeficiente de temperatura negativa, esto quiere decir que de acuerdo a su temperatura, su resistencia eléctrica cambia, por lo cual estando conectado a un microcontrolador se puede definir la temperatura a la que se encuentra la cama caliente y a su vez a través de un sistema de control moderar la temperatura deseada [33].



Fig. 66 Termistor. Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-798211618-ntc-termistor-100k-impresora-3d-arduino-_JM

El modelo de termistor más utilizado en la impresión 3D es el NTC 100k, cuando la temperatura sube, su resistencia disminuye, su rango de temperatura es de entre los -50 °C a 280 °C y su valor de resistencia nominal es de 25 °C – 100k ohm \pm 1%.

2.6.10. Hot-end.

El hot-end es la parte en donde se derrite el filamento para poder hacer la pieza 3D, sus componentes eléctricos son una resistencia térmica para poder calentar el hot-end lo suficiente para derretir el plástico y de igual forma, como en la cama caliente, un termistor para poder controlar la temperatura de la resistencia a través de un sistema de control.

2.6.10.1. Resistencia cerámica.

La resistencia cerámica de cartucho Fig.67, más comúnmente utilizada en la impresión 3D, está compuesta por un núcleo de cerámica con un recubrimiento de acero inoxidable con un diámetro de 6 mm y una longitud de 20 mm, trabaja a 12/24v con un consumo de 40w, alcanza temperaturas de hasta 260 °C [34].



Fig. 67 Resistencia térmica. Fuente: <https://uelectronics.com/producto/resistencia-cermica-12v-40w-impresora-3d-reprap-prusa-i3/>

2.6.10.2. Termistor.

El termistor es una resistencia con coeficiente de temperatura negativa, esto quiere decir que, de acuerdo a su temperatura, su resistencia eléctrica cambia, por lo cual estando conectado a un microcontrolador se puede definir la temperatura a la que se encuentra el hot-end y a su vez a través de un sistema de control, poner la temperatura deseada [33].



Fig. 68 Termistor. Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-798211618-ntc-termistor-100k-impresora-3d-arduino-_JM

Fig. 1

El modelo de termistor más utilizado en la impresión 3D es el NTC 100k, cuando la temperatura sube su resistencia disminuye, su rango de temperatura es de entre los $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su valor de resistencia nominal es de $25\text{ }^{\circ}\text{C} - 100\text{k ohm} \pm 1\%$.

2.6.11. Servomotor.

Este dispositivo es un motor o actuador especial, ya que permite controlar la posición de su eje en cualquier momento, está desarrollado para moverse un cierto grado de acuerdo al requerido y poder mantener su posición. En la Fig.69 se muestra que el servomotor está compuesto por un motor DC acoplado a una

caja reductora de engranes y la parte electrónica de control, cuentan con tres cables de conexión que son el voltaje, tierra y señal PWM, la señal PWM nos permite determinar el ángulo al que el servomotor va a girar, además cuenta con un potenciómetro como sensor de posición para corroborar que el ángulo es el correcto [35].

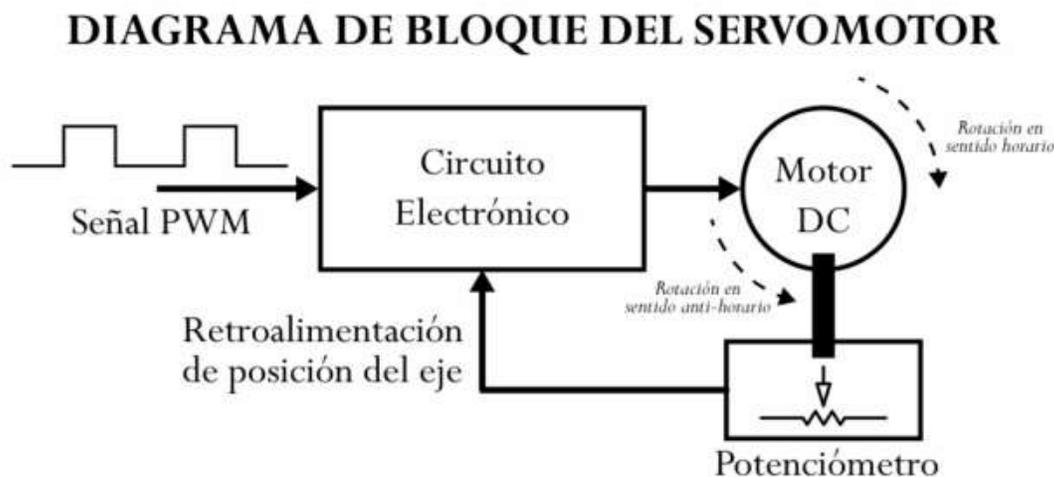
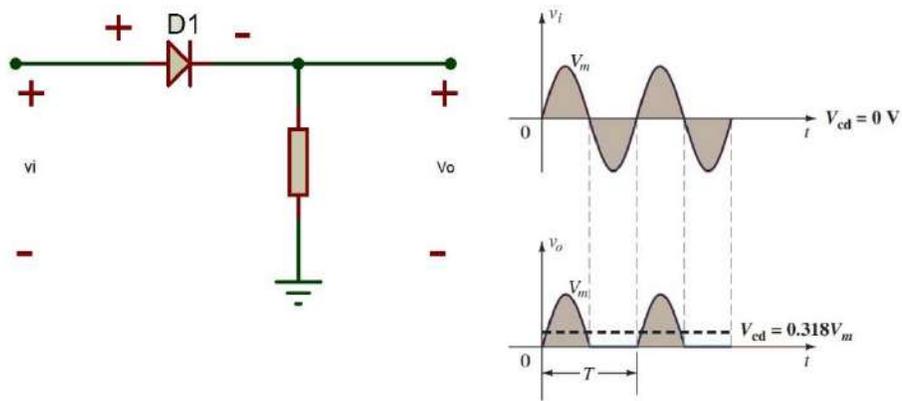


Fig. 69 Diagrama de Bloque del Servomotor. Fuente: <https://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/IntroServos.pdf>

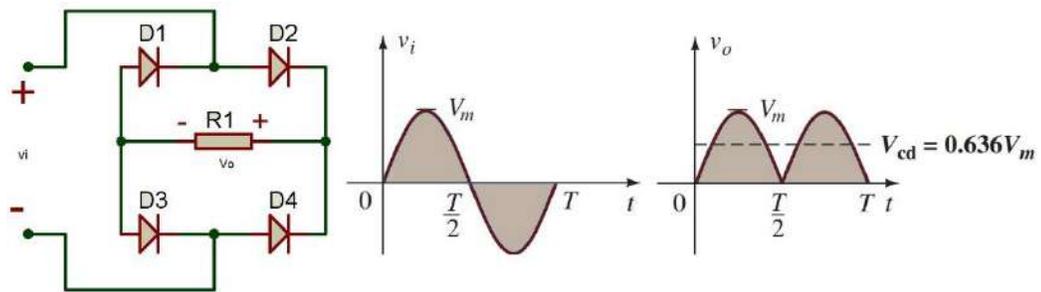
2.6.12. Módulo relay.

El módulo relay es un componente utilizado para conmutación de cargas de potencia, los contactos de estos componentes están desarrollados para soportar cargas de hasta 10A y 250v de CA y unos 30v de CD que se muestra en la Fig.70, que como todo fabricante se recomienda niveles por debajo de los recomendados para evitar problemas, estos módulos cuentan con sus entradas de control aisladas mediante optoacopladores, esta señal de control puede provenir de cualquier circuito de control como lo puede ser microcontroladores, de acuerdo al control existen módulos de 5v o 3v de acuerdo a la tensión de control.



Rectificador de media onda

Fig. 72 Señal rectificada de media onda. Fuente propia.



Rectificador de onda completa

Fig. 73 Rectificación de onda completa. Fuente propia.

2.6.13.3. Filtrado.

Esta etapa está conformada por uno o varios capacitores que son utilizados para eliminar la componente de tensión alterna que envía la etapa de rectificación, el capacitor se carga al momento que el voltaje está en lo más alto y cuando el voltaje cae el capacitor se descarga para poder abastecer esa caída de tensión y de esa forma suaviza la onda rectificada (véase Fig.74).

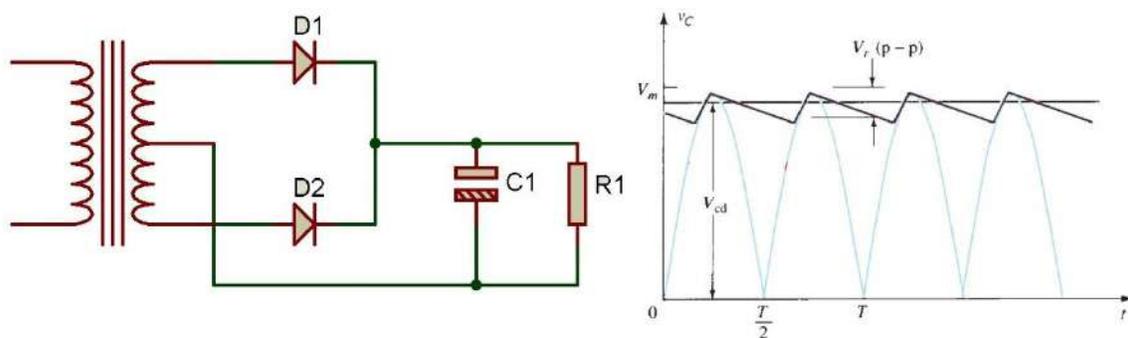


Fig. 74 Filtro de capacitor. Fuente propia.

2.6.13.4. Regulación.

Esta última etapa de las fuentes de alimentación consiste en el uso de uno o varios circuitos integrados que tienen la capacidad mantener constante la salida de tensión independientemente de la entrada, esta etapa se divide en dos que son los reguladores lineales y los reguladores conmutados.

2.6.13.4.1. Reguladores lineales.

Estos son dispositivos electrónicos que su objetivo es controlar la tensión de salida Fig.75, a su vez ajustando continuamente las caídas de tensión, aumentando la corriente, la ventaja de este tipo de reguladores es que son circuitos sencillos y baratos, pero sus desventajas son que su eficiencia es baja por lo cual la energía restante se disipa en calor, entonces por lo general se sobrecalientan estos circuitos.

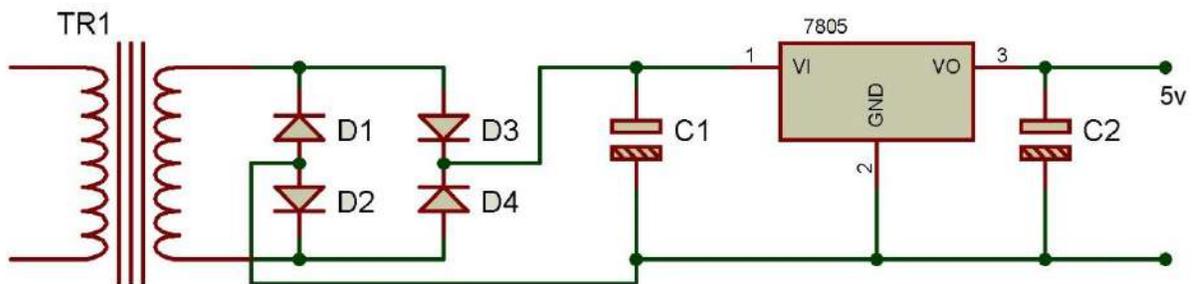


Fig. 75 Regulador de voltaje. Fuente propia.

2.6.13.4.2. Reguladores conmutados.

Estos reguladores a diferencia de los lineales tienen una buena eficiencia, su elemento de control trabaja en estados de encendido y apagado, así se genera una señal cuadrada o un pulso PWM como se ve en la Fig.76, y esto permite que el transistor conectado a esta señal se active y desactive de acuerdo a la demanda de tensión que se requiera que proviene de la etapa de filtrados.

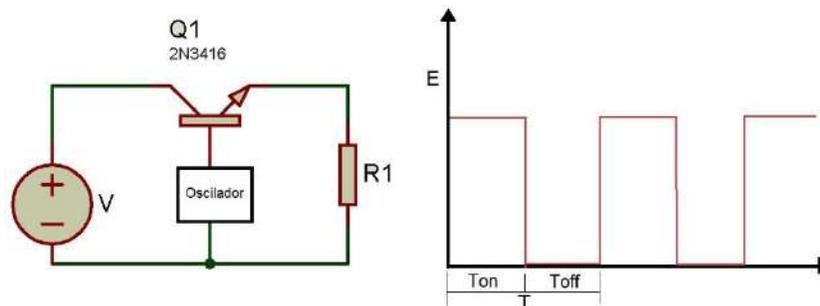


Fig. 76 Fuentes conmutadas. Fuente propia.

2.6.14. Placa IOT.

La placa ESP32-CAM Fig.77, es una tarjeta de desarrollo que cuenta con un procesador de 32-bits a 160 MHz, incluye una memoria SRAM de 520 KB, cuenta con una cámara OV2640 que puede generar una imagen UXGA de 1600x1200px, también incluye un puerto WIFI y Bluetooth, su velocidad en baudios es de 115200, se puede programar en Arduino trabaja a 5v [37].

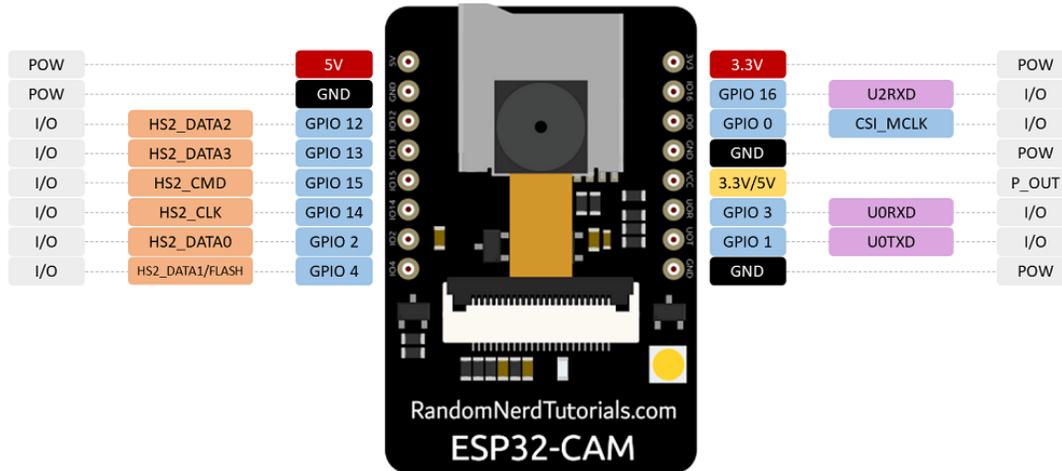


Fig. 77 ESP32-CAM. Fuente: <https://naylorlampmechatronics.com/espressif-esp/700-esp32-cam-con-camara-ov2640-esp32-wifi.html>

La placa ESP-01 Fig.78, está basado en el chip ESP8266 que cuenta con un procesador de 32 bits y conexión wifi, este módulo viene de fábrica con firmware AT que permite interconectar un Arduino a wifi o también se puede utilizar de forma independiente tomando en cuenta que solo tiene cuatro pines de configuración, funciona a 3.3v también se puede programar en Arduino.

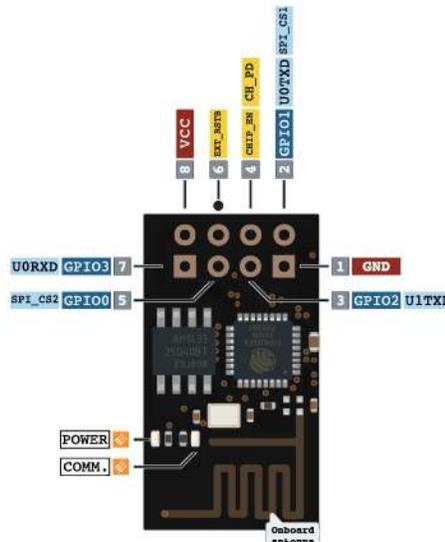


Fig. 78 ESP8266. Fuente: <https://naylorlampmechatronics.com/espressif-esp/48-modulo-esp-01-esp8266-wifi-serial.html>

2.7. Sistema de Control (Firmware).

El firmware es un código de programación que controla todos los circuitos electrónicos de cualquier dispositivo, así mismo es el software que cuenta con la comunicación directa con el hardware, el cual ejecuta todas las instrucciones previamente configuradas en el código.

2.7.1. Marlin 2.0.

Marlin Fig.79, es un firmware open source o de código abierto, generalmente dedicado para el proyecto RepRap o prototipos rápidos de replicación comúnmente conocidas como impresoras 3D, este firmware está basado en Sprinter y grbl.

Marlin es un controlador de impresoras sencillas, siendo un firmware muy adaptable a distintas impresoras, de tal manera que muchas empresas de impresoras comerciales utilizan Marlin como: Prusa, Creality, Biqu y Ultimaker. Este firmware inicialmente se ejecutó en microcontroladores Atmel AVR de 8 bits, pero con las actualizaciones han incorporado soportes para placas de 32 bits, con el propósito de que Marlin pueda adaptarse a distintas placas y configuraciones como sea posible, de tal forma que este código también permite controlar CNC y grabadoras láser [38].

Sus principales características son:

- Código G con todas las funciones con más de 150 comandos.
- Paquete completo de movimiento de código G, que incluye líneas, arcos y curvas Bézier.
- Sistema de movimiento inteligente con anticipación, movimiento basado en interrupciones, aceleración lineal.
- Compatibilidad con cinemática cartesiana, Delta, SCARA y Core/H-Bot.
- Control de calentador PID de circuito cerrado con ajuste automático, protección térmica, corte de seguridad.
- Admite hasta 5 extrusoras más una cama de impresión calentada.
- Interfaz de usuario del controlador LCD, con más de 30 traducciones de idiomas.
- Impresión de tarjeta SD y basada en host con inicio automático.
- Compensación de nivelación de la cama con o sin sonda de cama.
- Avance lineal para extrusión basada en presión.
- Soporte para extrusión volumétrica.
- Soporte para mezclas y multiextrusoras (Cyclops, Chimera, Diamond).
- Compatibilidad con sensores de agotamiento/ancho de filamento.
- Temporizador de trabajo de impresión y contador de impresión.



Fig. 79 Marlin. Fuente: <https://marlinfw.org/docs/basics/introduction.html>

2.7.2. Sistema IOT.

El Internet de las Cosas (IoT) hace referencia, como se ha adelantado, a una tecnología basada en la conexión de objetos cotidianos a Internet que intercambian, agregan y procesan información sobre su entorno físico para proporcionar servicios de valor añadido a los usuarios finales. También reconoce eventos o cambios, y tales sistemas pueden reaccionar de forma autónoma y adecuada. Su finalidad es, por tanto, brindar una infraestructura que supere la barrera entre los objetos en el mundo físico y su representación en los sistemas de información [39].

2.8. Fusion 360.

Fusion 360 es un software que pertenece a Autodesk que está desarrollado para aplicaciones de modelado 3D, es una herramienta de solución completa que ofrece CAD (Diseño Asistido por Computadora), CAE (Ingeniería Asistida por Computadora) y CAM (Manufactura Asistida por Computadora) para aplicaciones de fabricación aditiva.

Este software permite desarrollar modelos en 3D mecánicos y técnicos, a su vez permite trabajar con todo tipo de extensiones relacionadas con el desarrollo 3D, permite simular ensamblajes, este software se basa en la nube, lo que permite que se puedan conjuntar piezas de distintos archivos generando proyectos completos. Este software se utilizará para desarrollar las piezas para el chasis del robot como también para la simulación del ensamblado del mismo [40].

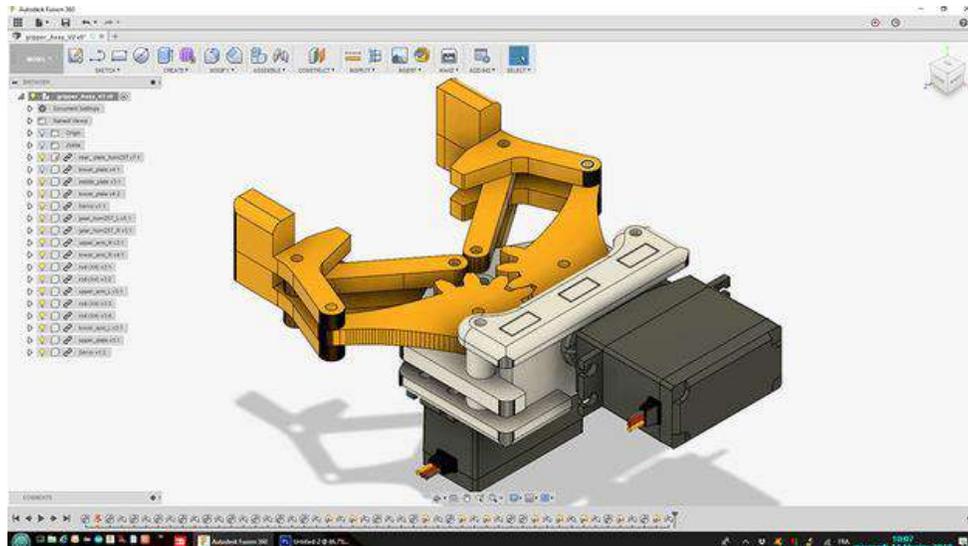


Fig. 80 Fusion 360. Fuente.

<https://www.nonsoloindirizzi.xyz/products.aspx?cname=thingiverse+gripper&cid=23>

2.9. Visual Studio Code.

Visual Studio Code, es un software editor de código fuente que fue desarrollado por Microsoft basado en el framework Electron, soporta varios lenguajes de programación como C++, Python, HTML5, JavaScript, C#, Visual Basic y F#, también cuenta con herramientas de análisis y soporte de código que ayuda al usuario a corregir errores en la sintaxis. Este programa se utilizará en este proyecto en donde se realizarán las configuraciones necesarias para el robot cartesiano, como también compilar el firmware para el mismo.

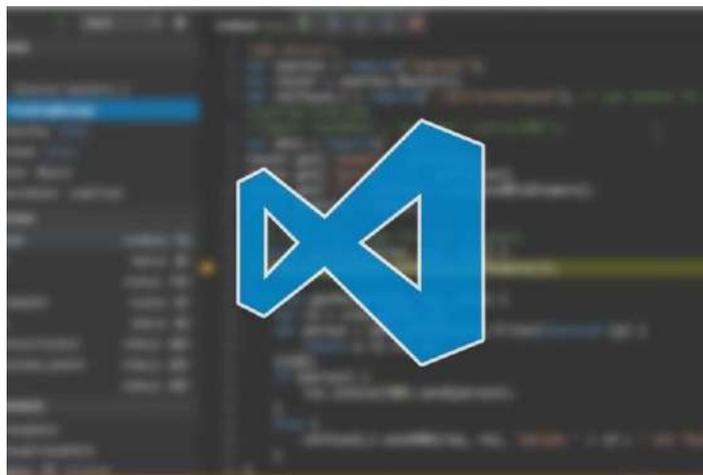


Fig. 81 Visual Studio Code. Fuente: <https://www.muylinux.com/2017/02/03/visual-studio-code-1-9/>

2.10. Cura.

Cura es un software de impresión 3D de código abierto, desarrollado por Ultimaker que permite modificar parámetros de impresión 3D y posteriormente generar el código G, una de las ventajas de este software, es su facilidad de manipulación, soporta muchos formatos de archivo y soporta distintas marcas de impresoras 3D.

Cura cuenta con complementos, en donde nos permite que los archivos CAD se puedan introducir directamente de softwares como: SolidWorks, AutoCAD, y Simens NX por lo que este programa es uno de los más utilizados en el ámbito de la impresión FDM, por la gran capacidad de poder modificar parámetros tomando en cuenta el tipo de impresión, tipo y marca de filamento a utilizar, generando muy buenas calidades en las piezas impresas, por lo que Cura será nuestro software slicer con el que configuraremos los parámetros de impresión para la creación de nuestras piezas.

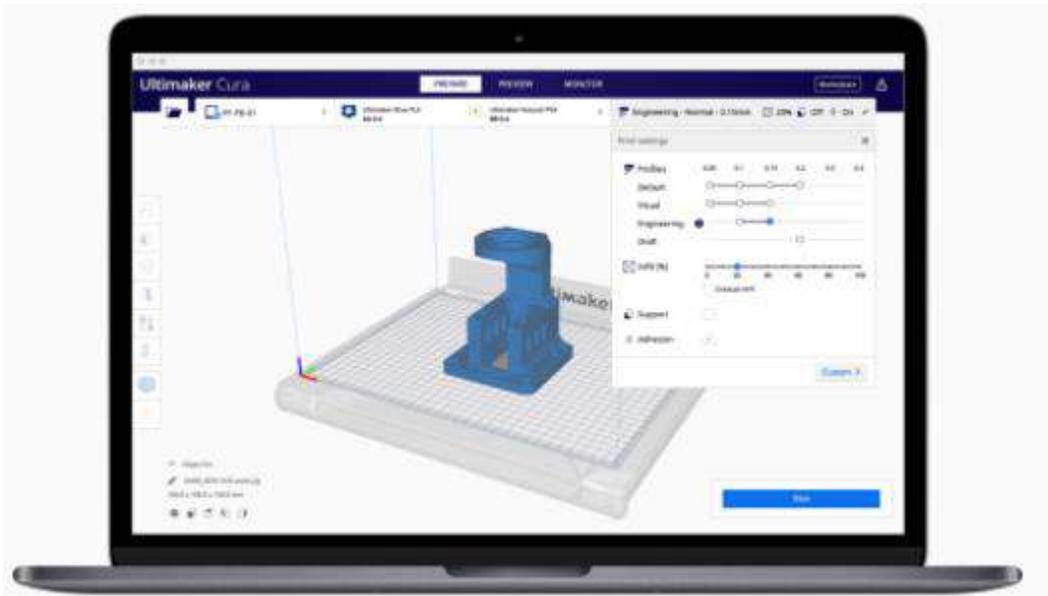


Fig. 82 Cura. Fuente: <https://ultimaker.com/es/software>

2.11. Arduino IDE.

Arduino IDE, es un software que cuenta con herramientas que les permiten a los programadores poder desarrollar y montar códigos en las placas Arduino, para implementar distintos proyectos, este programa es el más utilizado, derivado de su facilidad y soporte que tiene para distintas placas

Este software permite escribir, depurar, editar y grabar los códigos o sketches de una manera fácil y rápida, así generando nuevos proyectos, está desarrollado en Java, está admite los lenguajes C y C++ con reglas especiales de estructura de códigos, también cuenta con biblioteca del proyecto Wiring, que ofrece procedimientos usuales de entradas y salidas E/S por esto se

utilizará Arduino IDE para el desarrollo del sistema IoT, el cual nos permitirá controlar las placas ESP para el monitoreo del robot cartesiano [41].



Fig. 83 Arduino. Fuente: https://catedu.github.io/programa-arduino-con-echidna/tema_1_como_utilizar_echidna/12_como_se_programa_echidna_shield/123-programacion-mediante-codigo.html

2.12. Blynk.

Blynk es una plataforma de IoT, con el propósito de conectar a la nube, así como diseñar y desarrollar aplicaciones de control y supervisión de forma remota de todo tipo de dispositivos con una interfaz IoT, una enorme ventaja de este software, es que tiene compatibilidad con la placa Arduino, facilitando a pequeños usuarios poder crear sistemas IoT, sin implementar una infraestructura muy compleja, por lo cual esta app será nuestro dashboard del sistema de monitoreo a distancia [42].



Fig. 84 Blynk. Fuente: <https://play.google.com/store/apps/details?id=cc.blynk&hl=es&gl=US>

3. Diseño

En este capítulo, se da a conocer el diseño de un robot cartesiano para aplicaciones en la impresión 3D monitoreado por IoT, se presentan tres secciones del proyecto que son: el diseño mecánico, diseño eléctrico, configuración del firmware, utilizado con el proceso de impresión, cada uno con sus respectivos cálculos y características.

3.1. Esquema del diseño mecánico.

Este sistema figura dos marcos de aluminio ranurado de 20x20 mm perpendiculares, acoplados a través de ángulos impresos en 3D, en donde se montan dos motores a pasos en cada ángulo, generado por los marcos así conformando el eje Z en el cual se montará el eje X, se adaptara una varilla roscada a través de acoples de aluminio flexible y ejes ópticos en cada motor del eje Z, en la base de la estructura se adaptan dos ejes ópticos, un motor con una correa dentada acoplada a través de un engrane que a su vez sujeta la base de la cama caliente, generando el movimiento del eje Y, a continuación se muestran los componentes como se muestra en la siguiente Fig.85.

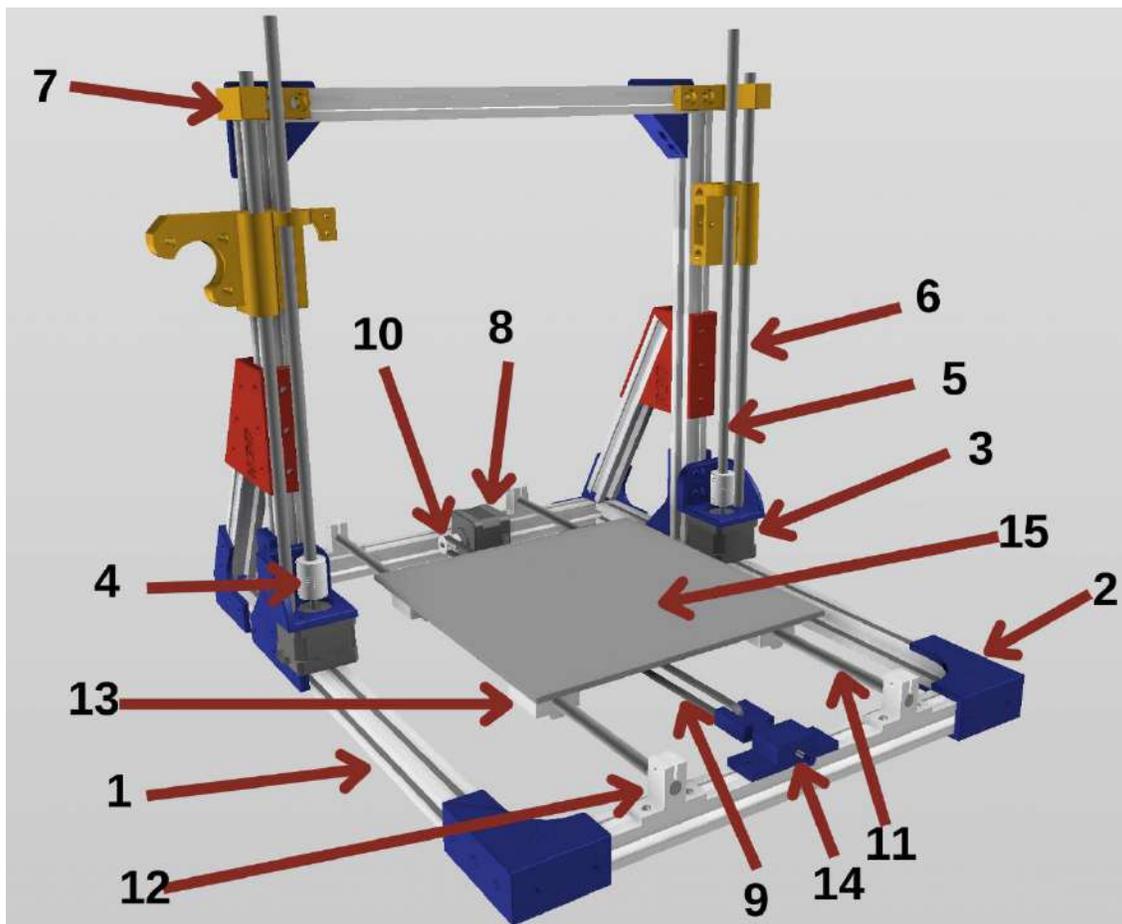


Fig. 85 Componentes mecánicos. Fuente propia.

1. Perfil de aluminio ranurado: el perfil de aluminio, es un sistema modular que permite un ensamblaje de manera muy sencilla, de cualquier estructura mecánica para un sinnúmero de aplicaciones estructurales.
2. Ángulos de conexión: estos ángulos de conexión, están desarrollados con medidas específicas para la unión de perfil de aluminio ranurado, están impresos en 3D acoplados a través de tornillos M3 y tuercas tipo T que se adaptan perfectamente a los perfiles.

3. Motores nema 17 eje Z: estos son los actuadores que nos permiten darle la altura adecuada al eje X, con el fin de ir manufacturando la pieza 3D.
4. Acople de aluminio flexible: este acople permite conectar el eje del motor a la varilla roscada y a su vez gracias a la flexibilidad que presenta, permite reducir vibraciones y problemas de movimiento al no estar bien ensamblado.
5. Varillas roscadas: estas varillas permiten transmitir el movimiento circular de los motores a lineal moviendo el eje X.
6. Ejes ópticos eje Z: estos ejes, nos sirven como una guía o riel con el fin de que el eje X tenga un movimiento limpio y derecho.
7. Soporte ejes ópticos eje Z: estos soportes mantienen los ejes ópticos en posición evitando vibraciones o desvíos del eje X.
8. Motor a pasos eje Y: este actuador otorga el movimiento de la cama caliente para poder generar la pieza 3D.
9. Correa dentada: la correa dentada, es el mecanismo de transmisión de movimiento de la cama caliente referente al eje Y.
10. Engrane de la polea: este engrane, es el encargado de generar el agarre entre el actuador o el eje del motor hacia la correa dentada.
11. Ejes ópticos eje Y: estos ejes ópticos, se utilizan como riel para el eje Y en donde está la cama caliente.
12. Soporte ejes ópticos Y: como su nombre lo indica, son la base en donde se anclan estos ejes a la estructura o chasis.
13. Baleros lineales: estos baleros permiten que los ejes tengan una alta precisión de posicionamiento, muy baja fricción en los ejes ópticos, tienen un alto rendimiento de conversión y un bajo desgaste.
14. Tensor de banda eje Y: este componente permite darle una tensión adecuada a la correa dentada, con el fin de evitar errores por transmisión de movimiento en los ejes.
15. Cama caliente: es el área en donde se va generando la pieza 3D.

El eje X está conformado, por dos piezas impresas en 3D en donde se monta el motor que genera el movimiento del extrusor, incorporado con una correa dentada conectadas a través de dos ejes ópticos, en los cuales a través de baleros lineales se acopla todo el sistema de extrusión, donde se encuentra un motor, una caja BMG, ventiladores y el nozzle.

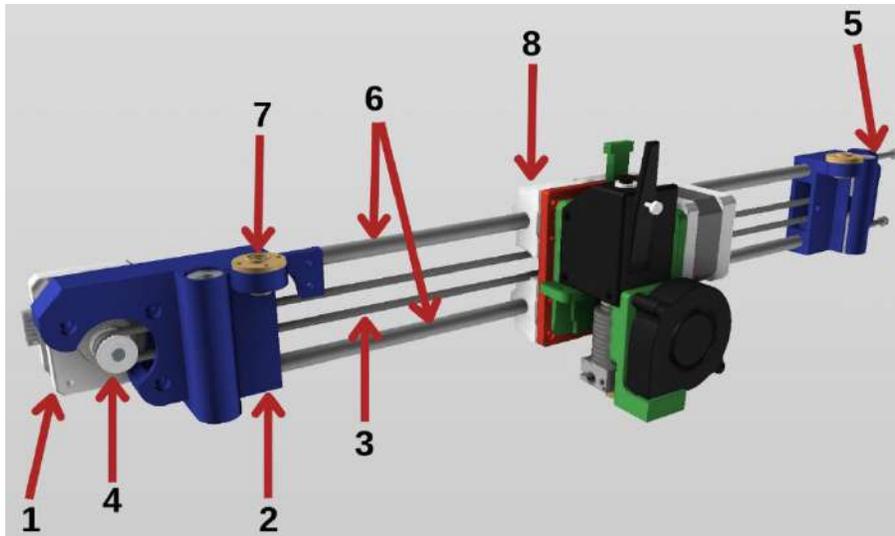


Fig. 86 Componentes eje X. Fuente propia.

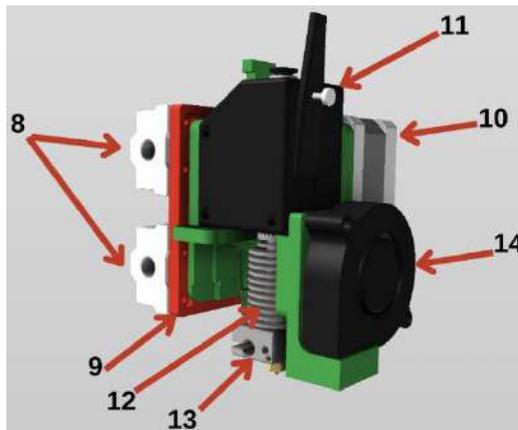


Fig. 87 Extrusor. Fuente propia.

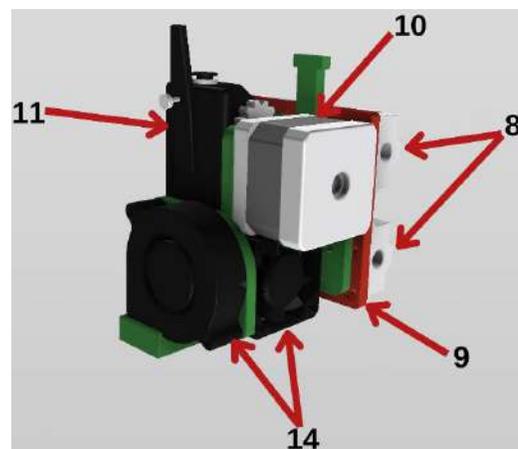


Fig. 88 Extrusor otor ángulo. Fuente propia.

1. Motor eje X: es el actuador que genera el movimiento del eje X, en este caso a todo el extrusor.
2. Base eje X: piezas impresas, en donde se montan los componentes del eje X como el motor, los ejes ópticos, el tensor de la correa, y la tuerca del husillo Fig.86.
3. Correa dentada: es el componente, que transmite el movimiento del actuador al extrusor, para que haga recorrido sobre el eje X.
4. Engrane de polea: este engrane, es el encargado de generar el agarre entre el actuador o el eje del motor hacia la correa dentada.
5. Tensor de correa: este sistema, le permite tensionar la correa dentada con el fin de evitar problemas de desplazamiento del extrusor o el eje X.
6. Ejes ópticos: son los que le dan estructura y rigidez al eje X, como también sirven como rieles para el movimiento del extrusor.
7. Tuerca del husillo del eje Z: esta tuerca es la que entrega el movimiento del eje Z, al moverse la varilla que está acoplada a los motores del eje Z.
8. Baleros lineales: estos baleros permiten, que los ejes tengan una alta precisión de posicionamiento, muy baja fricción en los ejes ópticos, tienen un alto rendimiento de conversión y un bajo desgaste.
9. Base del extrusor: es una pieza impresa, en 3D que se acopla a los baleros lineales, como también es chasis de todo el extrusor.
10. Motor del extrusor: es el actuador, encargado de empujar el filamento para que pase al proceso de fusión, para la impresión 3D.
11. BMG: es una caja de engranes, encargado de aumentar el par de empuje del filamento, evitando atascos futuros o problemas de extrusión Fig.88.
12. Disipador de calor: este componente, tiene como objetivo disipar el calor en la garganta del extrusor, ya que el filamento se puede empezar a derretir antes de llegar al nozzle por las altas temperaturas, generando atascos en el filamento.
13. Nozzle: este componente, es en donde el filamento se derrite y es inyectado para formar la pieza impresa.
14. Ventiladores: son los encargados de aventar aire y disipar el calor, tanto en la garganta del nozzle y enfriar el filamento ya extruidos.

Donde todo este sistema del eje X y extrusor, se monta en las varillas roscadas y ejes ópticos de los motores del eje Z, a través de baleros lineales y tuercas husillo.

3.1.1. Características de componentes mecánicos del robot

Para poder diseñar y construir el robot cartesiano, es indispensable conocer las propiedades y características de nuestros componentes, ya que estos datos nos darán las bases para la construcción de esta máquina.

3.1.1.1. Perfil de Aluminio Ranurado

Los perfiles V-slot son considerablemente utilizados en la industria, por sus características como lo es su ligereza y sus buenas propiedades estructurales, como se muestra en la Fig.89, una gran ventaja de este tipo de perfiles es su

facilidad de ensamblaje, derivado de su forma y múltiples accesorios compatibles con su morfología.

Este tipo de perfiles de aluminio prometen una excelente plataforma para poder crear máquinas con acabados profesionales como: Cortadoras láser, plotters, actuadores lineales, fresadora CNC e Impresoras 3D.

- Especificaciones:
 - Material: aleación de aluminio 6063 con temple T5
 - Resistencia a la tensión: mínima 260 N/mm²
 - Elongación: -8% mínimo
 - Módulo de elasticidad: 70,000 N/mm²
 - Dureza: 75 HB 2.5/187.5
 - Resistencia a la temperatura: estable de -40 a 200° C
 - Torción por cada 300 mm: no mayor a 0.25°

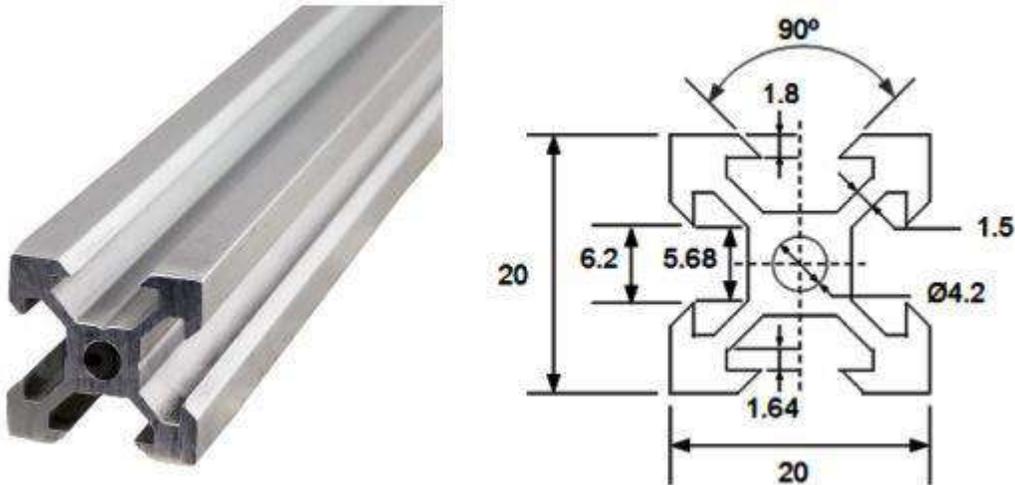


Fig. 89 Perfiles V-slot. Fuente: https://naylorlampmechatronics.com/img/cms/catalogo_v-slot.pdf

Por lo que este material, es una muy buena opción para darle la rigidez estructural necesaria para el desarrollo de este robot cartesiano.

3.1.1.2. Ficha técnica del PLA

Para los ángulos del robot cartesiano se diseñaron en Fusion360 e imprimieron con ácido Poliláctico (PLA), tomando en cuenta que es uno de los plásticos más fáciles de imprimir por sus características, pero el menos confiable para mecánicas, pero aun así por sus propiedades cumplen adecuadamente para hacer el ensamblaje del robot (véase la Fig.90).

PROPIEDADES MECÁNICAS			
TENSIÓN DE ROTURA	ALARGAMIENTO POR ROTURA	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	MÓDULO DE ELASTICIDAD
60	29	87	3642
MPa	%	MPa	MPa
RESISTENCIA DE IMPACTO	DENSIDAD	TEMPERATURA DE DISTORSIÓN	
7	1.24	50	
kJ/m ²	g/cm ³	°C, 0.45 Mpa	

Fig. 90 Propiedades PLA. Fuente: <https://www.colorplus3d.com/wp-content/uploads/2020/11/PLA.pdf>

3.1.1.3. Motores nema 17

Para esta máquina, se pretende utilizar cinco motores nema 17 modelos 17HS4401, ya que por su alta calidad de materiales tiene bajo nivel de ruido, baja reacción de autoinductancia, evita errores del sistema y cuenta con certificado CE.

Tabla 4 Características motor nema 17. Fuente: <https://www.hta3d.com/es/motor-paso-a-paso-nema-17-17hs4401-eje-5mm-en-d>

Modelo	17HS4401
Ángulo del paso (grados)	1.8
Longitud del motor (mm)	40
Corriente nominal (A)	1.7
Resistencia de la fase (ohm)	1.5
Inductancia de la fase (mH)	2.8
Torque de aguante (N·cm min)	40
Torque de detención (N·cm Max)	2.2
Inercia del rotor (g·cm²)	54
Numero de cables	4
Peso del motor (g)	280

3.1.1.4. Varilla roscada Acme

En la Fig.91, se puede ver las varillas roscadas contempladas para el robot cartesiano, son de 8 mm de diámetro con una cuerda especial, generando un desplazamiento más rápido que las cuerdas de los tornillos más utilizados, a través de una tuerca T8 compatible con la varilla, cuenta con un movimiento 2 mm por paso, es de acero inoxidable 304, ideal para CNC, impresoras 3D.



Fig. 91 Husillo 8mm. Fuente: <https://uelectronics.com/producto/tornillo-acme-8mm-con-tuerca-t8-30cm-50cm-60cm/>

3.1.1.5. Correa dentada

La correa GT2, es ideal para trabajos de movimientos lineales como sistemas CNC, cuenta en sus dientes con una curvatura la cual permite evitar deslizamientos en la transmisión como se observa en la Fig.92, así generando un movimiento limpio del sistema, está hecha de neopreno con cuerdas de fibra de vidrio en su interior.

Tabla 5 Correa GT2. Fuente: <https://natytec.com.mx/CNC/correa-dentada-gt2-2gt-gt3-3gt-de-sincronizacion-timing-belt/>

Modelo	GT2
Material	Neopreno y fibra de vidrio
Ancho	6 mm
Altura	1.38mm
Temperatura de trabajo	-35° a 85° C
Punto de quiebre	516N
Tensión de trabajo	27N
Paso	2 mm

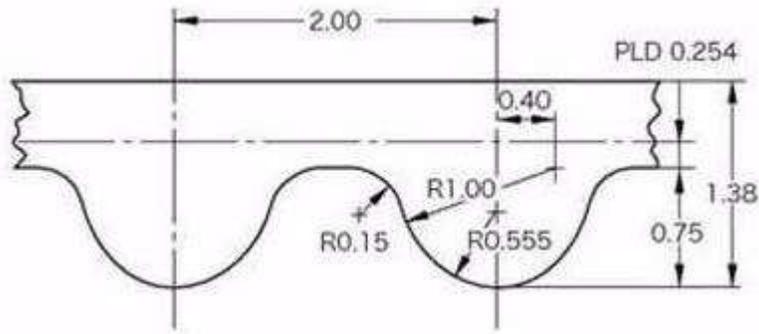


Fig. 92 Correa GT2. Fuente: <https://natytec.com.mx/CNC/correa-dentada-gt2-2gt-gt3-3gt-de-sincronizacion-timing-belt/>

3.1.1.6. BMG

En la Fig.93, se puede visualizar el plano técnico del BMG que es un sistema de extrusión de doble engrane con una relación de transmisión de 3:1 con engranes de precisión, también cuenta con un engrane de tracción de acero con el fin de no perder agarre, este sistema reduce la posibilidad de atascos, se puede utilizar en cualquiera de las configuraciones de extrusor, por su alto par permite imprimir con boquillas de cualquier tamaño sin mayor esfuerzo.

Tabla 6 BMG. Fuente: <https://www.bondtech.se/wp-content/uploads/2018/08/BMG.pdf>

Modelo	BMG
Peso neto	75 g
Peso bruto	139 g
Relación de transmisión	3:1
Diámetro del filamento	1.75
Temperatura de operación	0-80° C
Valor de pasos	415

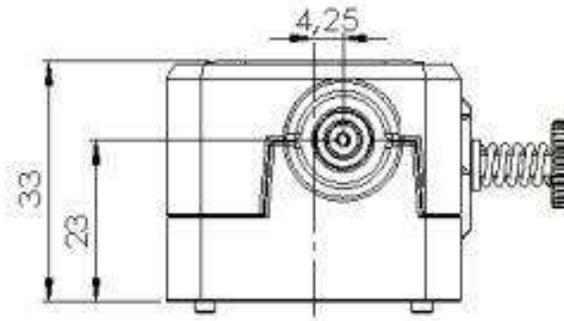


Fig. 93 BMG. Fuente: <https://www.bondtech.se/wp-content/uploads/2018/08/BMG.pdf>

3.1.1.7. Engrane de la Polea

Tomando en cuenta que se utilizara una correa GT2, de igual manera se necesita meter una polea con la misma configuración de engranes, por lo que el engrane también es GT2 para que todos los dientes coincidan, la diferencia se denotara en el número de dientes con los que cuente nuestra polea, en este caso es de 20 dientes.

Tabla 7 Engrane GT2. Fuente: <https://www.vistronica.com/impresora-3d-y-cnc/polea-dentada/polea-gt2-20-dientes-16x16-mm-para-eje-de-8-mm-detail.html>

Modelo	Polea GT2
Paso	2 mm
Dientes	20
Diámetro exterior	16 mm
Diámetro interior	12 m
Agujero central.	5 mm

3.1.2.Cálculo de los parámetros de movimiento de los ejes.

Para el correcto movimiento de nuestros ejes del robot cartesiano, se necesita configurar los pasos de los motores, de acuerdo a sus tipos de transmisiones mecánicas, para poder tener movimientos precisos a la hora de imprimir una pieza.

3.1.2.1. Eje X.

$$\Delta Px = \frac{Pm \mu P}{Pc N}$$

- ΔPx = desplazamiento eje X
- N = es el número de los dientes del engrane = 20
- Pc = los pasos de la correa dentada = 2 mm
- Pm = el número de pasos del motor por una vuelta = 200
- μP = micro pasos del driver = 16

$$\Delta Px = \frac{(200)(16)}{(2)(20)} = 80 \text{ p/mm}$$

3.1.2.2. Eje Y.

$$\Delta Py = \frac{Pm \mu P}{Pc N}$$

- ΔPy = desplazamiento eje Y
- N = es el número de los dientes del engrane = 20

- P_c = los pasos de la correa dentada = 2 mm
- P_m = el número de pasos del motor por una vuelta = 200
- μP = micro pasos del driver = 16

$$\Delta P_y = \frac{(200)(16)}{(2)(20)} = 80 \text{ p/mm}$$

3.1.2.3. Eje Z.

$$\Delta P_z = \frac{P_m \mu P}{P_r}$$

- ΔP_z = desplazamiento eje Z
- P_m = el número de pasos del motor por una vuelta = 200
- μP = micro pasos del driver = 16
- P_r = pasos de la rosca = 8 mm

$$\Delta P_z = \frac{(200)(16)}{8} = 400 \text{ p/mm}$$

3.2. Diseño eléctrico.

El sistema eléctrico está constituido por distintos módulos como se ve en la Fig.94, principalmente por la placa madre SKR V1.3 alimentada por una fuente ATX de 12v, posteriormente de la placa madre, se conectan unos módulos mosfet 210A que a su vez se conectan hasta la resistencia de la cama caliente y a la resistencia cerámica del nozzle. De la placa madre, se conectan dos termistores para sensar la temperatura de la cama y el nozzle, como también tres ventiladores de refrigeración, uno para la disipación de la electrónica, otro para la ventilación de capa y el último para la disipación del calor en la garganta del extrusor, igualmente se conectan tres switches mecánicos que realizan la función de end-stop o finales de carrera.

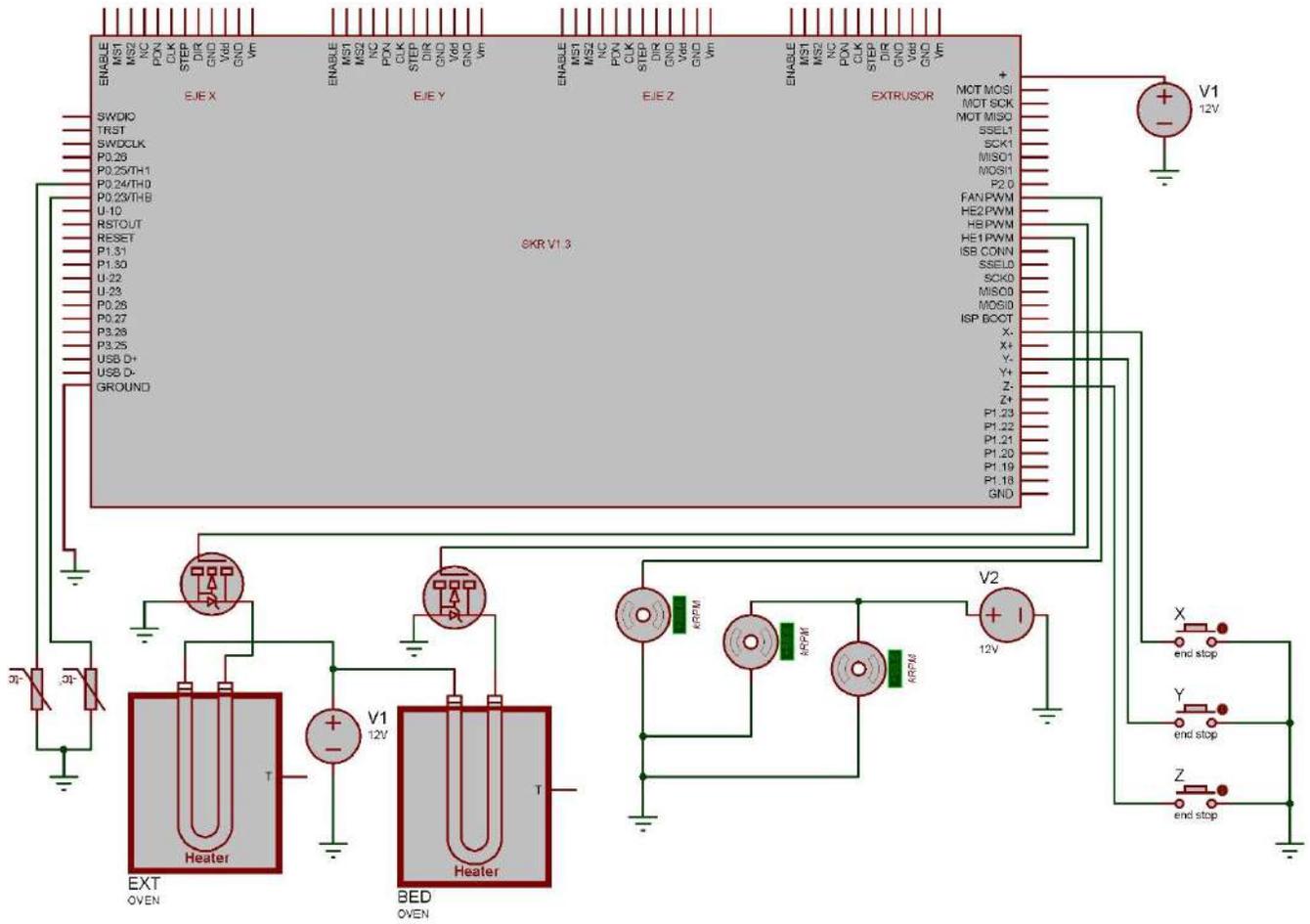


Fig. 94 Circuito principal. Fuente propia.

En la placa madre, se conectan los drivers TMC2208 para los motores a pasos, en la salida para los ejes X y Y se conectan dos filtros TL-smoother, para filtrar señales y el movimiento sea preciso, en la salida del eje Z, se implementa un módulo para duplicar la señal de salida, debido a que se utilizan dos motores para el movimiento del eje Z y la conexión del motor del extrusor, las conexiones se muestran en la Fig.95.

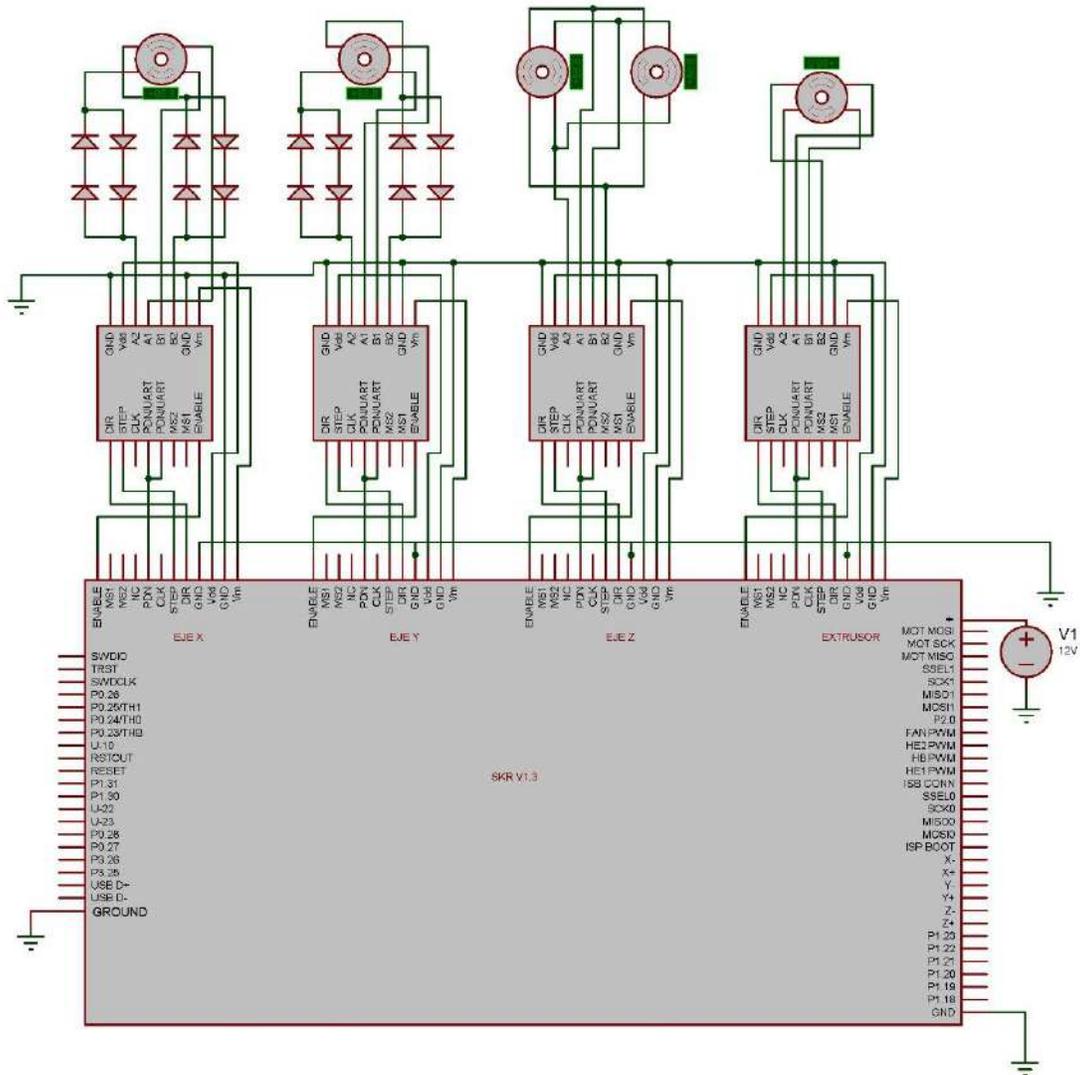


Fig. 95 Circuito de driver y motores. Fuente propia.

Posteriormente, se conecta la interfaz por la cual se genera la interacción con el usuario que comprende de la pantalla TFT 24, gracias a que esta pantalla cuenta con su propio microcontrolador, únicamente se conectan cinco pines entre la pantalla y la placa SKR 1.3, estos pines son 5 V, GND, TX, RX y RESET, que son los únicos pines necesarios para mostrar la información en la lcd que se visualizan en la Fig.96.

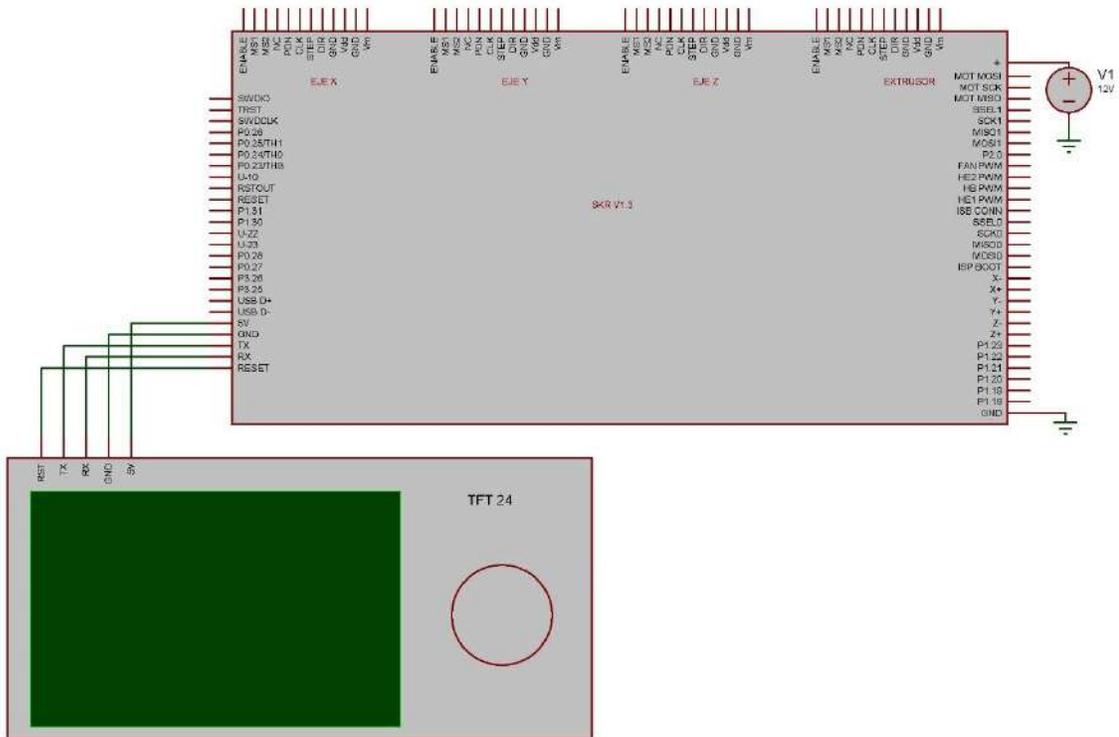


Fig. 96 Circuito de la pantalla. Fuente propia.

En la Fig.97, se muestra la implementación del sistema de monitoreo IoT, se utiliza un circuito alimentado por 5 V, que entra a un regulador LM7833 para reducir el voltaje a 3.3 v para alimentar a la placa ESP-01, utilizando tres salidas digitales, dos para el PWM utilizado por dos servomotores SG90, la otra salida acoplada a un módulo relay, para controlar el encendido y apagado del robot cartesiano que a su vez utilizando una placa ESP32-CAM, con el fin de que se pueda visualizar el proceso de impresión.

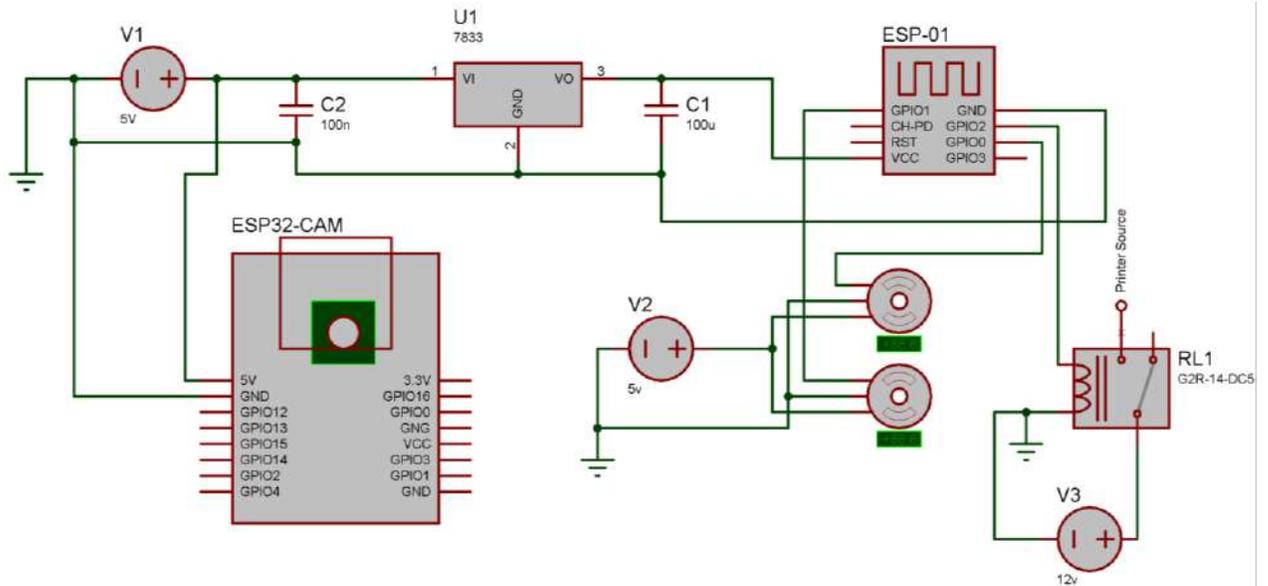


Fig. 97 Circuito IOT. Fuente propia.

3.3. Firmware y Software.

En todo el proceso de impresión, se utilizan distintas herramientas para cumplir con el fin, que es desarrollar una pieza para un propósito específico, desde un firmware, que se encarga de controlar todo el sistema del robot cartesiano, softwares de desarrollo y configuración de parámetros, para las piezas a imprimir y editores de código, con los cuales se configuran los firmwares a utilizar, con el propósito de que todos los sistemas interactúen de forma adecuada y que cumpla su propósito.

Todo este proceso de impresión inicia desde el archivo CAD desarrollado en cualquier herramienta de diseño 3D, posteriormente este archivo CAD se guarda en formato STL, que es el formato de transmisión de datos estándar por excelencia que utiliza la industria de impresión 3D, este tipo de archivo, aproxima a la superficie del modelo sólido, a través de triángulos conforme sea la complejidad de la pieza se generan más triángulos, a continuación el archivo STL, es cargado por un software slicer que permite la transformación del archivo STL a código G, el cual es un código de programación de máquinas encargado de darle las instrucciones de movimiento de la máquina, ubicando los triángulos generados en el STL en coordenadas en el espacio dividiendo a su vez la pieza sólida en capas o rebanadas, como también configurando parámetros de la impresión, que posteriormente se mandan a la placa controladora codificando estos comandos G-code en movimientos, así teniendo como resultado una pieza impresa en 3D, todo esto corresponde al diagrama de flujo de la Fig.98.



Fig. 98 Diagrama de flujo principal. Fuente propia.

3.3.1.Firmware.

El firmware utilizado para el control y la manipulación del robot cartesiano con aplicaciones en impresión 3D, es Marlin 2.0.9.1 este firmware es de código abierto que cuenta con muchas opciones a configurar de acuerdo al tipo de estructura y características del robot a utilizar, por lo cual es de suma importancia configurar correctamente los parámetros necesarios para un buen funcionamiento, Marlin se ejecuta en la placa madre del robot cartesiano, el cual gestiona todas las tareas en tiempo real de la máquina como la calefacción, los motores paso a paso, sensores, pantalla y todo lo relacionado con este proceso de impresión 3D, posteriormente se utilizan dos códigos desarrollados en Arduino ID para el sistema IoT de monitoreo a distancia implementados en dos placas separadas, una permite el movimiento sobre dos ejes de la cámara, como también el encendido y apagado de la máquina, por otra parte, la otra placa es la encargada de generar la imagen y mandarla a una dirección IP local para su monitoreo.

3.3.1.1. Configuración del Firmware Marlin.

El programa Marlin, es un código demasiado extenso en lenguaje C++ que está compuesto por muchos archivos, pero se utilizarán únicamente dos archivos que contienen todos los parámetros de configuración, estos documentos son Configuracion.h y Configuracion_adv.h.

3.3.1.1.1. Platformio.ini.

Antes de toda la configuración de Marlin, es necesario entrar en la carpeta Platformio.ini

```

[platformio]
src_dir      = Marlin
boards_dir   = buildroot/share/PlatformIO/boards
default_envs = LPC1768
include_dir  = Marlin
  
```

Fig. 99 Configuración del pic. Fuente propia.

Y definir el microcontrolador con el que cuenta la placa madre, en este caso trae el PIC LPC1768 como se ve en la Fig.99.

3.3.1.1.2. Configuración.h.

Esta es la configuración más básica, que solo proporcionan valores predeterminados que posteriormente se pueden modificar, ya sea modificando código o a través de la interfaz de usuario y guardando en la EEPROM.

```
#define SERIAL_PORT 0
#define BAUDRATE 115200
```

Fig. 100 Configuración de la comunicación. Fuente propia.

En la Fig. 100, se muestra como seleccionamos el puerto serial para la comunicación entre la placa y la PC definiendo el puerto serial 0, posteriormente se configura la velocidad de la comunicación serial de tal forma que sea rápida, pero sin generar errores, por lo que se utiliza una velocidad de 115200 baudios.

```
#ifndef MOTHERBOARD
#define MOTHERBOARD BOARD_BTT_SKR_V1_3
#endif
#define CUSTOM_MACHINE_NAME "SKYNET"
```

Fig. 101 Placa de control. Fuente propia.

Posteriormente, definimos la placa a utilizar Fig. 101, en este caso es BOARD_BTT_SKR_V1_3 al definir la placa ya se toma en cuenta el microcontrolador a utilizar, además se puede personalizar el nombre de la máquina en este caso se nombró SKYNET.

```
#define EXTRUDERS 1
#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 1.75
```

Fig. 102 No. Extrusor. Fuente Propia.

En la Fig.102, se muestra el fragmento de código en donde se define el número de extrusores con los que contara nuestro robot y a sí mismo el diámetro de filamento que se utilizara en la máquina para las impresiones 3D.

```

#define TEMP_SENSOR_0 1
#define TEMP_SENSOR_1 0
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_3 0
#define TEMP_SENSOR_4 0
#define TEMP_SENSOR_5 0
#define TEMP_SENSOR_6 0
#define TEMP_SENSOR_7 0
#define TEMP_SENSOR_BED 1
#define TEMP_SENSOR_PROBE 0
#define TEMP_SENSOR_CHAMBER 0
#define TEMP_SENSOR_COOLER 0
#define TEMP_SENSOR_REDUNDANT 0

#define DUMMY_THERMISTOR_998_VALUE 25
#define DUMMY_THERMISTOR_999_VALUE 100

```

Fig. 103 Termistores. Fuente propia.

En la Fig.103, se muestra cómo se definen los sensores o termistores que se utilizarán para la temperatura, por lo cual en TEMP_SENSOR_0 y en TEMP_SENSOR_BED se cambia el 0 por un 1 indicando que son los sensores a utilizar.

```

#define TEMP_RESIDENCY_TIME 10
#define TEMP_WINDOW 1
#define TEMP_HYSTERESIS 3

#define TEMP_BED_RESIDENCY_TIME 10
#define TEMP_BED_WINDOW 1
#define TEMP_BED_HYSTERESIS 3

```

Fig. 104 Temperaturas. Fuente propia.

En esta parte que se muestra en la Fig.104, se configuran los parámetros del tiempo y la diferencia de grados en las que la temperatura puede fluctuar y no definirlo como un error, con el fin de tener el sistema protegido.

```

#define HEATER_0_MINTEMP 5
#define HEATER_1_MINTEMP 5
#define HEATER_2_MINTEMP 5
#define HEATER_3_MINTEMP 5
#define HEATER_4_MINTEMP 5
#define HEATER_5_MINTEMP 5
#define HEATER_6_MINTEMP 5
#define HEATER_7_MINTEMP 5
#define BED_MINTEMP 5
#define CHAMBER_MINTEMP 5

```

Fig. 105 Temperaturas de protección. Fuente propia.

Posteriormente en la Fig.105, se configura el mínimo de la temperatura de la lectura de los termistores, con el propósito de identificar un problema de hardware, una temperatura normal sin calentar la máquina ronda de entre 10 °C y 40 °C, por lo que si la máquina registra datos por debajo de 5 °C es probable que el sensor esté dañado o desconectado generando error en el sistema.

```

#define HEATER_0_MAXTEMP 275
#define HEATER_1_MAXTEMP 275
#define HEATER_2_MAXTEMP 275
#define HEATER_3_MAXTEMP 275
#define HEATER_4_MAXTEMP 275
#define HEATER_5_MAXTEMP 275
#define HEATER_6_MAXTEMP 275
#define HEATER_7_MAXTEMP 275
#define BED_MAXTEMP 110
#define CHAMBER_MAXTEMP 60

```

Fig. 106 Temperatura máxima de seguridad. Fuente propia.

De igual forma en temperatura máxima como se ve en la Fig. 106, en el caso del extrusor al registrar temperaturas mayores a 275 °C generará error en el sistema, dejará de suministrar potencia a los componentes, en el caso de la cama caliente tiene una temperatura máxima de 110 °C y de igual forma se desconecta la energía si está sobrepasa esa temperatura.

```

#define PIDTEMP
#define BANG_MAX 255
#define PID_MAX BANG_MAX
#define PID_K1 0.95

#if ENABLED(PIDTEMP)
  #define PID_EDIT_MENU
  #define PID_AUTOTUNE_MENU

```

Fig. 107 PID. Fuente propia.

Marlín cuenta con un sistema de control PID para el calentamiento del extrusor y la cama que se visualiza en la Fig.107, cuando los valores del PID se ajustan adecuadamente, la temperatura de los componentes se obtiene más rápido, como también mantenido la temperatura adecuadamente con mínimas fluctuaciones, definiendo esta opción de calentamiento, el mismo sistema genera la opción de hacer este análisis, generando los valores adecuados y almacenándolos en la EEPROM, por defecto Marlín viene con valores predeterminados, pero es necesario ejecutar este análisis para modificarlos.

```

#if ENABLED(PID_PARAMS_PER_HOTEND)
  #define DEFAULT_Kp_LIST { 22.20, 22.20 }
  #define DEFAULT_Ki_LIST { 1.08, 1.08 }
  #define DEFAULT_Kd_LIST { 114.00, 114.00 }
#else
  #define DEFAULT_Kp 22.20
  #define DEFAULT_Ki 1.08
  #define DEFAULT_Kd 114.00
#endif
#endif

```

Fig. 108 Configuración PID. Fuente propia.

En la Fig.108 se muestran los valores predefinidos de Marlín para el HOTEND, pero es esencial ejecutar en análisis PID para generar los valores adecuados.

```

#if ENABLED(PIDTEMPBED)
  #define DEFAULT_bedKp 10.00
  #define DEFAULT_bedKi .023
  #define DEFAULT_bedKd 305.4
#endif

```

Fig. 109 Configuración PID bed. Fuente propia.

Aquí se muestran los valores predefinidos por marlín para la cama caliente, pero es esencial ejecutar en análisis PID para generar los valores adecuados.

```

#define THERMAL_PROTECTION_HOTENDS
#define THERMAL_PROTECTION_BED
#define THERMAL_PROTECTION_CHAMBER
#define THERMAL_PROTECTION_COOLER

```

Fig. 110 Protecciones térmicas. Fuente propia.

Se definen estos comandos de la Fig.110, los cuales nos permiten aplicar protecciones térmicas, para evitar problemas como incendios, etc. Los parámetros de estas protecciones se configuran en la carpeta Configuración_adv.h

```

//#define COREXY
//#define COREXZ
//#define COREYZ
//#define COREYX
//#define COREZX
//#define COREZY
//#define MARKFORGED_XY

```

Fig. 111 Tipo de impresora. Fuente propia.

Marlín cuenta con distintas configuraciones mecánicas de acuerdo al tipo de impresora a la que se le configure este firmware, en este caso se utiliza la configuración Cartesiana por lo que en la Fig.111, se observa cómo se dejan comentados las configuraciones de impresora ya que la cartesiana viene por defecto.

```

#define USE_XMIN_PLUG           #define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING false
#define USE_YMIN_PLUG           #define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING false
#define USE_ZMIN_PLUG           #define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING false
//#define USE_IMIN_PLUG         #define I_MIN_ENDSTOP_INVERTING false
//#define USE_JMIN_PLUG         #define J_MIN_ENDSTOP_INVERTING false
//#define USE_KMIN_PLUG         #define K_MIN_ENDSTOP_INVERTING false
//#define USE_XMAX_PLUG         #define X_MAX_ENDSTOP_INVERTING false
//#define USE_YMAX_PLUG         #define Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING false
//#define USE_ZMAX_PLUG         #define Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING false
//#define USE_IMAX_PLUG         #define I_MAX_ENDSTOP_INVERTING false
//#define USE_JMAX_PLUG         #define J_MAX_ENDSTOP_INVERTING false
//#define USE_KMAX_PLUG         #define K_MAX_ENDSTOP_INVERTING false
                                #define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING false

```

Fig. 112 Configuración end-stop. Fuente propia.

En la Fig.112, se utilizarán tres switches mecánicos y se utilizarán como finales de carrera, por lo que únicamente se definen estas tres opciones, como también por defecto vienen configurados en pullup, considerando que si se requiere se puede desactivar la configuración e invertir su función con un TRUE o FALSE de acuerdo a lo requerido.

```

#define X_DRIVER_TYPE  TMC2208
#define Y_DRIVER_TYPE  TMC2208
#define Z_DRIVER_TYPE  TMC2208
//#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 I_DRIVER_TYPE  A4988
//#define J_DRIVER_TYPE  A4988
//#define K_DRIVER_TYPE  A4988
#define E0_DRIVER_TYPE  TMC2208

```

Fig. 113 Tipo de driver. Fuente propia.

Posteriormente en la Fig.113, se definen los drivers a utilizar para los motores paso a paso, en este caso se utilizarán puros drivers TMC2208 tanto para los ejes como para el extrusor.

```

#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, 80, 400, 415 }

```

Fig. 114 Steps. Fuente propia.

se muestra la Fig.114 en donde se visualiza la configuración de los μ pasos/mm, en el caso del eje X e Y se transmite el movimiento con la correa GT2 cerrada, transmitiendo a su vez el movimiento al carro del extrusor.

$$\text{Desplazamiento lineal por vuelta} = (\text{no. dientes})(\text{paso de correa GT2})$$

$$\text{Desplazamiento lineal por vuelta} = (20)(2\text{mm}) = 40\text{mm}$$

En el caso del driver TMC2208 con sus micro pasos de 1/16:

$$\text{Desplazamiento } \mu\text{paso} = \left(\frac{\text{Desplazamiento lineal vuelta}}{360^\circ} \right) \left(\frac{\text{Angulo por paso}}{\text{microstepping}} \right)$$

$$\left(\frac{40\text{mm}}{360^\circ} \right) \left(\frac{1.8^\circ}{16} \right) = 0.0125\text{mm}$$

$$\text{No. de pasos por mm} = \frac{1}{0.0125} = 80 \mu\text{pasos/mm}$$

Entonces, en el eje X y Y se manejan valores de 80 μ pasos por milímetro.

Para el movimiento en el eje Z, el movimiento se transmite directamente del motor a través de un acople de aluminio acoplado al eje del motor y del otro extremo a la varilla roscada, en este caso el desplazamiento dependerá del husillo y los pasos del motor.

$$\text{Desplazamiento } \mu\text{paso} = \left(\frac{\text{Desplazamiento lineal vuelta}}{360^\circ} \right) \left(\frac{\text{Angulo por paso}}{\text{microstepping}} \right)$$

$$\left(\frac{8\text{mm}}{360^\circ} \right) \left(\frac{1.8^\circ}{16} \right) = 0.0025\text{mm}$$

$$\text{No. de pasos por mm} = \frac{1}{0.0025} = 400 \mu\text{pasos/mm}$$

Entonces en el eje Z se maneja un valor de 400 μ pasos por milímetro.

El fabricante del módulo BMG, que se instala en el extrusor especifica 415 μ pasos por milímetro para la extrusión del filamento.

```
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE          { 200, 200, 10, 25 }
```

Fig. 115 Velocidad máxima. Fuente propia

En este apartado de la Fig.115, configuramos la velocidad máxima en mm/s, en los ejes X y Y manejamos valores de hasta 200 mm/s, en el eje Z manejamos 10 mm/s y en el extrusor 25 mm/s, estos valores dependerán de las características de la impresora tomando en cuenta que en el momento de la configuración de la pieza a imprimir, se puede seleccionar la velocidad a

trabajar denotando que la máquina respetara las velocidades configuradas por debajo de estos límites.

```
#define X_BED_SIZE 200
#define Y_BED_SIZE 200
```

Fig. 116 Dimensiones de la cama. Fuente propia.

En esta sección se configura el área de la cama o base de impresión, con el propósito de que la máquina tenga el conocimiento del tope del área de impresión respecto a los finales de carrera.

```
#define LCD_LANGUAGE es
```

Fig. 117 Idioma en la pantalla. Fuente propia.

En esta sección configuramos el idioma que se mostrara en la interfaz, en este caso en español.

```
#define REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER
```

Fig. 118 Controladores para la pantalla. Fuente propia.

En la Fig.118 se manifiesta el comando encargado de controlar la pantalla LCD a utilizar, tomando en cuenta que se utiliza una pantalla BIGTREETECH TFT24-V1.1

3.3.1.1.3. Configuración_adv.h.

Esta carpeta cuenta con opciones de personalización más detalladas, con el fin de tener un mejor funcionamiento.

```
#if ENABLED(THERMAL_PROTECTION_HOTENDS)
  #define THERMAL_PROTECTION_PERIOD 40
  #define THERMAL_PROTECTION_HYSTERESIS 4
```

Fig. 119 Configuración de protecciones. Fuente propia.

Este fragmento de código se observa en la Fig.119, se encarga de checar la temperatura con fluctuaciones de 4 grados en un periodo de 40 s, si en ese lapso de tiempo no regresa a los márgenes normales de temperatura se genera un error y se para la impresión.

```

#if ENABLED(THERMAL_PROTECTION_BED)
  #define THERMAL_PROTECTION_BED_PERIOD      30
  #define THERMAL_PROTECTION_BED_HYSTERESIS  3

```

Fig. 120 Configuración de protecciones bed. Fuente propia.

De igual forma para el calentamiento de la cama caliente, analiza la temperatura en periodos de 30s, si esta varía más de 3 grados se genera un error y la impresión se para, en la Fig.120 se

3.3.1.1.4. Archivos BIN.

Posteriormente de toda la configuración en Marlin, es necesario descargar una herramienta en Visual Studio Code, esta función se llama Auto Build Marlin, esta herramienta compila todo el código previamente modificado generando el archivo BIN, que se monta en la placa de la máquina a través de un SD, después únicamente se resetea la placa y automáticamente el firmware se le carga a la placa.



Fig. 121 Compilación del código. Fuente propia.

3.3.1.2. Diagramas de flujo del firmware.

En esta sección, se presentan los diagramas de flujo del funcionamiento del firmware, desglosándolos desde el menú principal hasta submenús, mostrando la secuencia de los procesos realizados por la máquina.

3.3.1.2.1. Menú principal.

La interfaz gráfica cuenta con un menú principal al inicializar la tarjeta controladora, este menú nos permite entrar a siete submenús de configuración los cuales son un submenú principal, temperatura del hot-end, temperatura de la cama caliente, status, porcentaje de ventilación, porcentaje del flujo de filamento e impresión como se muestra en la Fig.122.

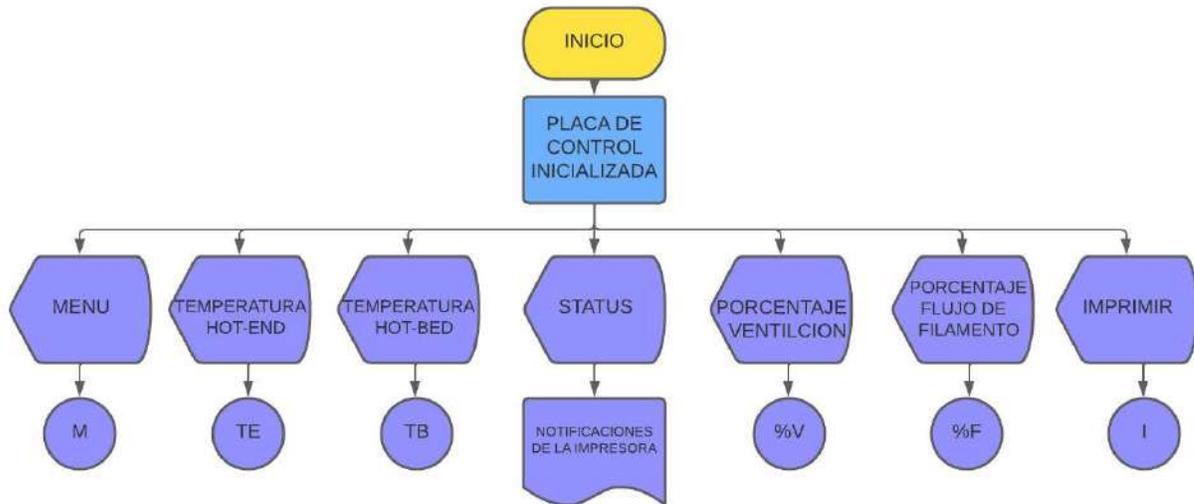


Fig. 122 Menú principal. Fuente Propia.

3.3.1.2.1.1. Submenú principal.

Este submenú principal Fig.123, nos permite entrar a configuraciones específicas de la máquina, en donde uno puede checar parámetros de todo lo relacionado al robot y su funcionamiento como los siguientes:

- Calor/Ventilador: en este submenú, se muestran distintas opciones acerca del sistema de calefacción del robot, como lo es Pre calentamiento que cuenta con temperaturas predefinidas de acuerdo al tipo de material a utilizar, la siguiente opción es Calentar, que permite definir manualmente la temperatura requerida para la máquina, después encontramos la opción de Ventilar, la cual nos permite definir manualmente el porcentaje del funcionamiento de ventilador de capa, luego tenemos la opción de Enfriarse, que únicamente apaga todos los componentes calefactores que es el hot-end y la cama caliente, por último la opción de regresar al menú anterior.
- Movimiento: este submenú, nos muestra todas las opciones relacionadas al movimiento mecánico de la máquina, la primera opción nos admite poder llevar los ejes a su origen individualmente o los tres juntos, luego se encuentra la opción de mover los ejes individualmente en intervalos de 0.1 mm, 1 mm, 10 mm y 100 mm cualquier eje que uno seleccione, después está Extruir, la cual nos permite cargar y descargar filamento en intervalos de 1 mm, 10mm, 100 mm y 200 mm a una baja, media y alta velocidad, pudiendo realizar todo esto previamente calentando el extrusor, después está Nivelar, esta opción permite seleccionar cinco puntos distribuidos en el área de impresión al nivel del origen, con el fin de nivelar manualmente la cama de impresión respecto a esas cinco ubicaciones que nos da el sistema, después se encuentra la opción de Desactivar los motores, posteriormente esta Disarm al, esta opción desconecta los motores de todos los ejes y extrusor, para poder

moverlos manualmente y por último la opción de Regreso al menú anterior.

- Load/Unload: este submenú, también se encuentra en la opción de Movimiento, es la opción de extruir la cual nos permite cargar y descargar filamento en intervalos de 1 mm, 10 mm, 100 mm y 200 mm a una baja, media y alta velocidad, pudiendo realizar todo esto previamente calentando el extrusor.

- Terminal: este apartado despliega un teclado y una entrada de texto, en donde nos permite mandar comandos G que ordenan alguna acción de acuerdo al comando, como por ejemplo mandar a Home los ejes, calentamiento de extrusor permite hacer acciones específicas a través de comandos.

- Personalización: este submenú, cuenta con todas las configuraciones que tienen que ver con la EEPROM como restaurar parámetros iniciales, guardar nueva configuración, etc.

- Configuración: en este apartado se encuentran configuraciones muy especiales de la máquina, como lo es Pantalla, en donde se puede configurar el idioma, calibración de la lcd, brillo, sonido, etc.

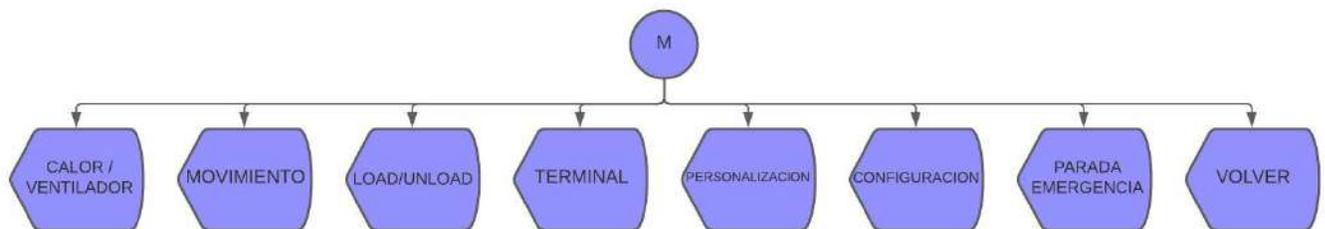


Fig. 123 Submenú. Fuente Propia.

3.3.1.2.1.2. Temperatura del hot-end.

En la Fig.124, se muestra el diagrama de flujo del menú que despliega la opción de Temperatura del hot-end, este comando es un acceso rápido para la parte de la calefacción del extrusor en donde se muestran los botones de aumentar temperatura, disminuir temperatura, el intervalo de la temperatura que va de 1°, 5° y 10°, un botón de parar la calefacción y por último la opción de retroceder al menú principal.

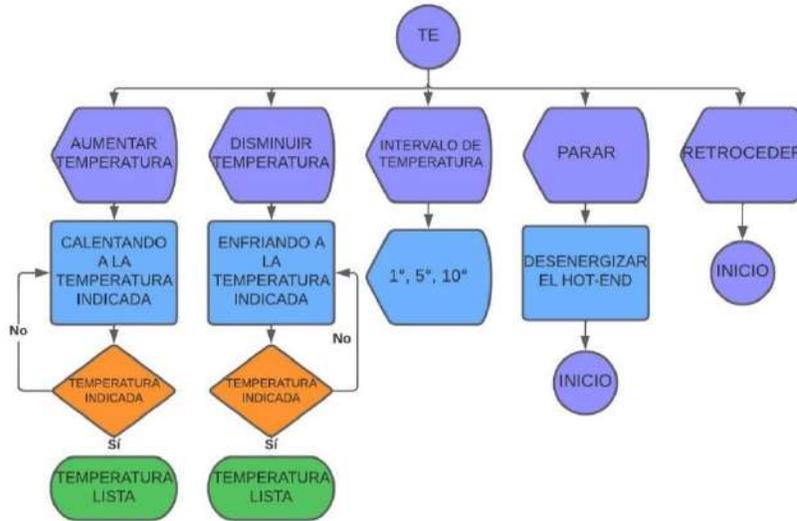


Fig. 124 Temperatura del hot-end. Fuente propia.

3.3.1.2.1.3. Temperatura de hot-bed.

En la Fig.125, se muestra el diagrama de flujo del menú que despliega la opción de Temperatura del hot-bed, este comando es un acceso rápido para la parte calefacción de la cama caliente en donde se muestran los botones de aumentar temperatura, disminuir temperatura, el intervalo de la temperatura que va de 1°, 5° y 10°, un botón de parar la calefacción y por último la opción de retroceder al menú principal.

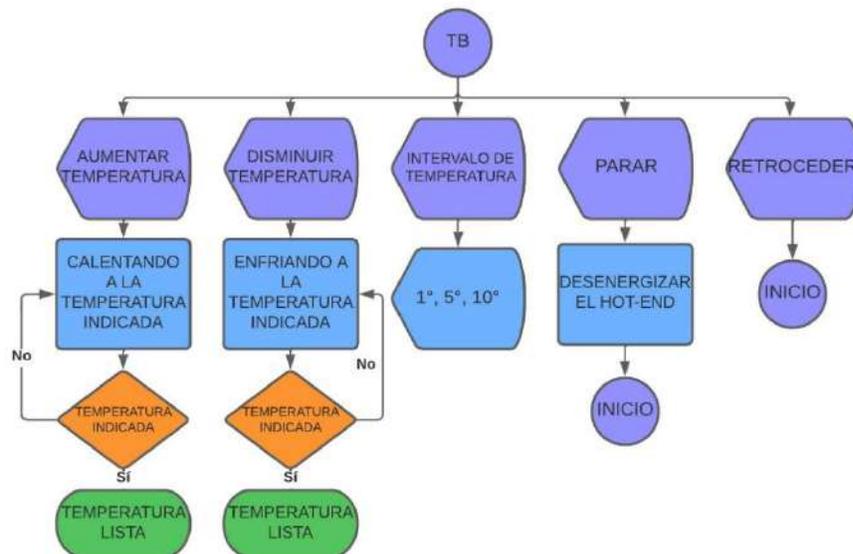


Fig. 125 Temperatura de hot-bed. Fuente propia.

3.3.1.2.1.4. Porcentaje de ventilación.

Se puede observar en la Fig.126, el diagrama de flujo del submenú de la opción de ventilar que arroja otras opciones como aumentar velocidad, disminuir

velocidad, mitad de velocidad, toda la velocidad, paro del ventilador y por último la opción de regreso al menú de inicio.

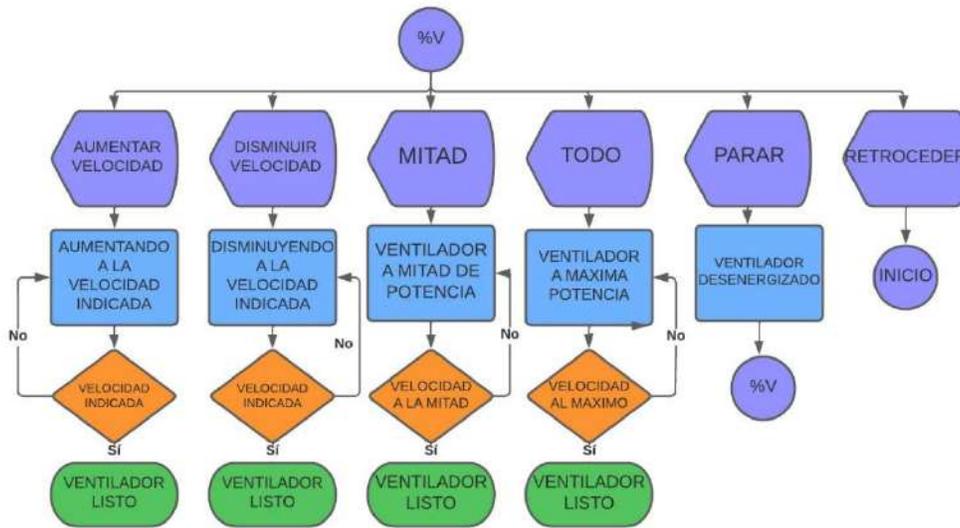


Fig. 126 Ventilación. Fuente propia.

3.3.1.2.1.5. Porcentaje de flujo de filamento.

En la Fig.127, se puede observar el diagrama de flujo del submenú de la opción del flujo de filamento, en donde se configuran opciones como aumentar flujo, disminuir flujo, intervalos de flujo de 1%, 5% y 10%, y por último volver.

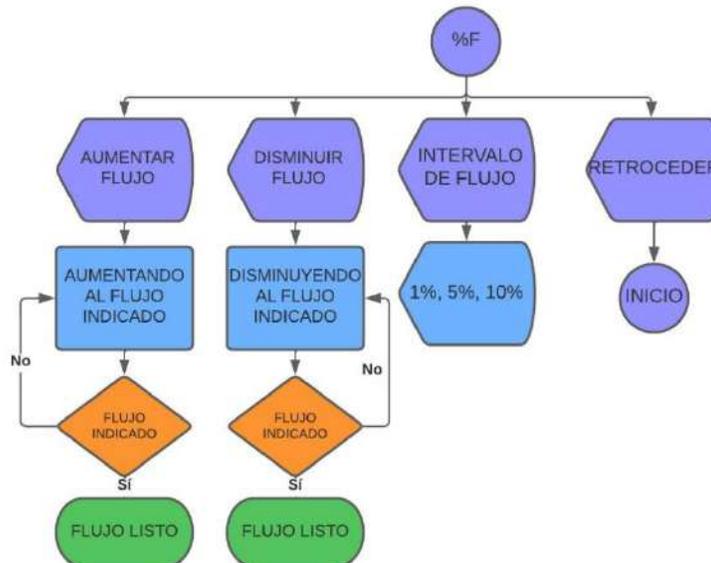


Fig. 127 Flujo d filamento. Fuente propia.

3.3.1.2.1.6. Imprimir.

El diagrama de flujo del comando imprimir como se nota en la Fig.128, esta opción entra a un submenú en donde presenta tres opciones a seleccionar que es SD TFT, Pendrive y SD, de las cuales se podrá seleccionar una de la cual se extraerá una base de datos con los documentos disponibles para imprimir, así permitiendo seleccionar un archivo y reafirmando que si se quiere elegir ese archivo a imprimir.

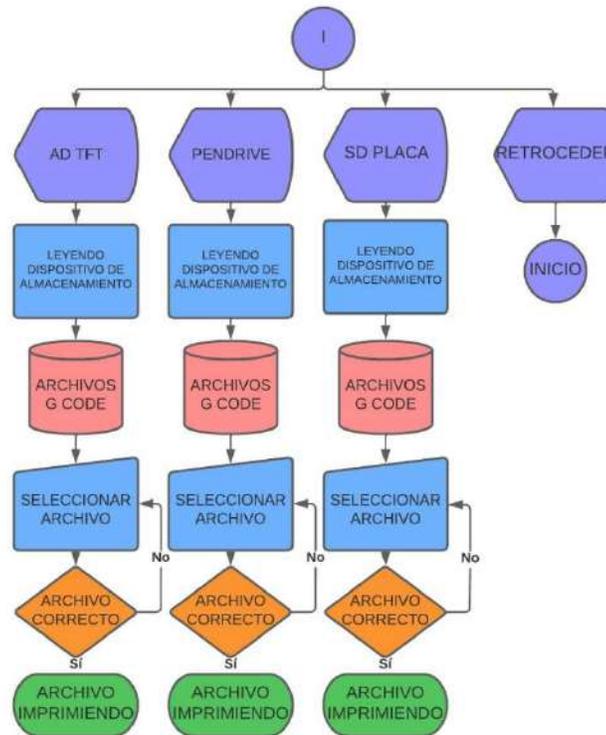


Fig. 128 Impresión. Fuente propia.

3.3.1.2.1.7. Diagrama de flujo del proceso de impresión.

El diagrama de flujo principal de lo que es el proceso de impresión 3D, cada uno de estos procesos conformados por todos los diagramas de flujos anteriores que se presentan en la interfase de usuario de la máquina, como se ve en la Fig. 129.

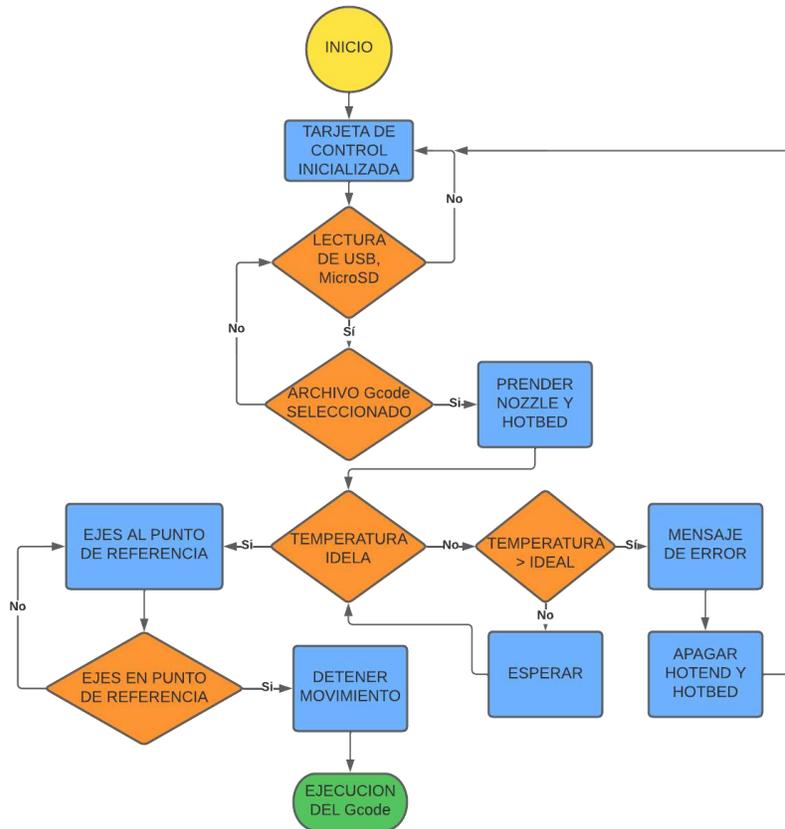


Fig. 129 Proceso de impresión. Fuente propia.

3.3.1.3. Diagramas de flujo de los códigos IOT.

Los códigos desarrollados para el monitoreo a distancia, están preparados para trabajar en placas capaces de poderse conectar a una red Wifi, como lo son el esp32cam y esp01 que a través de una interfaz IoT se enlazan mostrando los datos enviados por las mismas placas, así ofreciendo un monitoreo del proceso de impresión 3D a distancia.

3.3.1.3.1. Diagrama de flujo del Esp32cam.

Este código tiene como tarea conectarse a una red Wifi, posteriormente empieza a generar una URL a través de nuestra red Wifi, se genera el video en tiempo real pudiendo visualizar lo que la cámara del esp32cam esa visualizando, en la Fig. 130 se puede observar el diagrama de flujo del ESP32cam.

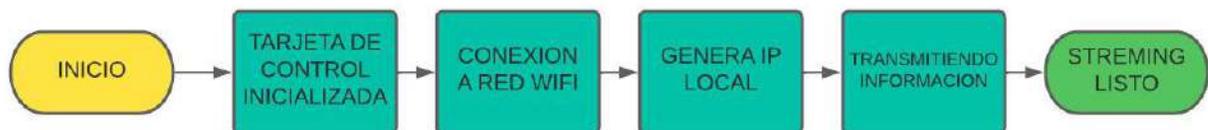


Fig. 130 ESP32-CAM. Fuente propia.

3.3.1.3.2. Diagrama de flujo del Esp01.

El código de la placa esp01, está desarrollado con el propósito de poder otorgar una visibilidad más amplia a la transmisión de imagen del esp32cam mediante un sistemita de dos servomotores acoplados a una estructura robótica, permitiendo el movimiento de la placa teniendo más área de visión, así como también una salida digital que apaga y prende un módulo relay que energiza o desenergiza al robot cartesiano permitiendo el monitoreo a distancia a través de una interfaz, se ve el diagrama de flujo en la Fig.131.



Fig. 131 ESP01. Fuente propia.

3.3.2. Configuración de parámetros en el Software Slicer Cura.

Para poder preparar un CAD con el fin de ser impreso en 3D, es esencial contar con un software slicer, los cuales son los encargados de transformar este CAD en G code que es el formato que se utiliza para las impresiones 3D, pero en esta transformación de archivos se tienen que configurar parámetros especiales con las características con las cuales se imprimirá la pieza, como lo son la altura de capa, densidad de relleno, soportes, etc.

3.3.2.1. Altura de capa.

La altura de capa se relaciona con la calidad que queremos en nuestra pieza, este parámetro hace referencia a la altura que va a tener cada capa o nivel de la pieza nótese la Fig.132, recordando que la impresión se caracteriza por generar las piezas a través de capas o niveles de plástico, como también es importante tomar en cuenta el diámetro de la boquilla que estamos ocupando que la más utilizada es de 0.4 mm, pero existen desde 0.1 mm hasta 1.0 mm.

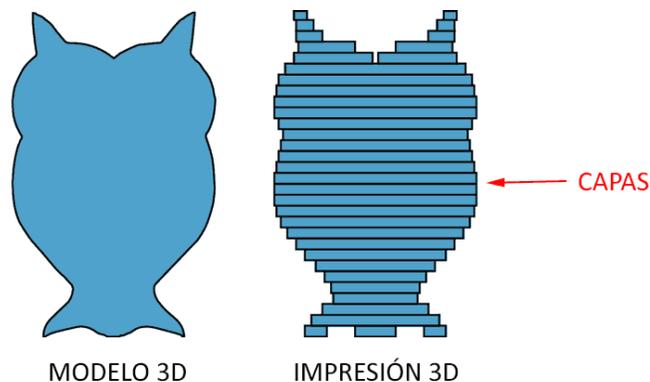


Fig. 132 Capas. Fuente: <https://www.luisllamas.es/como-funciona-una-impresora-3d-fff/>

La mejor forma de configurar esta altura de capa, es no exceder del 80% del diámetro de la boquilla utilizada, en el caso de una boquilla de 0.4 mm su altura de capa límite sería de 0.32 mm, en la Fig.133 se observa la diferencia entre distintas medidas de capa.

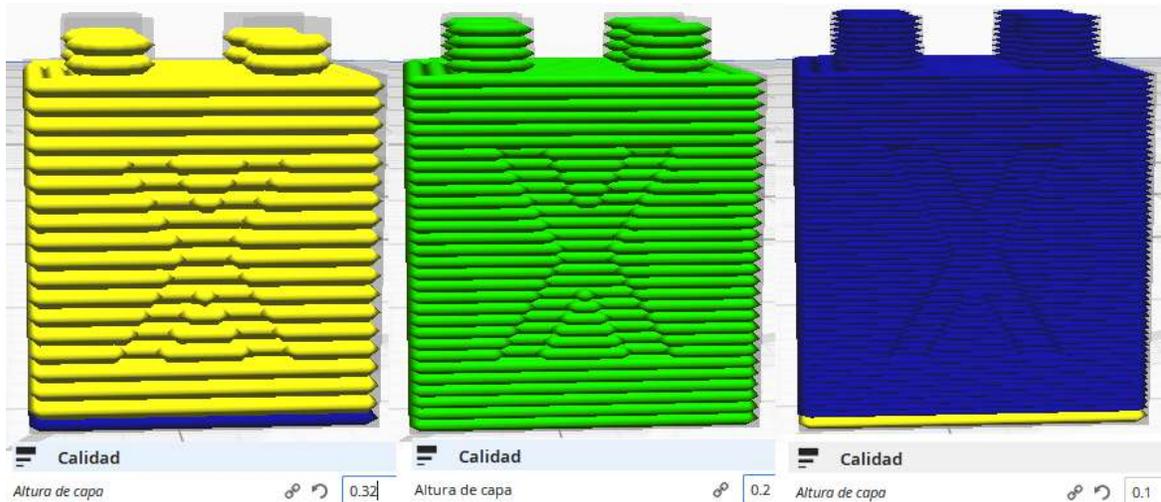


Fig. 133 Altura de capa. Fuente propia.

3.3.2.2. Grosor de paredes.

Este parámetro ya depende del tipo de impresión que se requiera, ya sea una pieza mecánica que se necesita un grosor de pared mayor para resistir si es una pieza de exhibición no utiliza un gran grosor de paredes, tomado en cuenta que se puede configurar tanto capas de paredes como capa inferior y/o superior, el parámetro más común es de dos capas, sin embargo, como se mencionó es de cuerdo al propósito de la pieza sin dejar de lado que no es recomendable configurar menos de dos capas de grosor de pared, como se visualiza en la Fig.134, el aumento de capas de pared.

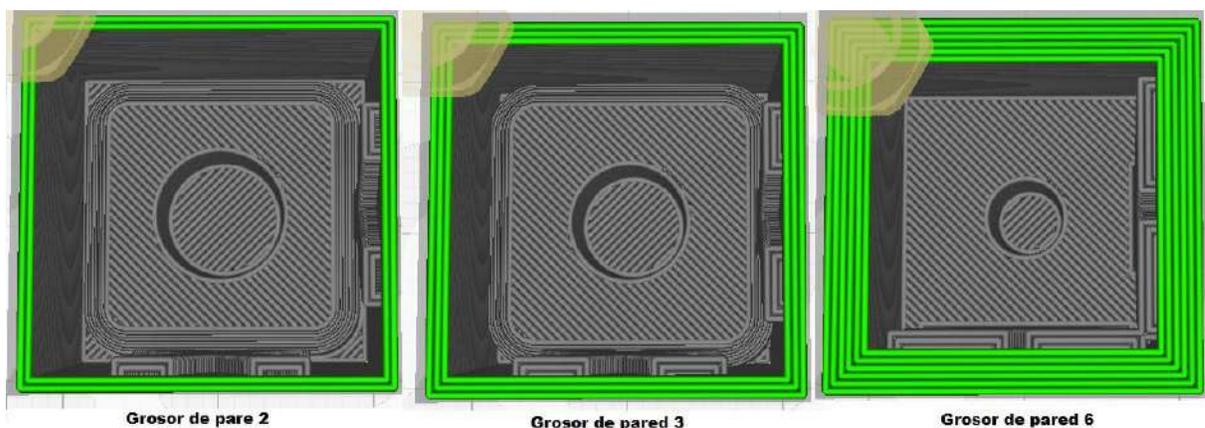


Fig. 134 Grosor de paredes. Fuente propia.

3.3.2.3. Relleno.

El relleno, como su nombre lo dice, es un parámetro que nos permite elegir el porcentaje que queremos en nuestra pieza, como lo indica la Fig.135, de igual forma como se mencionó anteriormente de acuerdo al uso o propósito de nuestra pieza, si necesitamos fuerza y rigidez es un mayor relleno y si es una pieza de exhibición es menor relleno.

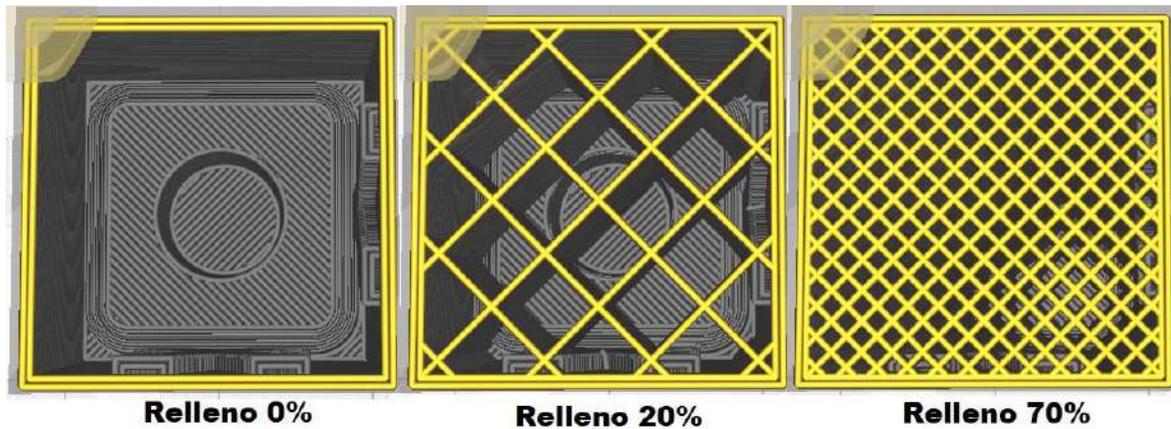


Fig. 135 Relleno. Fuente propia.

3.3.2.4. Patrón de relleno.

En el tipo de patrón de relleno a utilizar, no es un parámetro de tanta importancia, denotando que cada tipo de relleno ofrece distintos tiempos de maquinado y características demasiado específicas, que termina siendo un poco irrelevante el tipo de patrón a utilizar a diferencia del porcentaje de relleno, en la Fig.136 se muestra algunos tipos de patrones con los que cuenta Cura.

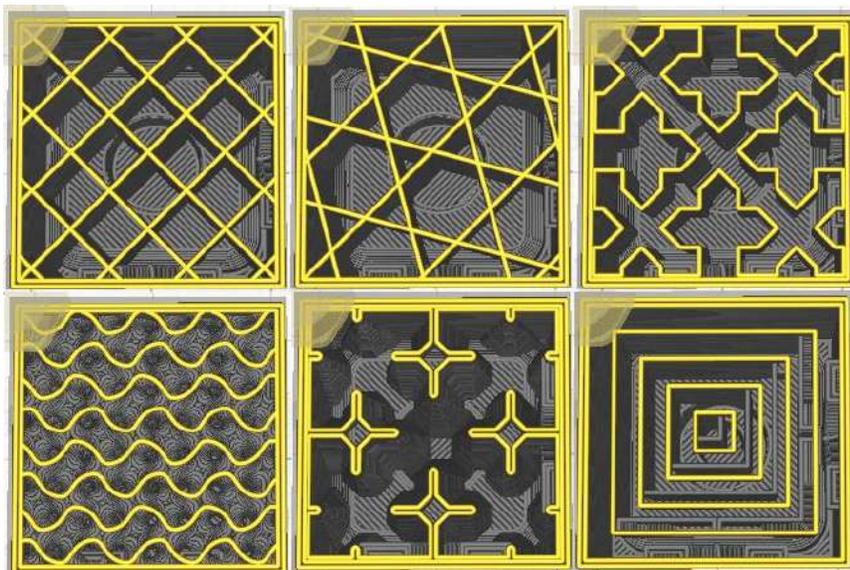


Fig. 136 Patrón de relleno. Fuente propia.

3.3.2.5. Temperatura de impresión.

El parámetro de temperatura, de impresión siempre es determinado por el tipo de material a utilizar, debido a que todos los plásticos cuentan con características diferentes de tal forma que se comportan distinto a diferentes temperaturas, aquí se define la temperatura del nozzle y de la cama de impresión (véase tabla 8).

Tabla 8 Materiales de impresión. Fuente propia.

Tipo de filamento	Temperatura de	Temperatura caliente	cama
PLA	190° - 200° C	60° C	
ABS	215° - 250° C	80° - 130° C	
PET	210° - 255° C	55° - 70° C	
PETG	210° - 260° C	60° - 80° C	
NYLON	240° - 260° C	80° C	
HIPS	210° - 260° C	40° - 60° C	
TPU	200° - 240° C	60° - 70° C	
TPE	200° - 240° C	60° - 70° C	
PVA	180° - 200° C	50° C	

3.3.2.6. Velocidad.

Este parámetro permite configurar la velocidad de desplazamiento del cabezal, con el fin de ajustar tiempos de impresión como se ve en la Fig.137, entre mayor velocidad de impresión menor la calidad, porque los movimientos generan una inercia y pueden generar vibraciones o hasta que los motores pierdan pasos, lo normal de velocidad es entre 50 y 70 mm/s para tener una buena impresión, aun así se pueden utilizar otras velocidades dependiendo la calidad requerida en la pieza.

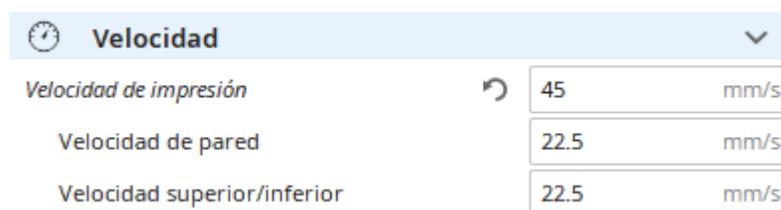


Fig. 137 Velocidad de impresión. Fuente propia.

3.3.2.7. Desplazamiento.

En este apartado se configura la retracción y el salto en Z, la retracción consiste en que el extrusor retraiga o regrese el filamento unos cuantos milímetros con el fin de no generar hilillos, en la impresión y el salto en Z reside en elevar el eje Z cuando el extrusor se desplaza si extruir filamento con el fin de evitar colisiones con la misma pieza como lo muestra la Fig.138.



Fig. 138 Salto en Z. Fuente: <https://support.bcn3d.com/es/knowledge/travel>

3.3.2.8. Refrigeración.

En este apartado podemos configurar el ventilador de capa, puesto que es esencial refrigerar la pieza lo más rápido posible para evitar que la pieza se deforme en el proceso de la impresión, así como también nos permite imprimir piezas con voladizos que cuentan con ángulos no tan bruscos, sin la necesidad de poner soportes, así como en la Fig.139, enfriando el plástico evitando deformaciones.

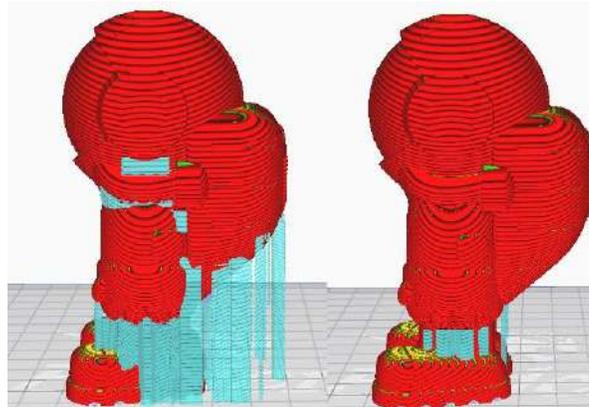


Fig. 139 Refrigeración. Fuente propia.

3.3.2.9. Soporte.

El soporte, es una herramienta de las más importantes debido a que habrá veces que se impriman piezas muy irregulares en donde sea necesario meter soportes, como en la Fig.140, puesto que no se puede generar una pieza en el aire sin tener una base o soporte en donde poderla imprimir, entonces este parámetro es muy útil, se puede configurar a partir de qué ángulo se genera el soporte, el patrón de soporte, la densidad, etc.

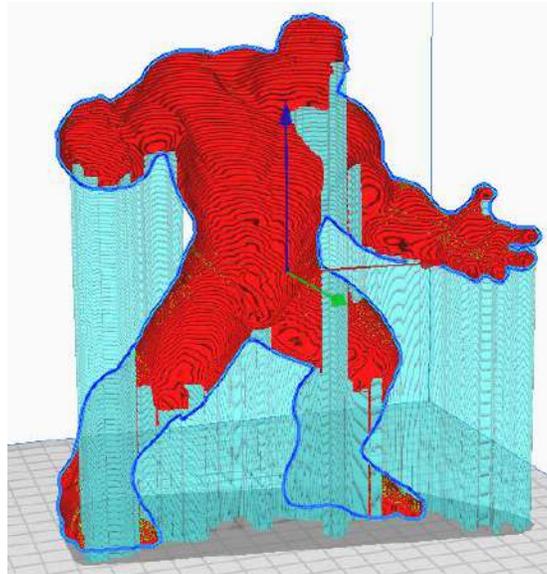


Fig. 140 Soportes. Fuente propia.

3.3.2.10. Adherencia a la placa de impresión.

Este parámetro, únicamente nos genera un área más grande de contacto en la cama caliente, así como en la Fig.141, en piezas que sean demasiado delgadas o que puedan correr el riesgo de despegarse de la base por su poca área de contacto.

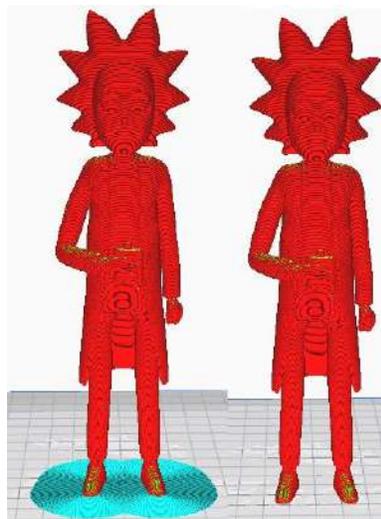


Fig. 141 Adherencia. Fuente propia.

3.3.3. Configuración de la APP Blynk

La aplicación Blynk, permite generar la interfaz de usuario entre una placa que cuente con un sistema IoT como lo son el ESP32 y ESP01 por lo que esta app será nuestro panel de control y monitoreo a distancia de nuestro robot cartesiano, como se observa en la Fig.142.

- Una vez teniendo la aplicación blynk instalada, se tiene que crear una cuenta y posteriormente se tiene que crear un nuevo proyecto configurando el nombre del mismo, y la placa a utilizar en este caso sería un ESP01 o ESP8266 con conexión a Internet.
- Posteriormente, agregamos widget box que son las opciones a utilizar como botón, joystick y un recuadro de streaming.
- Después configuramos cada widget de acuerdo a la configuración de los pines de nuestro esp01, en el caso del encendido y apagado se agrega un botón virtual para el encendido y apagado del relay, en el movimiento de los servos colocamos un joystick vinculándolo a las salidas del esp01 que controlaran a los mismos, y en el recuadro del streaming se configura con la URL que genera el código del ESP32cam.
- Por último, energizamos todo el sistema IoT y corremos el proyecto verificando que el esp01 se conecte a la interfaz y los comandos respondan adecuadamente.

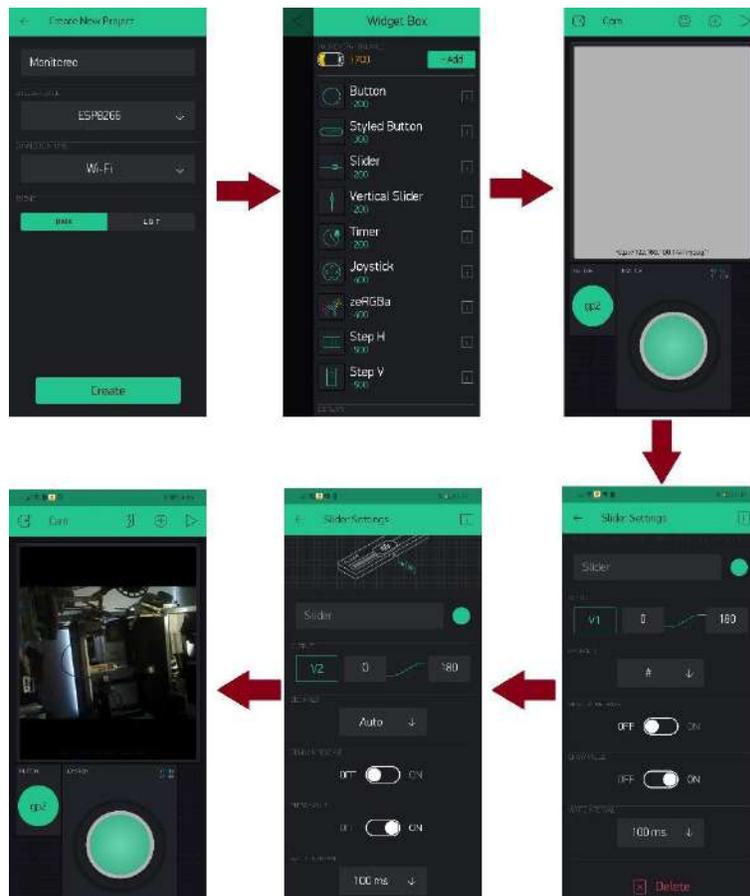


Fig. 142 Blynk. Fuente propia.

4. Resultados.

En este capítulo, se presenta el robot cartesiano implementado en impresión 3D físicamente funcionando, así como también los circuitos de control de todo el robot, de igual forma el de la interfaz IoT, mostrando resultados de los procesos de la máquina y por último una sección de casos de uso en donde se puso al límite el funcionamiento del robot cartesiano, como de igual forma la comparación de impresión a una de fábrica como lo es Anet A8.

4.1. Acoplamiento mecánico.

Todas las piezas utilizadas para el ensamblaje del robot, se diseñaron e imprimieron en 3D con plástico PLA y se muestran a continuación:

- Esta pieza, que se ve en la Fig.143, es el ángulo con el que se unieron los perfiles de aluminio de la parte frontal del robot cartesiano, en donde se utilizaron tuercas en T y tornillería M3 de 8 mm, tomando en cuenta que se utilizaron dos piezas simétricas, una de otra para cada esquina respectiva del robot.

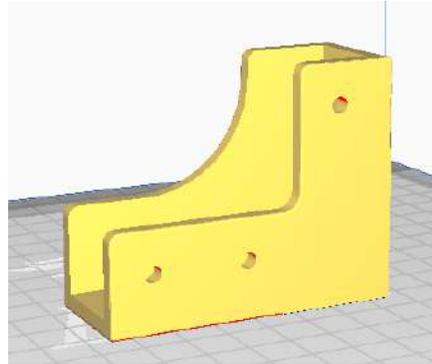


Fig. 143 Ángulo. Fuente propia.

- En la Fig.144 contempla la pieza, que es el ángulo utilizado en las esquinas de la parte trasera de la máquina en donde se unen los perfiles de aluminio, en la cual podemos ver que tiene una tercera derivación en donde se monta el soporte de la estructura perpendicular de la base del robot, tomando en cuenta que se utilizan dos piezas simétricas una para cada esquina.

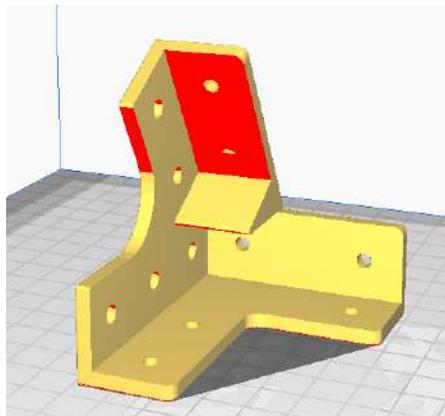


Fig. 144 Ángulo trasero. Fuente propia.

- En la Fig.145 está la pieza que se utilizó para anclar la estructura perpendicular al marco de la base en donde se montó el eje X, unidos por unos tornillos M3 con tuercas en T impresas en PLA.

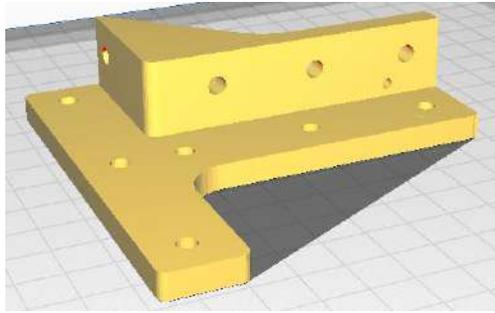


Fig. 145 Angulo de en medio. Fuente propia.

- La cuarta pieza se utilizó para fijar el perfil del soporte que se montó en los ángulos traseros de la base con la estructura perpendicular, de esta forma contamos con una estructura rígida, capaz de amortiguar vibraciones y obtener una mejor estabilidad que se visualiza en la Fig.146.

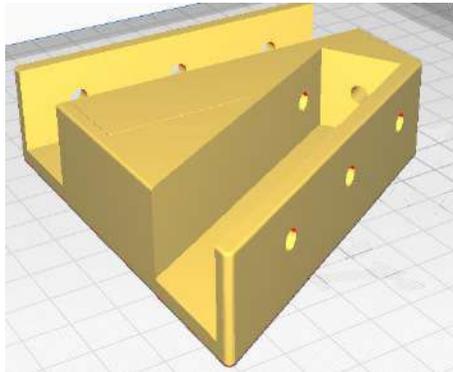


Fig. 146 Soporte. Fuente propia.

- Posteriormente, se utilizó esta pieza de la Fig.147, para unir la estructura perpendicular por la parte de arriba con otro perfil de aluminio, en donde más adelante se montaría la pantalla y el carrete de filamento.

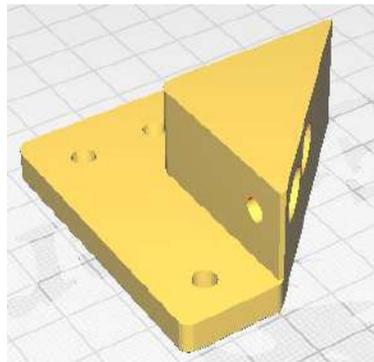


Fig. 147 Ángulo de arriba. Fuente propia.

A continuación, mostramos el proceso de ensamblado de todo el chasis del robot, con las piezas vistas anteriormente, dividiendo en etapas este montaje:

- Etapa 1 ensamblaje de la base del robot: se ensambló un marco con perfiles de aluminio con un largo de 36 cm y un ancho de 45 cm, posteriormente se montaron los perfiles verticales a una distancia de 30 cm de la parte frontal del chasis encima de los perfiles laterales, con una altura de 34 cm unidos a su vez por un perfil de aluminio desde la parte superior, después se ensamblaron dos perfiles desde la parte posterior del chasis con un ángulo de 45° y una longitud de 20 cm, con propósito de otorgarle un soporte a los perfiles verticales, todos estos unidos por ángulos impresos en 3D como se ve en la Fig.148.

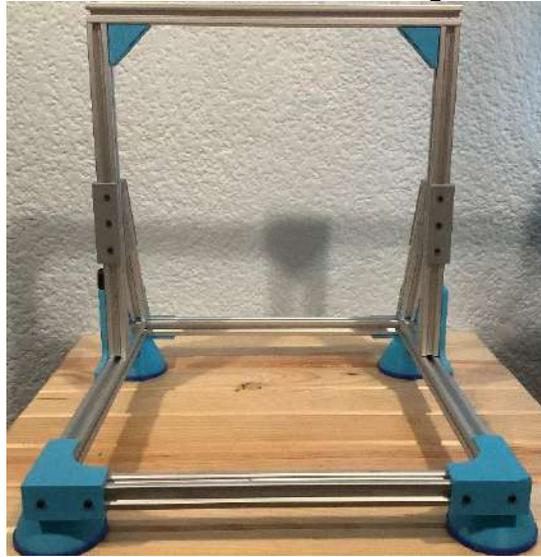


Fig. 148 Chasis. Fuente propia.

- Etapa 2 montajes de ejes mecánicos: se montaron dos ejes ópticos con sus respectivos soportes véase Fig.149, en los cuales se montó la base de la cama caliente a través de unos rodamientos lineales que se desplazan por estos ejes ópticos, así mismo se montó el motor del eje Y al perfil de aluminio interconectado a través de una polea a la base de la cama caliente tensada por un soporte en el frente del chasis, posteriormente se montaron los motores del eje Z, pegados a los perfiles verticales por unos ángulos fijos, después se montó el eje X, acoplando unos ejes ópticos y dos varillas roscadas en los motores del eje Z en los cuales se montaron las bases del eje X, en donde se encuentra el motor y la polea que genera el movimiento del mismo eje.

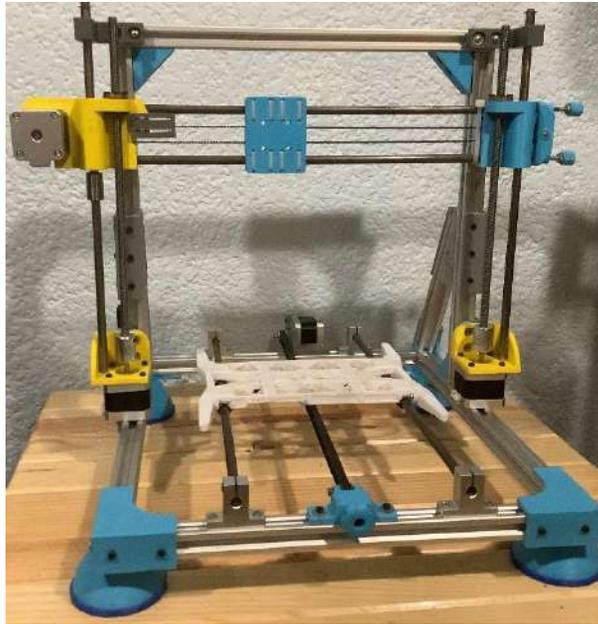


Fig. 149 Ejes. Fuente propia.

- Etapa 3 Cama caliente y extrusor: se acopló el extrusor a través de baleros lineales y sujeto a la correa dentada, como en la Fig.150, en donde se encuentran el motor, bmg, ventiladores y hot-end, que componen todo el extrusor, posteriormente se montó la cama caliente utilizando tornillos m3 de 40 mm con resortes para el amortiguamiento y calibración de la cama.

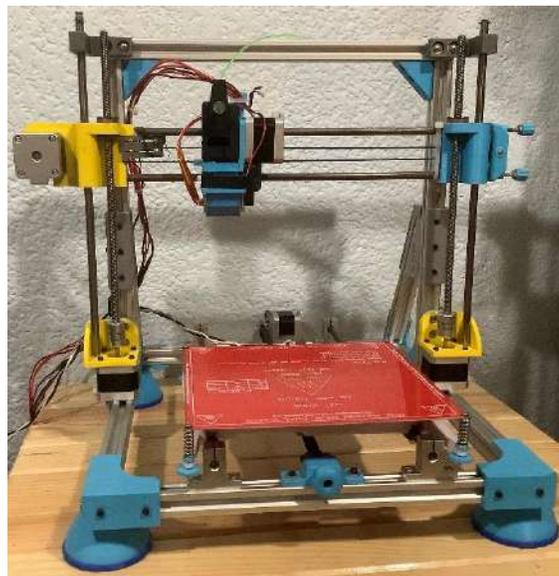


Fig. 150 Montaje de cama y extrusor. Fuente propia.

- Etapa 4 Montaje de circuitos: constituido por la placa madre del robot cartesiano, dos circuitos de potencia Mosfet, dos circuitos de diodos TL-smoother y un módulo duplicador de señal para los motores del eje Z,

todos estos circuitos fueron montados en una base de plástico impresa en 3D, de manera que sea mucho más fácil poder manipularlos y darles un mayor soporte como se observa en la Fig.151.

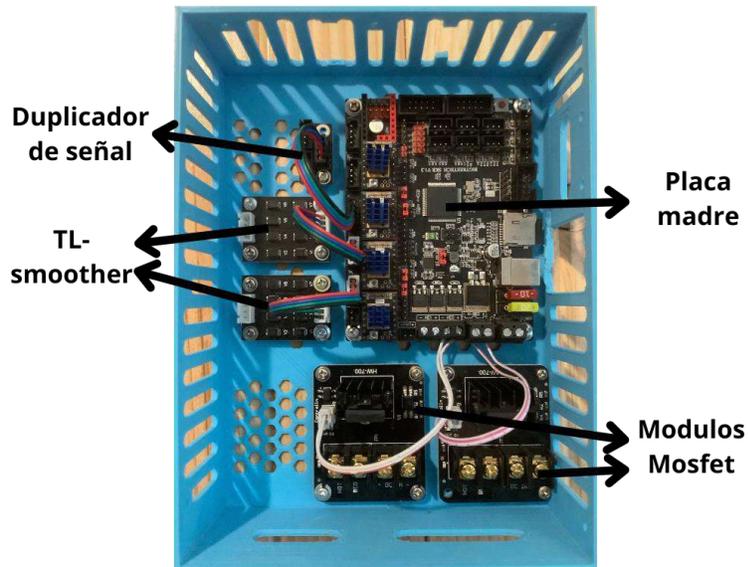


Fig. 151 Componentes eléctricos. Fuente propia.

Por otra parte, se montó la pantalla TFT 24 en la parte superior del chasis del robot cartesiano Fig.152, la cual es la responsable de mostrar la interfaz que es en donde se genera la comunicación del usuario con la máquina.



Fig. 152 Lcd. Fuente propia.

- Etapa 5 Conexiones: en esta etapa se presentan los resultados de todas las conexiones del robot cartesiano, a la caja montada en la estructura del robot donde se encuentran todos los circuitos de control, como también el montaje de la fuente de alimentación del otro lado del robot, la cual alimenta a toda la máquina que se muestra en la Fig.153.

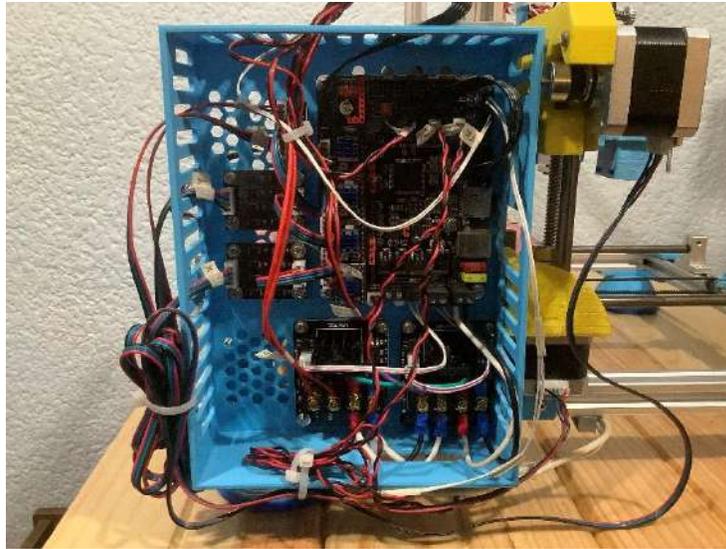


Fig. 153 Montaje del sistema eléctrico. Fuente propia.

- Etapa 6 mecánica sistema IoT: el sistema IoT se montó en un chasis impreso en 3D, en donde se ensambló un servomotor en la base en el cual se montó a través de una base otro servomotor, en donde se colocó el esp32cam en donde los servomotores nos permiten mover la cámara que se ve en la Fig.154, así generando una vista mucho más amplia de monitoreo.

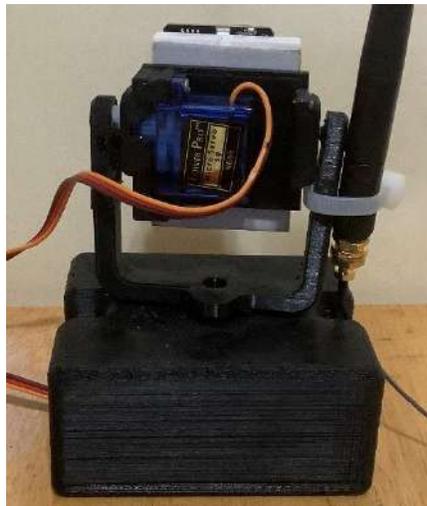


Fig. 154 Sistema IoT. Fuente propia.

4.2. Acoplamiento eléctrico.

Toda la sección de pruebas de la parte eléctrica, se dividieron en etapas incorporando en cada etapa distintos componentes, con el propósito de poder verificar que todos los componentes trabajen adecuadamente y en armonía con todos los demás.

- Etapa 1 Funcionamiento de la pantalla touch: se alimentó todo el circuito con una fuente de 12 v y la pantalla TFT 24, comprobando su correcto funcionamiento y reconociendo todos los comandos instalados en el sistema y sus configuraciones como: el idioma, calibración del touch, colores, así como también el movimiento de un motor con su final de carrera, como lo muestra la Fig.155.



Fig. 155 Prueba del lcd. Fuente propia.

En esta etapa se presentaron problemas con los motores a pasos que se utilizaron primeramente, debido a la mala calidad de estos no presentaban movimientos correctos, únicamente empezaban a vibrar sin generar un movimiento, por lo que se remplazaron por motores de mejor calidad, así consiguiendo un movimiento estable y limpio.



Fig. 156 Motores a pasos. Fuente propia.

- Etapa 2 Movimiento de motores: en esta posterior etapa, se conectaron todos los motores que entregan el movimiento a nuestro robot cartesiano,

que se muestra en la Fig.157, como también los sensores o finales de carrera que marcan nuestro punto de referencia, a través de la pantalla lcd se manipularon los movimientos y se probaron uno por uno, simulando manualmente el sensado del origen de cada motor visualizando como el motor se detenía dando por hecho el reconocimiento del origen.

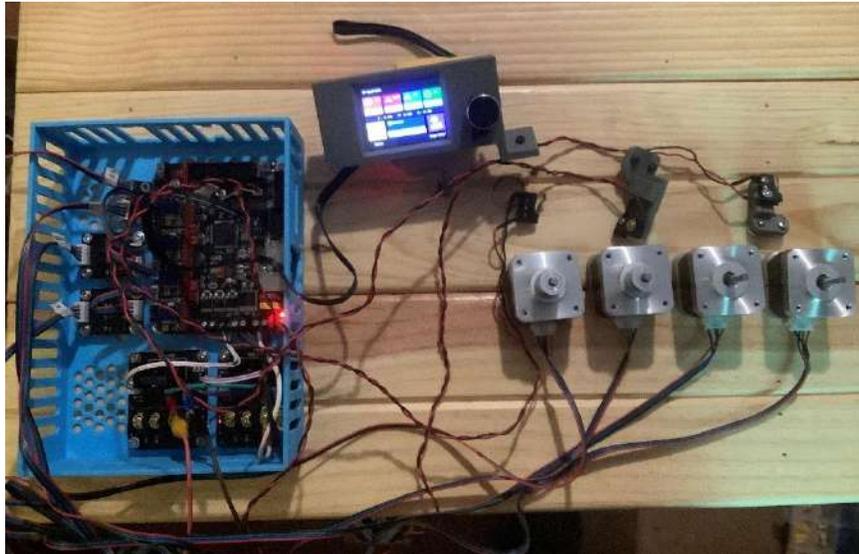


Fig. 157 Prueba de motores. Fuente propia.

- Etapa 3 prueba de calentamiento del extrusor: en esta fase se agregó el extrusor con el propósito de verificar que la etapa de potencia que alimenta la resistencia cerámica, trabajará de manera correcta y a su vez que el sensado de la temperatura fuera correcto, tomando en cuenta que todos los componentes trabajaran en armonía como se observa en la Fig.158.

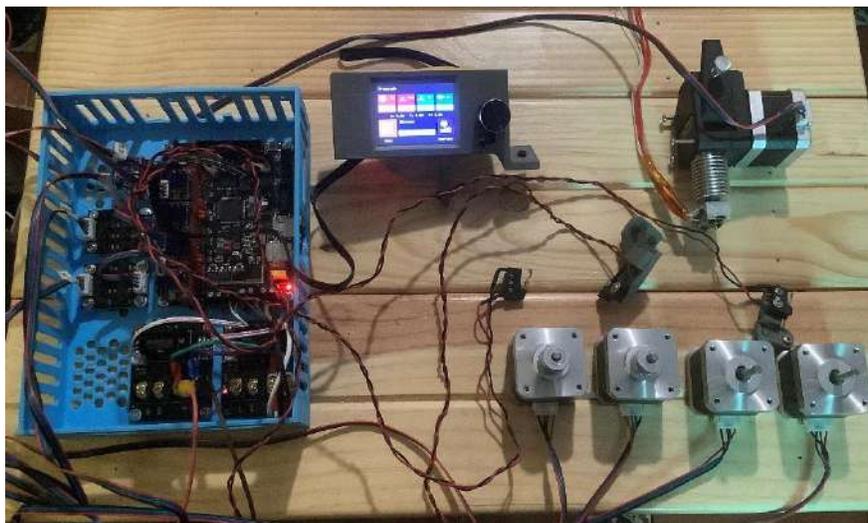


Fig. 158 Prueba de extrusión. Fuente propia.

- Etapa 4 Ventiladores: en la Fig.159 se visualiza como se adjuntaron todos los ventiladores que actúan en el sistema, comprobando su funcionamiento y manipulando sus velocidades en el sistema, así trabajando sin problema en conjunto con los demás componentes.



Fig. 159 Prueba de ventiladores. Fuente propia.

- Etapa 5 Cama caliente: para esta sección se incorporó la cama caliente en donde se imprimen las piezas, de igual forma que en el extrusor se comprobaron temperatura Fig.160, así como el sensado de la temperatura a través de nuestra pantalla lcd, rectificando un buen funcionamiento de todo nuestro sistema.

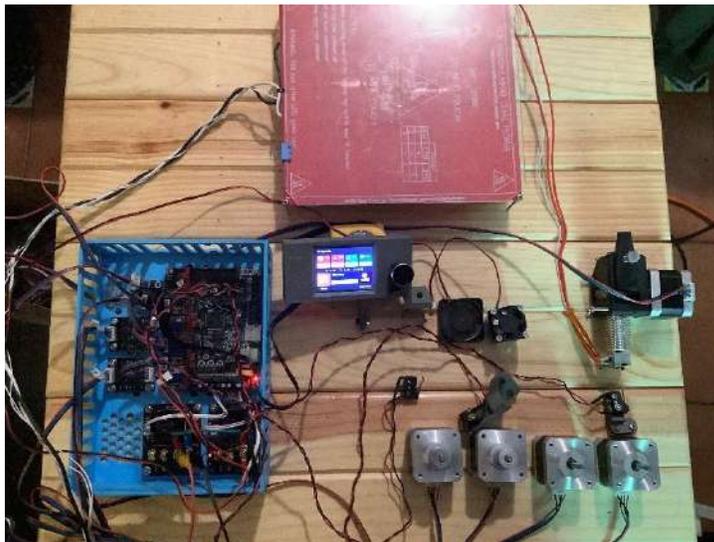


Fig. 160 Prueba de hot-bed. Fuente propia.

- Etapa 6 Electrónica del sistema IoT: se implementó un circuito de potencia con dos voltajes de funcionamiento de 5 V para alimentar la placa esp32-cam y los servomotores que generan el movimiento, por lo tanto, los 3 V para alimentar la placa esp01 y el módulo relay que conmuta con

el voltaje de salida del esp01, se muestran en la Fig.161, tomando en cuenta que se le suministra a todo el circuito un voltaje de entrada de 5 V, que posteriormente entran a un regulador de 3 V así consiguiendo los dos voltajes necesarios.

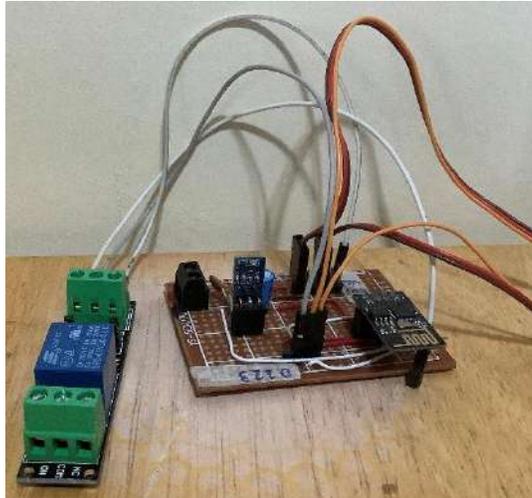


Fig. 161 Circuito IoT. Fuente propia.

4.3. Firmware.

Este proceso de configuración y funcionamiento del firmware, se probaron a la par con el eléctrico tomando en cuenta que, para poder probar el funcionamiento del firmware, era necesario conectar los componentes a la placa para corroborar el funcionamiento adecuado.

- El firmware en la pantalla principal Fig.162, nos arrojó unos iconos del estado de la impresora, como lo es la temperatura tanto del extrusor como de la cama, la velocidad de la ventilación, el porcentaje de flujo que a su vez nos permite el acceso rápido a su edición de estos parámetros, también nos muestra el icono de menú para más configuraciones y el icono de imprimir que nos manda a seleccionar el archivó que se encuentra en la memoria.



Fig. 162 Menú principal. Fuente propia.

- La segunda pantalla que se ve en la Fig.163, generada por el firmware una vez entrando al menú, nos arroja las configuraciones más importantes de la máquina como es la parte de la calefacción, el movimiento de los ejes, parámetros de extrusión, terminal del sistema, etc.



Fig. 163 Submenú. Fuente propia.

- En la opción de la calefacción nos mostró las configuraciones de temperaturas, como lo es precalentar, en donde precalentamos de acuerdo al plástico a utilizar, calentar, en donde manualmente metemos las temperaturas deseadas, enfriar, en donde desconecta todo y la ventilación, de acuerdo al porcentaje potencia del ventilador como se ve en la Fig.164.



Fig. 164 Menú de calefacción. Fuente propia.

- En el apartado de movimiento Fig.165, nos da las opciones de origen, la cual nos da la opción de mandar a todos los ejes al origen o individualmente, o mover a donde nos lo sea requerido, en extruir, nos permite extruir en el momento, desactivar los motores, esta opción nos permite mover manualmente los ejes sin llegar a dañar la electrónica, baby step, nivelación de la cama.



Fig. 165 Menú de movimiento. Fuente propia.

- En la opción de la terminal nos arroja un teclado en donde nos permite mandar comandos a través de código, para que la maquina realice cualquier función de las anteriores, en la Fig.166 se observa la terminal.



Fig. 166 Terminal Gcode. Fuente propia.

- En el apartado de configuración Fig.167, tiene que ver con configuraciones de la pantalla, idiomas, colores, parámetros de movimientos, como los pasos de los motores, corrientes, PID de la calefacción, etc.



Fig. 167 Menú de parámetros. Fuente propia.

- El firmware del sistema IoT Fig.168, permitió que las placas esp32-cam y esp01 se vincularan con la app de blynk generando tres secciones, la primera es en donde se pudo ver la imagen transmitida por el esp32-cam, el segundo botón del lado izquierdo está vinculado a una salida del esp01 que activa y desactiva el relay, encargado de encender o apagar el robot y por último presenta un joystick vinculado a los dos servomotores permitiendo moverlos manipulando este joystick.



Fig. 168 Panel de control. Fuente propia.

4.4. Comparativa Robot Cartesiano e Impresora 3D (Anet A8)

En el diseño y desarrollo de este robot cartesiano se tomaron en cuenta algunas debilidades con las que contaba el Modelo Anet A8, con el fin de poder implementar justamente la mejora de estas deficiencias y poder tener un sistema más completo, atacando las debilidades, las cuales generan demasiados errores y problemas en el proceso de impresión con el modelo ya mencionado.

4.4.1. Comparaciones Mecánicas

Tomando en cuenta que la Anet A8, es una impresora 3D de gama baja, en donde es evidente que es un equipo demasiado básico, por lo que se llegan a presentar muchos problemas en el proceso de manipulación, se optó por compararla con el robot cartesiano con aplicaciones en la impresión 3D, con el fin de poder identificar todos los aportes extras con la que puede contar la misma (véase Tabla 9).

Tabla 9 Características mecánicas.

Característica	Robot Cartesiano con Aplicaciones en la impresión 3D	Impresora 3D (Anet A8)
Material estructural	Perfil de aluminio con ángulos impresos en 3D (PLA)	Acrílico
Tipo de correa	Gt2	Gt2
Tipo de extrusor	Directa con BMG	Directa
Tensores de correas	Eje X y eje Y	NO
Área de impresión	200x200x240 mm	200x200x240 mm
Dimensiones	500x450x400	460x490x490
Tipo de calibración	Manual	Manual
Doble motor en eje Z	Si	Si

4.4.2. Comparaciones en el Sistema Eléctrico

La parte electrónica de las impresoras está conformada por muchos periféricos, por lo que es necesario revisar minuciosamente las diferencias que se puedan

presentar, desde el tipo de fuente de alimentación hasta los componentes de la tarjeta (véase Tabla 10).

Tabla 10 Características eléctricas. Fuente propia.

Característica	Robot Cartesiano con Aplicaciones en la impresión 3D	Impresora 3D (Anet A8)
Fuente de alimentación	12v a 20A	12v a 20A
Voltaje	12 – 24v	12 – 24v
Fusible	Si	No
Tipo de Drivers	TMC2208	A4988
Micro pasos	Si	Si
Tipo de puerto	USB, SD y micro SD	Micro SD
Tipo de pantalla	TFT touch	LCD 2004
Ventilación	Si	Si
Bits	32 bits	8 bits
Temperatura Max de la cama	110° C	100° C
Temperatura máxima del extrusor	275° C	250° C
Mosfet de Potencia	Si	El original
TL-smoother	Si	No

4.4.3. Comparaciones en el Firmware

En este apartado, en las diferencias del firmware se notará considerablemente la diferencia a comparación de las secciones anteriores, debido a la muy limitada capacidad de la placa que cuenta con un firmware que cumple difícilmente los procesos de impresión (véase Tabla 11).

Tabla 11 Características del Firmware

Característica	Robot Cartesiano con Aplicaciones en la impresión 3D	Impresora 3D (Anet A8)
Versión de Marlin	Marlin 2.0	Basado en Marlin 1.2
Sistema de protección de temperatura	Si	No
Recuperación de impresión por corte de energía.	Si	No
Pausado de impresión	Si	No
Método de calefacción	PID	BangBang
Mosfet de potencia	Si	Si
Terminal para comandos	Si	No

4.5. Casos de uso Robot Cartesiano

Para esta sección se utilizaron dos plásticos diferentes, PLA y ABS con el propósito de visualizar el comportamiento de estos mismos, imprimiendo piezas específicas modificando los parámetros de impresión, así como también demostrar los límites de impresión que tiene el robot cartesiano.

Las condiciones del entorno de impresión 3D son importantes para el desarrollo de la pieza, se cuenta con un promedio de temperatura ambiente de 23 °C con una humedad de alrededor del 30%, la habitación no sufre corrientes de aire frías ni ninguna alteración de temperatura brusca, la máquina está montada en una meza de madera rígida que absorbe todo tipo de vibración y no cuenta con ningún domo o estructura que la encapsule.

Los parámetros iniciales de los casos de uso son:

- Altura de capa = 0.2 mm
- Recuentos de línea de pared = 2
- Capas superiores = 2
- Capas inferiores = 2
- Densidad de relleno = 10%
- Temperatura de impresión PLA = 210 °C, ABS = 235 °C

- Temperatura de la cama PLA = 60 °C, ABS = 70 °C
- Velocidad de impresión = 50 mm/s
- Retracción = Activada
- Refrigeración de impresión = Activada
- Soportes = Desactivados
- Adherencia a la placa de impresión = falda con 3 líneas

4.5.1.Caso de uso 1 “Parámetro Temperatura de extrusión”

En este primer caso de uso se imprimieron torres de temperatura, esto consiste en que a cierta altura de la impresión la temperatura cambia, esto con el objetivo de poder visualizar a qué temperatura es la ideal para el tipo de material que estamos utilizando, tomando en cuenta los rangos de temperatura de cada tipo de plástico.

En la Fig.169, se utilizó PLA de color negro con un rango de temperatura de 180 a 220 °C con intervalos de cinco grados, de esta forma podemos observar que este material nos arroja buenos resultados a 190 °C, siendo así su temperatura óptima de trabajo.



Fig. 169 Test temperatura PLA. Fuente propia.

Como se ve en la Fig.170, se ocupó ABS color blanco con un rango de temperatura de 220 a 260 °C con intervalos de cinco grados, dándonos como resultado que a temperaturas de 235 a 240 °C ofrece un buen resultado, así como también se observa que a temperaturas menores sufre delaminación entre capas y a mayor temperatura la calidad empieza a bajar.



Fig. 170 Test temperatura ABS. Fuente propia.

4.5.2.Caso de uso 2 “Parámetro Ventilación de Capa”

En este caso de uso se imprimió una pieza que conforme va creciendo se va inclinando, contando con un ángulo inicial de 10° hasta un ángulo de 80° con intervalos de 10° , aplicando las temperaturas ideales arrojadas en el primer caso de uso de acuerdo a cada plástico, realizando dos pruebas por cada plástico en las cuales en la primera se desactivó por completo el ventilador de capa y en la segunda se activó al 100%.

En la siguiente Fig.171, de lado izquierdo podemos visualizar el PLA con la ventilación activada, dándonos como resultado que hasta el ángulo de 80° en donde la impresión empezó a deformarse en la parte inferior de la pieza. En la pieza del lado derecho podemos ver la pieza con el parámetro de la ventilación de capa activada al máximo, arrojándonos que a partir del ángulo de 50° en adelante se empezaron a presentar deformaciones en la parte inferior de la pieza, colgándose un poco más el filamento conforme el ángulo aumentaba.



Fig. 171 Test ventilación PLA, Fuente propia.

En la Fig.172, del lado izquierdo podemos observar la misma pieza en ABS, con la ventilación de capa al 100% dando como resultado ninguna deformación, del lado derecho se ve la misma pieza con la ventilación desactivada denotando que el resultado es demasiado similar a la anterior, concluyendo que en el ABS la ventilación de capa no afecta mucho.

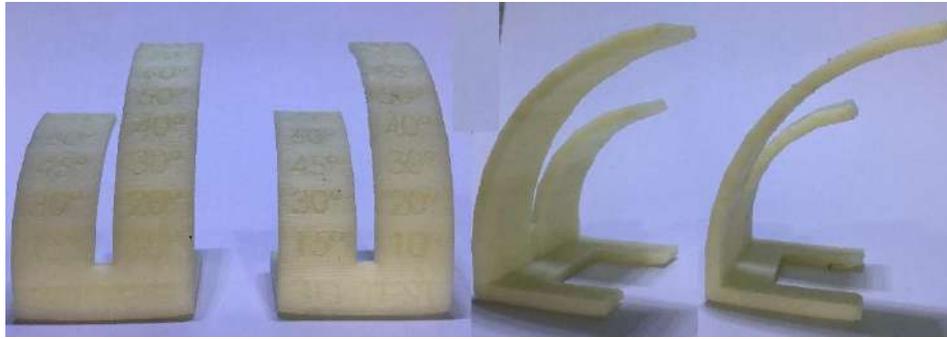


Fig. 172 Test ventilación ABS. Fuente propia.

4.5.3.Caso de uso 3 “Parámetro Retracción”

Este siguiente caso de uso, consiste en poder observar cómo funciona el parámetro de la retracción tanto como para PLA y ABS, tomando en cuenta que la pieza a imprimir se caracteriza por ser estructuras separadas una de otra con el fin de visualizar el residuo de material que puede generar al realizar estos traslados del extrusor.

En la Fig.173, podemos mirar a la izquierda una pieza en PLA con el parámetro de la retracción desactivado y como genera residuos en el desplazamiento del cabezal, del lado derecho se presenta la misma pieza con parámetro de retracción activada, se observa un modelo limpio en donde no se generó ningún residuo de plástico al realizar el traslado de la boquilla.

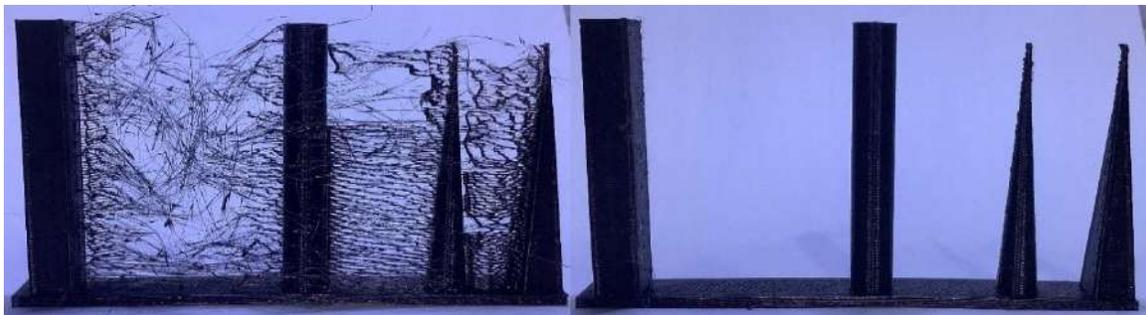


Fig. 173 Test retracción PLA. Fuente propia.

Como se ve en la Fig.174, a la izquierda se puede ver una pieza en ABS con la retracción desactivada, así como también se genera el residuo de plástico en traslado del extrusor y a la derecha con parámetro de retracción activada observando que no genero ningún residuo de plástico al realizar el traslado de la boquilla.

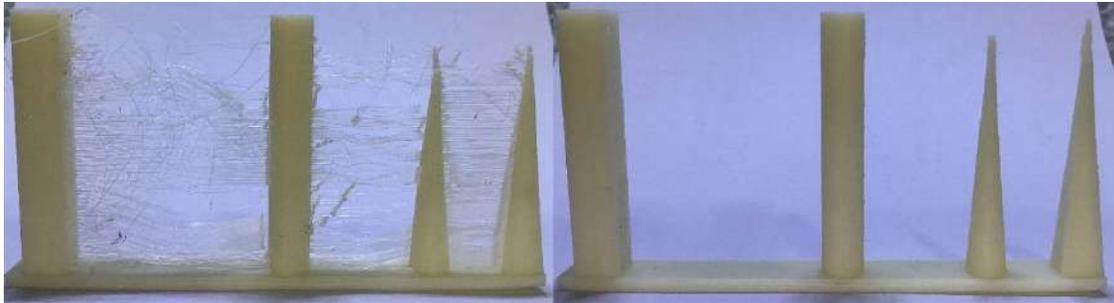


Fig. 174 Test retracción ABS. Fuente propia.

4.5.4.Caso de uso 4 “Parámetro Temperatura de Cama”

En este cuarto caso de uso se pone a prueba la temperatura de la cama caliente, tomando en cuenta que de acuerdo al tipo de plástico a utilizar esta temperatura tiene que cambiar, y a su vez poder visualizar si se genera warping en las piezas impresas.

En la siguiente Fig.175, se muestran distintas temperaturas a la que se imprimió el plástico PLA empezando desde 40°, 50° y por último de 80° C obteniendo como resultado que el plástico no sufre ninguna deformación en cualquiera de las temperaturas utilizadas, sin dejar de mencionar que la temperatura recomendada es de 60° C.



Fig. 175 Temperatura cama PLA. Fuente propia.

En la Fig.176, se visualiza las distintas temperaturas a las que se imprimió el plástico ABS, desde 40°, 50°, 60°, 70° y 80° C arrojando que en temperaturas debajo de 60° el plástico se pandeaba generando warping propiciando que la pieza se despegara, como también temperaturas superiores a 80° despegándose por completo la pieza.

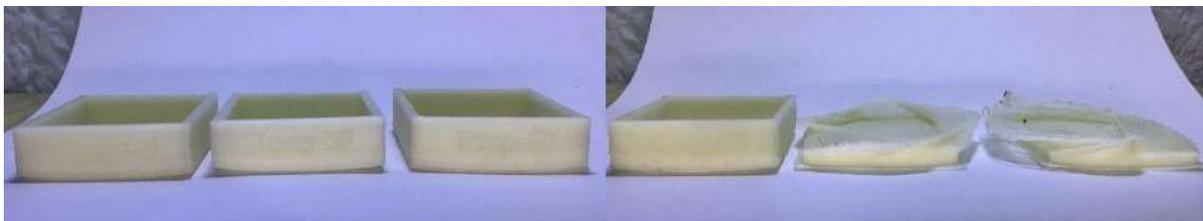


Fig. 176 Temperatura cama ABS. Fuente propia.

4.5.5.Caso de uso 5 “Parámetro Velocidad de Impresión”

En este último caso de uso se califica la velocidad de impresión, denotando que a mayor velocidad menor calidad de la pieza que a su vez se aplica este examen con dos plásticos diferentes PLA y ABS. Se someterán a dos velocidades cada material empezando con 50 mm/s mantenido esta velocidad aproximadamente a la mitad de la pieza para después cambiar a 85 mm/s hasta terminar la pieza.

Como se muestra en la Fig.177 se muestra la misma pieza impresa dos veces con la diferencia en las velocidades de impresión, la primera a 50 mm/s y la segunda pieza a 85 mm/s, en donde no presenta alteraciones o deformaciones la pieza a diferentes velocidades.



Fig. 177 Test velocidad PLA. Fuente propia.

En la Fig.178 se observa la misma pieza, pero con ABS replicando las mismas velocidades de 50 mm/s y 85 mm/s, visualizando en la figura de la derecha mínimas delaminaciones generadas por la alta velocidad de la impresión.



Fig. 178 Test velocidad ABS. Fuente propia.

4.5.6. Resultado de los casos de uso del Robot cartesiano

En la tabla 12, se presentan los resultados del robot cartesiano, calificando su desempeño en las pruebas a las que fue sometida, ya que era necesario evaluar su trabajo para compararla con una máquina de fábrica.

Tabla 12 Casos de uso robot cartesiano. Fuente propia.

Parámetros de Impresión	PLA	ABS	OBSERVACIONES PLA	OBSERVACIONES ABS
Temperatura de extrusión	✓	✓	Por la nobleza de este plástico, en cualquier temperatura dentro de su rango de temperatura funciona adecuadamente sin ningún problema.	El ABS arriba de los 245° C se imprime bien, sin sufrir delaminación entre capas. Por debajo de la temperatura empieza a observarse la delaminación.
Ventilación de Capa	✓	✓	Este parámetro marca gran diferencia al activarlo, soportando lo doble de inclinación sin sufrir deformaciones.	Al ser un material que utiliza altas temperaturas de extrusión se enfría demasiado rápido, de tal forma que este parámetro no hace gran diferencia.
Retracción	✓	✓	Este parámetro es indispensable, para que el plástico no genere hilos en el desplazamiento.	Este parámetro es indispensable para que el plástico no genere hilos en el desplazamiento.
Temperatura de Cama	✓	✗	Por la nobleza de este plástico, en cualquier temperatura de la cama funciona adecuadamente sin presentar warping.	En todas las temperaturas dentro del rango se presentó warping, por lo que se necesita poner falda a todas las piezas para obtener una mejor adherencia a la placa.
Velocidad de Impresión	✓	✓	Este parámetro genera mínimas diferencias en las piezas, casi imperceptibles que se consideran nulas.	Este parámetro genera mínimas delaminaciones en la pieza con mayor velocidad, casi imperceptibles.

4.6. Casos de uso Impresora 3D Ante A8

Para este apartado se utilizaron dos plásticos diferentes PLA y ABS, con el objetivo de visualizar el comportamiento de estos materiales, imprimiendo piezas específicas, modificando los parámetros de impresión, así como también demostrar los límites de impresión con las que vienen este tipo de máquinas de fábrica.

Las condiciones del entorno de impresión 3D, son importantes para el desarrollo de la pieza, se cuenta con un promedio de temperatura ambiente de 23 °C con una humedad de alrededor del 30%, la habitación no sufre corrientes de aire frías ni ninguna alteración de temperatura brusca, la máquina está montada en una meza de madera rígida que absorbe todo tipo de vibración y no cuenta con ningún domo o estructura que la encapsule.

Los parámetros iniciales de los casos de uso son:

- Altura de capa = 0.2 mm
- Recuentos de línea de pared = 2
- Capas superiores = 2
- Capas inferiores = 2
- Densidad de relleno = 10%
- Temperatura de impresión PLA = 210 °C, ABS = 235 °C
- Temperatura de la cama PLA = 60 °C, ABS = 70 °C
- Velocidad de impresión = 50 mm/s
- Retracción = Activada
- Refrigeración de impresión = Activada
- Soportes = Desactivados
- Adherencia a la placa de impresión = falda con 3 líneas

4.6.1. Caso de uso 1 “Parámetro Temperatura de extrusión”

En este primer caso de uso con la Anet A8, se imprimieron torres de temperatura, esto consiste en que a cierta altura de la impresión la temperatura cambia, esto con el objetivo de poder visualizar a qué temperatura es la ideal para el tipo de material que estamos utilizando, tomando en cuenta los rangos de temperatura de cada tipo de plástico.

En la Fig.179, se muestra como quedo la impresión con PLA una torre de temperatura en la Impresora 3D Anet A8 para encontrar cómo se comporta haciendo los cambios de temperatura, empezando desde 220 °C a los 180° C, obteniendo que de los 180° el extrusor empezaba a perder pasos debido a que no tenía la fuerza suficiente para empujar el filamento, consecuencia de una temperatura en donde ya no se derretía de la misma manera.

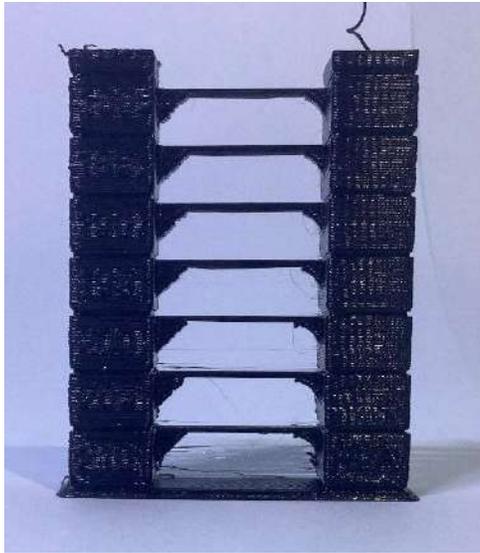


Fig. 179 Test temperatura PLA A8. Fuente propia.

Posteriormente se realizó una torre de temperatura con ABS, empezando desde 260° hasta los 220°, a partir de los 240° C la torre empezó a mostrar delaminaciones hasta el punto de romperse por completo la pieza, como se muestra en la Fig.180.



Fig. 180 Test temperatura ABS A8. Fuente propia.

4.6.2. Caso de uso 2 “Parámetro Ventilación de Capa”

En este caso de uso se imprimió una pieza que se inclina a medida que crece, contando con un ángulo inicial de 10° hasta un ángulo de 80° con intervalos de 10 °, aplicando las temperaturas ideales arrojadas en el primer caso de uso de acuerdo al tipo de plástico, realizando dos pruebas por cada plástico en las

cuales en la primera se desactivó por completo el ventilador de capa y en la segunda se activó al 100%.

En la Fig.181, del lado izquierdo se presenta la pieza de PLA con la ventilación apagada, de tal forma que hasta la pieza se ve de mala calidad, a partir del ángulo 50 empeoro deformándose más, por otro lado, en la imagen de la derecha la pieza con la ventilación de capa activada a partir del ángulo 70° empezó a mostrar deformaciones.



Fig. 181 Test ventilación PLA A8. Fuente propia.

Después se aplicó la misma prueba, pero con el filamento ABS, en donde la pieza del lado izquierdo, la cual es con la ventilación de capa desactivada, a partir del ángulo 50° comenzó a deformarse sin dejar de mencionar que la pieza ya venía con mala calidad, la pieza del lado derecho con la ventilación activada si genero deformaciones, pero se presentaron hasta el ángulo de 75° (véase la Fig.182).

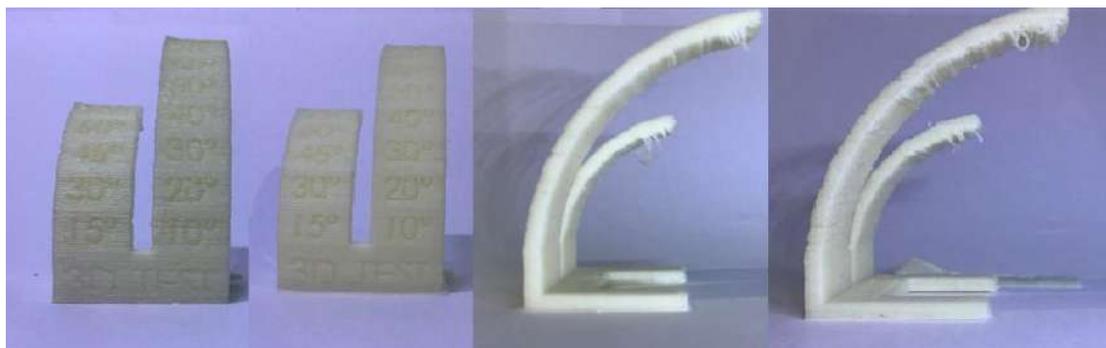


Fig. 182 Test ventilación ABS A8. Fuente propia.

4.6.3.Caso de uso 3 “Parámetro de Retracción”

Este siguiente caso de uso, consiste en poder observar cómo funciona el parámetro de la retracción tanto como para PLA y ABS, tomando en cuenta que la pieza a imprimir se caracteriza por tener estructuras separadas una de otra, con el fin de visualizar el residuo de material que puede generar al realizar estos traslados del extrusor.

En la Fig.183, observamos dos piezas impresas con PLA, denotando que la del lado izquierdo tiene el parámetro de retracción apagado por lo que se

generaron demasiados hilos, por otro lado, la pieza de la derecha cuenta con la retracción activada aun así se llegó a generar hilos pequeños en el traslado del extrusor.

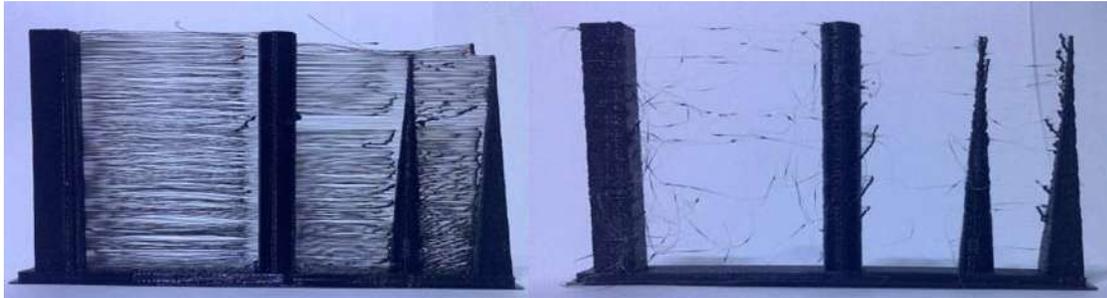


Fig. 183 Test retracción PLA A8. Fuente propia.

En el caso del ABS que se visualiza en la Fig.184, se ve perfectamente del lado izquierdo la falta de retracción, en el caso de la pieza del lado derecho de igual forma se le llegaron a generar hilillos aun estando el parámetro de la retracción activada.

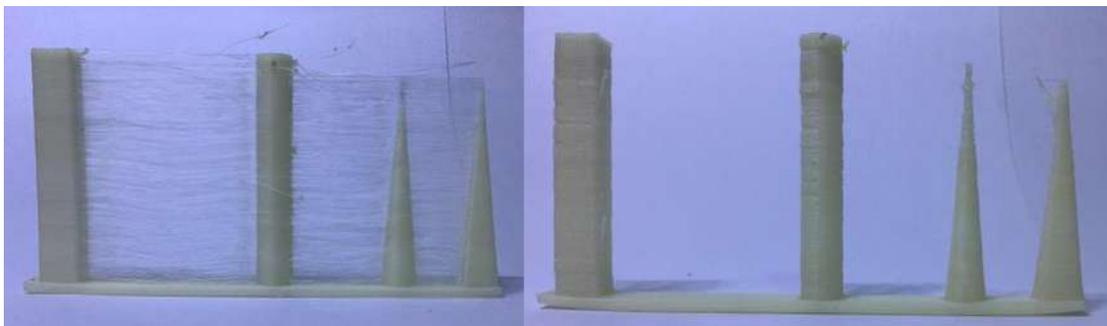


Fig. 184 Test retracción ABS A8. Fuente propia.

4.6.4.Caso de uso 4 “Parámetro Temperatura de la cama”

En este cuarto caso de uso se pone a prueba la temperatura de la cama caliente, tomando en cuenta que de acuerdo al tipo de plástico a utilizar esta temperatura tiene que cambiar y a su vez poder visualizar si se genera warping en las piezas impresas.

En la Fig.185, se muestran tres piezas en PLA en las cuales se imprimieron con la cama a diferentes temperaturas, la primera a 40°, la segunda a 50° y la última a 80°, con el propósito de observar si se generaba alguna deformación en la pieza, lo cual no se generó ningún problema de impresión.



Fig. 185 Temperatura cama PLA A8. Fuente propia.

En el caso de ABS se realizaron cuatro pruebas, la primera a 40°, la segunda a 50°, la tercera a 70° y por último a 90°, obteniendo en las tres primeras deformaciones en las esquinas y en la última siempre se despegaba la pieza por completo como se muestra en la Fig.186.



Fig. 186 Temperatura ABS A8. Fuente propia.

4.6.5.Caso de uso 5 “Parámetro Velocidad de impresión”

En este último caso de uso, se califica la velocidad de impresión denotando que a mayor velocidad menor calidad de la pieza y a su vez se aplica este examen con dos plásticos diferentes PLA y ABS. Se someterán a dos velocidades cada material con 50 mm/s y después con 85 mm/s para ver el resultado.

En la Fig.187, se muestran dos piezas impresas en PLA con la diferencia que el primero se imprimió a una velocidad de 50 mm/s y el segundo a una velocidad de 85 mm/s obteniendo como resultado que no muestran diferencia alguna.



Fig. 187 Test velocidad PLA A8. Fuente propia.

En el caso del ABS de la misma manera se imprimieron a 50 y 85 mm/s, pero en las dos se presenta delaminaciones de capas, determinado que no afecta tanto la velocidad de la impresión, los errores son los mismos como se observa en la Fig.188.



Fig. 188 Test velocidad ABS A8. Fuente propia.

4.6.6.Resultado de los casos de uso de la Anet A8

En la tabla siguiente se muestran los resultados de la impresora 3D de fábrica, con el fin de conocer su desempeño en los test a los que se sometió, con el propósito de poder comparar esta impresora con el robot cartesiano implementado en el presente trabajo.

Tabla 13 Casos de uso A8. Fuente Propia.

Parámetros de Impresión	PLA	ABS	OBSERVACIONES PLA	OBSERVACIONES ABS
Temperatura de extrusión			Por la nobleza de este plástico, en cualquier temperatura dentro de su rango de temperatura funciona adecuadamente sin ningún problema.	El ABS arriba de los 245° C se imprime bien, sin sufrir delaminación entre capas. Por debajo de la temperatura empieza a observarse la delaminación.
Ventilación de Capa			Este parámetro marca gran diferencia al activarlo, soportando lo doble de inclinación sin sufrir deformaciones.	El plástico presenta muy mala calidad al iniciar la impresión, por lo que al llegar al ángulo se empezó a deformarse demás.
Retracción			Este parámetro si hace una diferencia, pero aun activada la retracción genera un poco de hilillos.	Este parámetro si marca una gran diferencia, pero aun activada sigue generando algo de hilillos.
Temperatura de Cama			Por la nobleza de este plástico, en cualquier temperatura de la cama funciona adecuadamente sin presentar warping.	En todas las temperaturas dentro del rango se presentó warping, por lo que se necesita poner falda a todas las piezas para obtener una mejor adherencia a la placa.
Velocidad de Impresión			Este parámetro genera mínimas diferencias en las piezas casi imperceptibles que se consideran nulas.	Este parámetro genera delaminaciones considerables en las piezas sin importar que velocidad sea.

4.7. Comparativa de los resultados de las dos maquinas

En la siguiente tabla se presentan los resultados de las dos máquinas, comparando su resultado, denotando con una palomita los test que, si aprobaron, con una línea amarilla los test que tuvieron problemas de impresión pero que sí pudieron imprimir y con un tache a los test que no aprobaron.

Tabla 14 Comparaciones casos de uso. Fuente propia

Parámetros de Impresión	PLA Robot cartesiano	ABS Robot cartesiano	PLA Anet A8	ABS Anet A8
Temperatura de extrusión	✓	✓	✓	✓
Ventilación de Capa	✓	✓	✓	—
Retracción	✓	✓	—	—
Temperatura de Cama	✓	✗	✓	✗
Velocidad de Impresión	✓	✓	✓	✗

Como se observa en la tabla de resultados, el robot cartesiano con aplicaciones en la impresión 3D cumple con la mayoría de todos los test de impresión a los que fue sometida, esto gracias a todos los sistemas y mejoras acopladas con las que las impresoras de gama baja no cuentan, tomando en cuenta que la prueba que no pudo completar se realizó con el material más complejo para imprimir el ABS, sin dejar de mencionar que existen muchas impresoras de gama media o alta que tampoco son capaces de imprimir este tipo de materiales.

En los resultados obtenidos por la impresora Anet A8, considerada de las máquinas más importantes por ser la pionera en la tecnología 3D, refiriéndose a máquinas de uso particular, cuenta con bastantes deficiencias que a lo largo

de su manipulación se tienen que tener mejoras y mantenimiento constante para conseguir resultados aceptables.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Este capítulo presenta las conclusiones sobre el trabajo presentado, el cual retroalimenta todo el proyecto, mencionando lo obtenido en este trabajo, como también posibles soluciones en algunos problemas que se tuvieron en el desarrollo del mismo.

5.1. Conclusiones.

El principal objetivo de este trabajo era efectuar un robot cartesiano implementado en impresión 3D, acoplándolo a una interfaz IoT, capaz de poder imprimir piezas de plástico previamente trazadas en software, en donde sus fases de desarrollo y diseño estarán enfocadas en la construcción de cada sistema indispensable para su funcionamiento. Por consiguiente, el principal aporte de este trabajo de tesis reside en el diseño mecánico, diseño eléctrico y configuración del firmware del robot cartesiano, así como el sistema IoT.

En el presente trabajo se expone, que la herramienta de la impresión 3D es importante en el maquinado de piezas tanto para un sector muy particular como en el industrial, de igual forma la parte de automatización a través del sistema IoT permitiendo supervisar estos procesos de impresión, sin la necesidad de estar físicamente presente en el lugar de maquinado sino por un dispositivo inteligente. Las importantes ventajas de este robot cartesiano, es contar con piezas impresas con la misma tecnología de impresión 3D, así mismo todo su sistema de seguridad con la que cuenta el robot como protecciones con respecto a la temperatura, cortes de energía y sistema eléctrico, por lo que garantiza la integridad de la misma máquina.

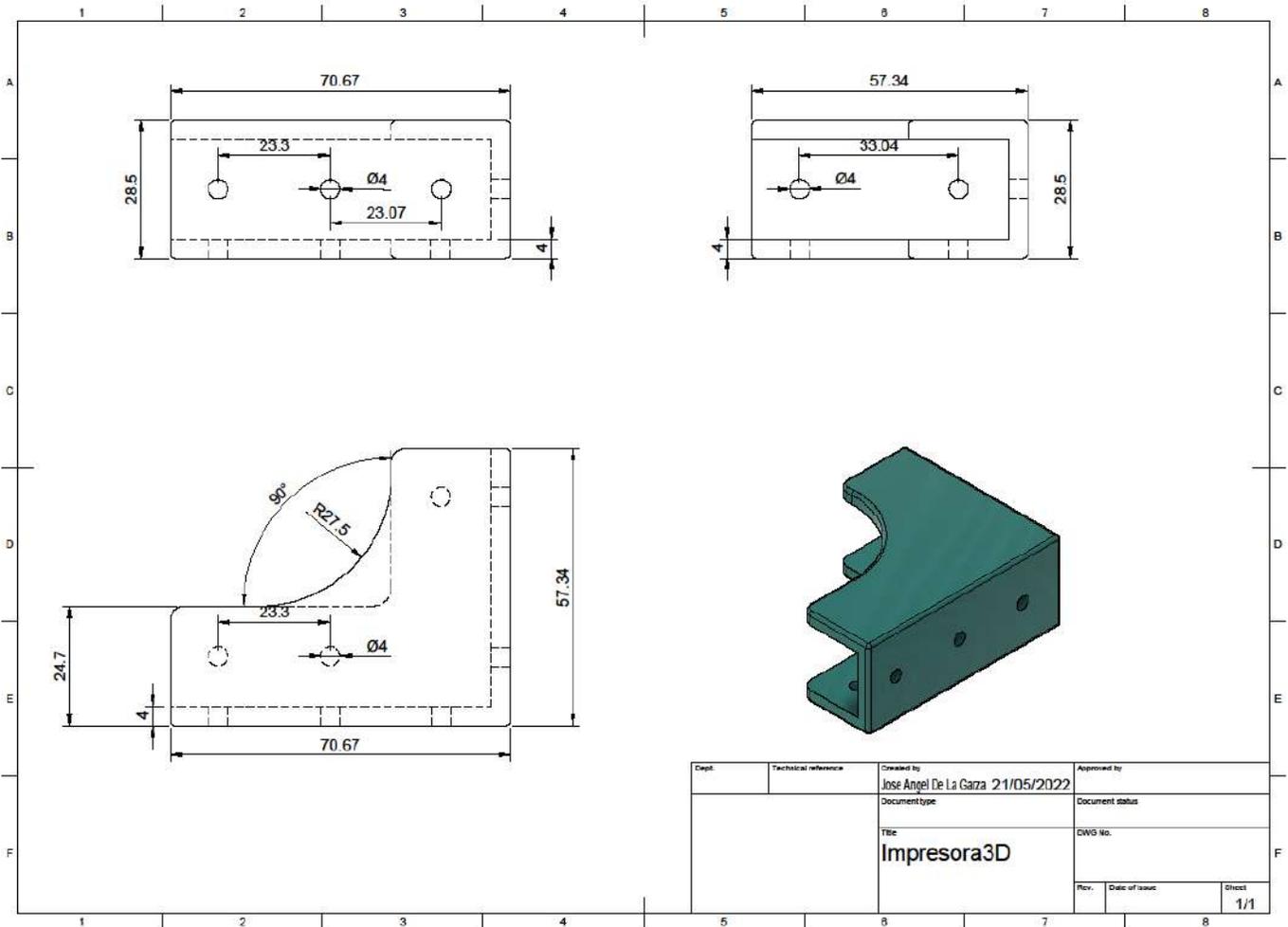
Gracias a estos análisis de los casos de uso nos permite visualizar las diferencias exactas de las dos maquinas puestas a punto con distintos test de impresión, en donde no nos arroja una diferencia abismal en los resultados, pero si en la puesta en ejecución de la máquina, ventajas y prestaciones con las que cuenta nuestro robot cartesiano frente a la impresora Anet A8.

Referente a las conclusiones de los casos de uso, el robot cumplió con la mayoría de los parámetros puestos, salvo el de la adherencia respecto al ABS, en donde se concluye que para tener un resultado favorable en la adherencia se necesitan características más específicas en cuanto al entorno de impresión, como un lugar cerrado, que la máquina esté cubierta para evitar flujos de aire, activar la falda para mayor área de contacto con la placa etc.

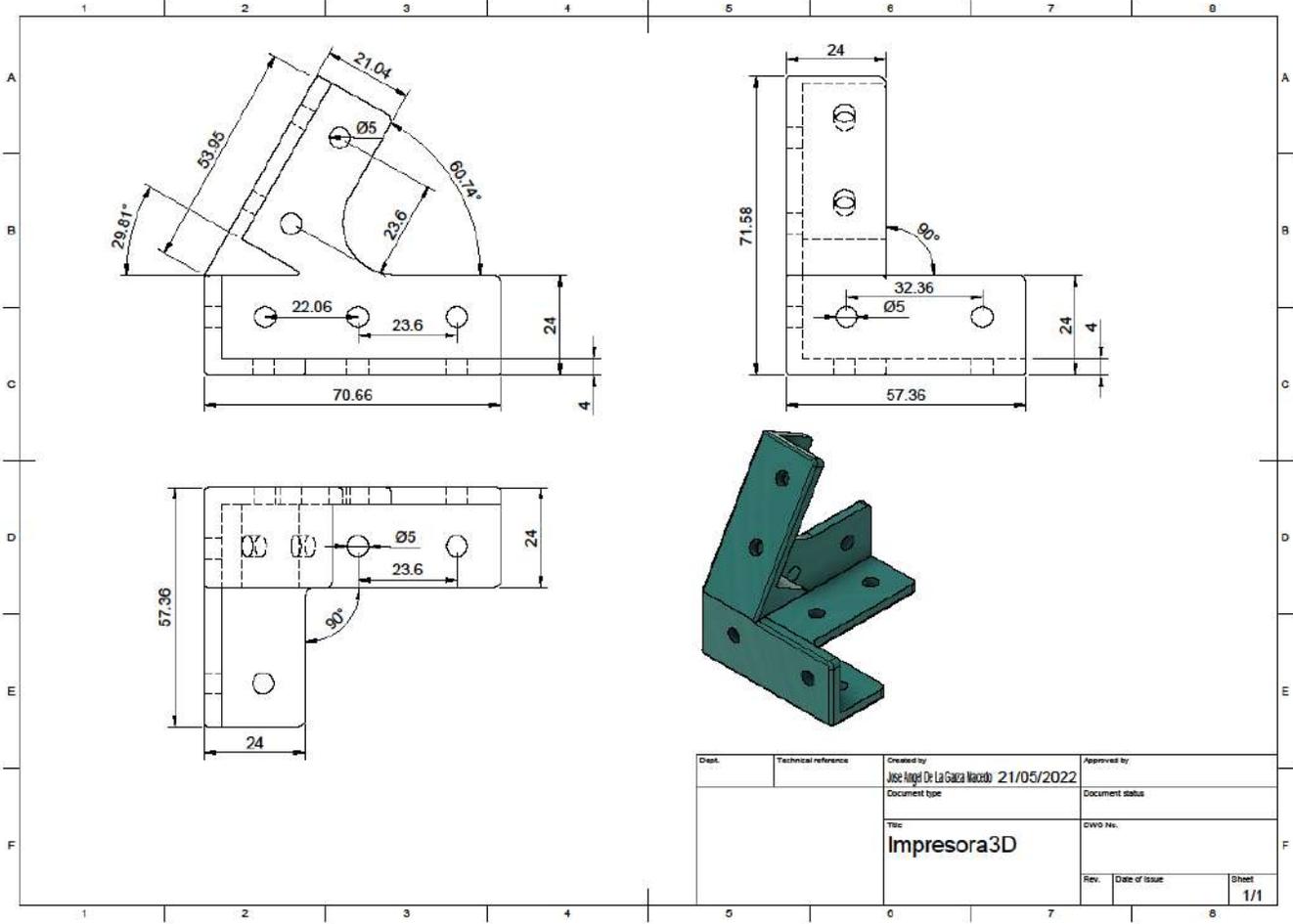
Respecto a lo que conlleva al sistema IoT, se logró monitorear a distancia el robot cartesiano tomando en cuenta que únicamente funciona en una red local, contemplando su monitoreo dentro del área de la red, cabe mencionar que existen sistemas más completos para monitoreo para este tipo de sistemas con precios elevados, por lo que se trató de optimizar en el sistema IoT con herramientas más comunes de encontrar.

Es puntual aludir que los resultados obtenidos de este trabajo de investigación presentados, pueden ser la base para trabajos posteriores para la actualización y optimización de este sistema presentado.

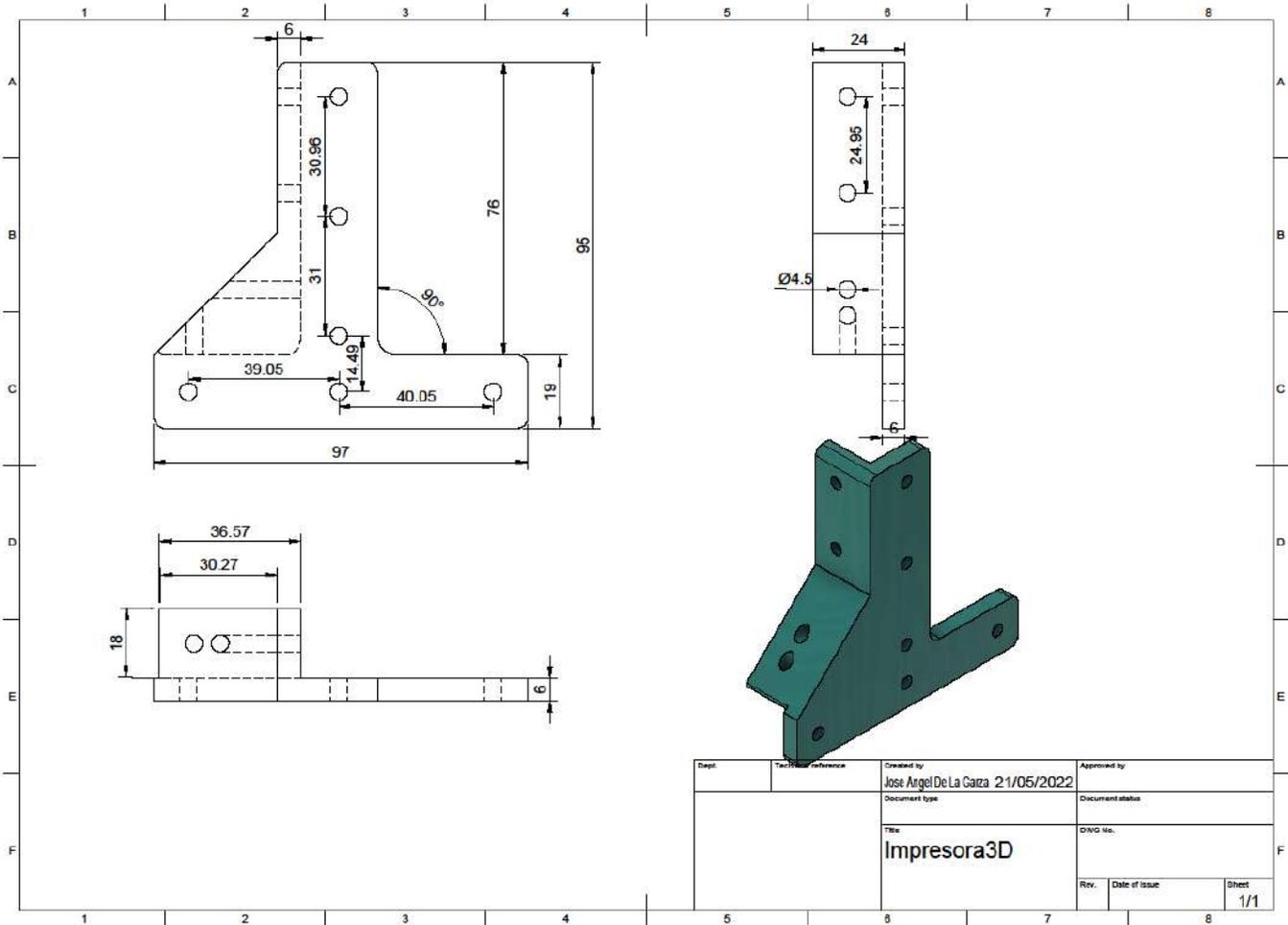
6. Anexos.

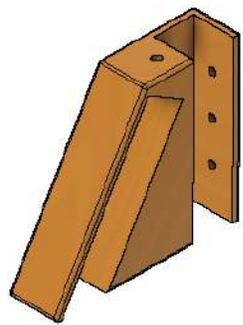
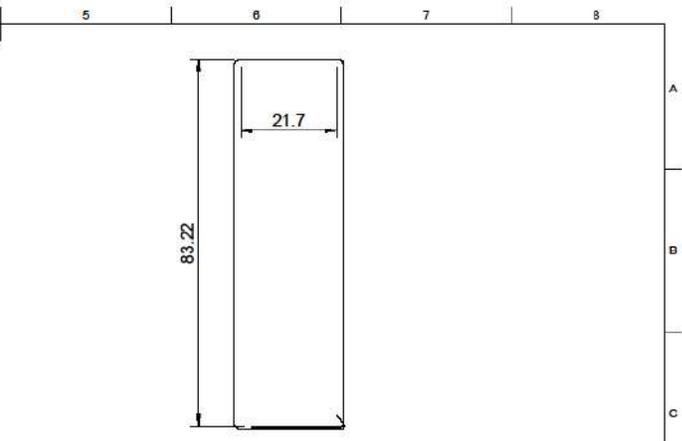
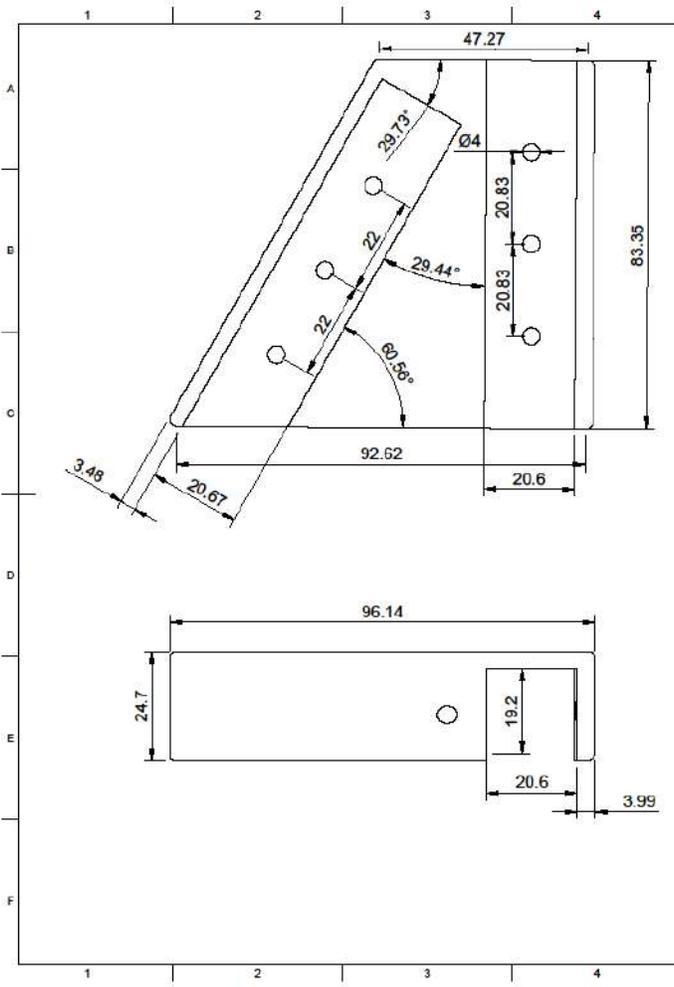


Dept.	Technical reference	Created by Jose Angel De La Garza 21/05/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title Impresora3D	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1

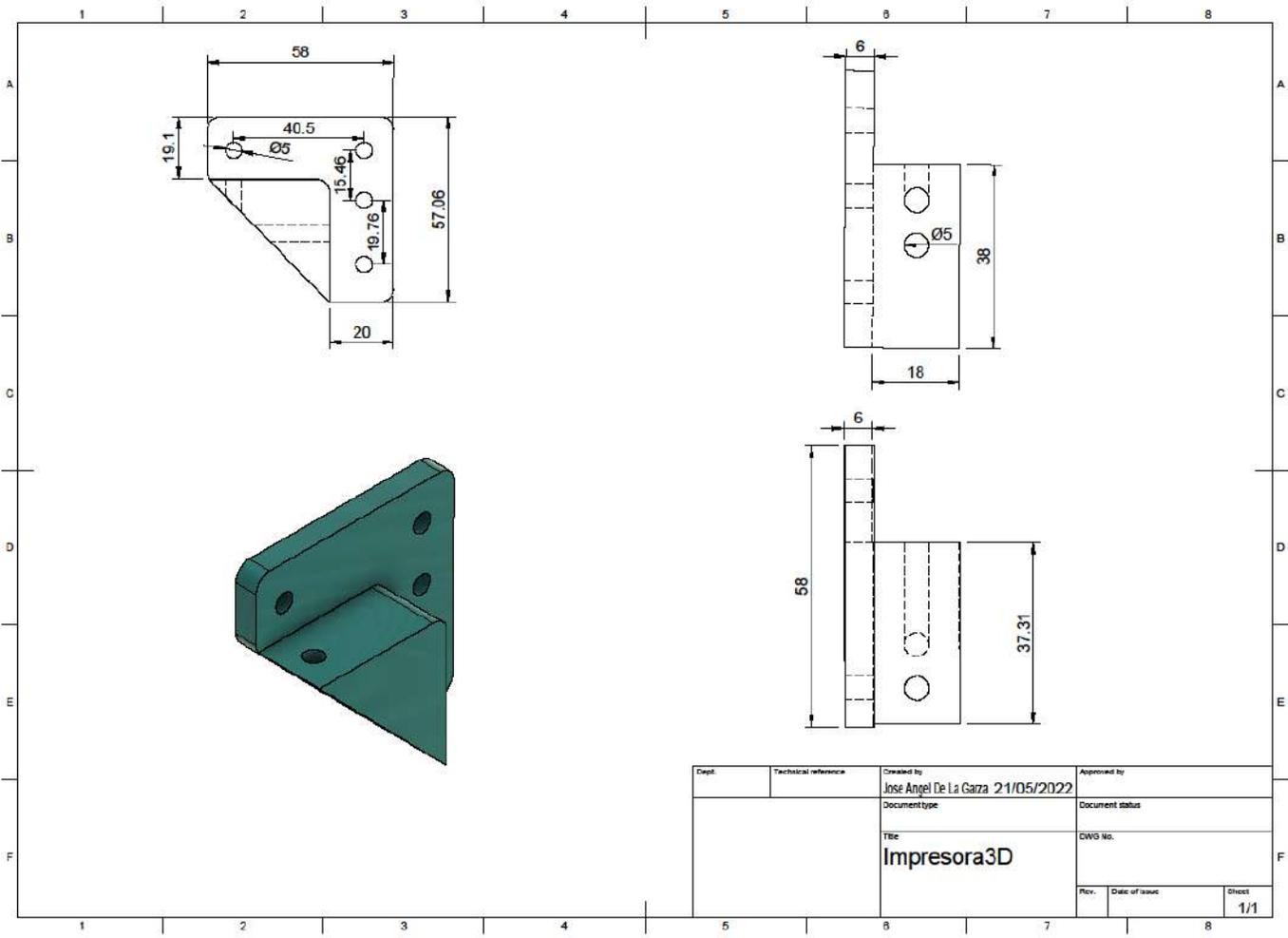


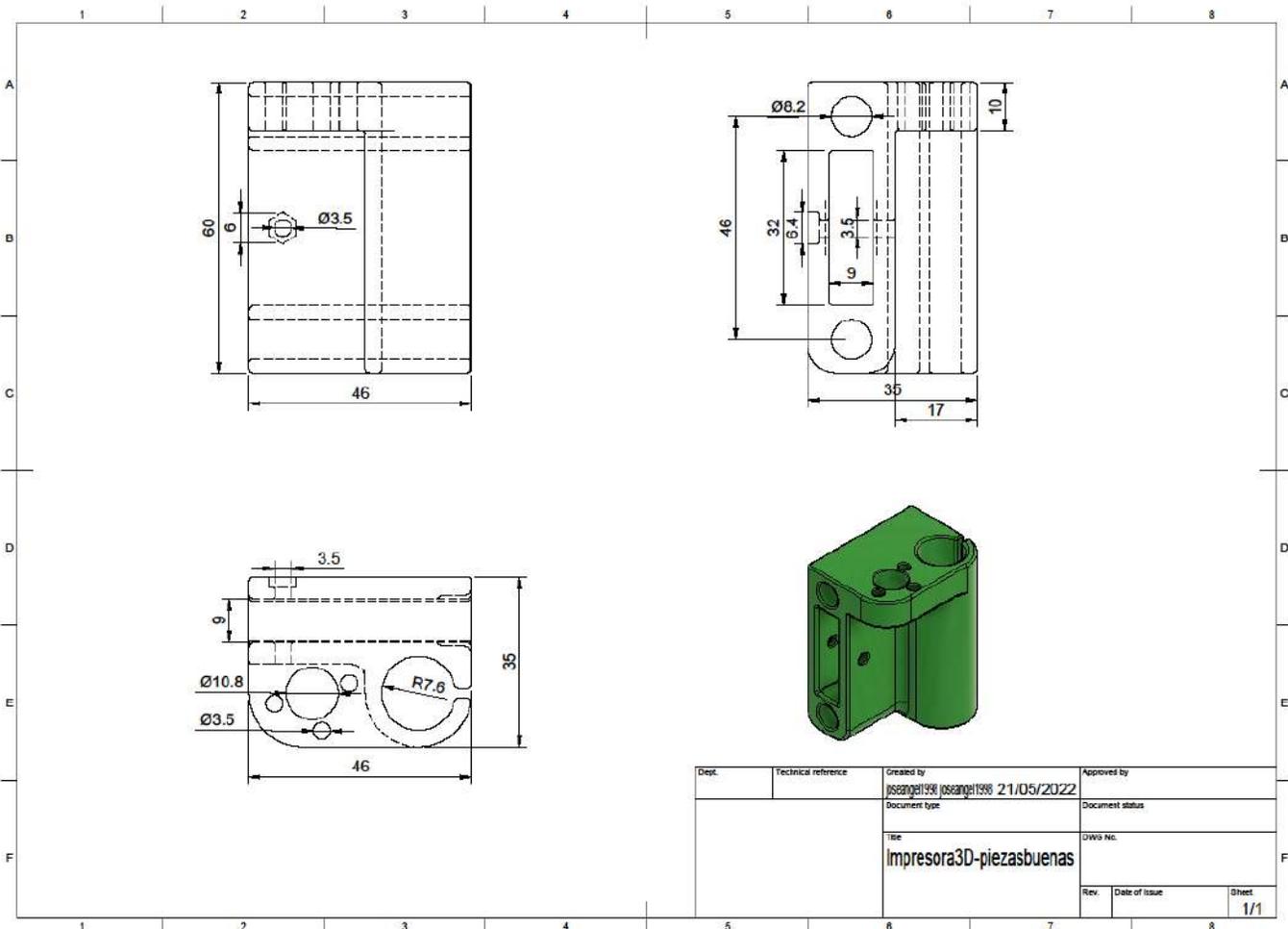
Dist.	Technical reference	Created by Jose Angel De La Garcia Marzolo 21/05/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title Impresora3D	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1



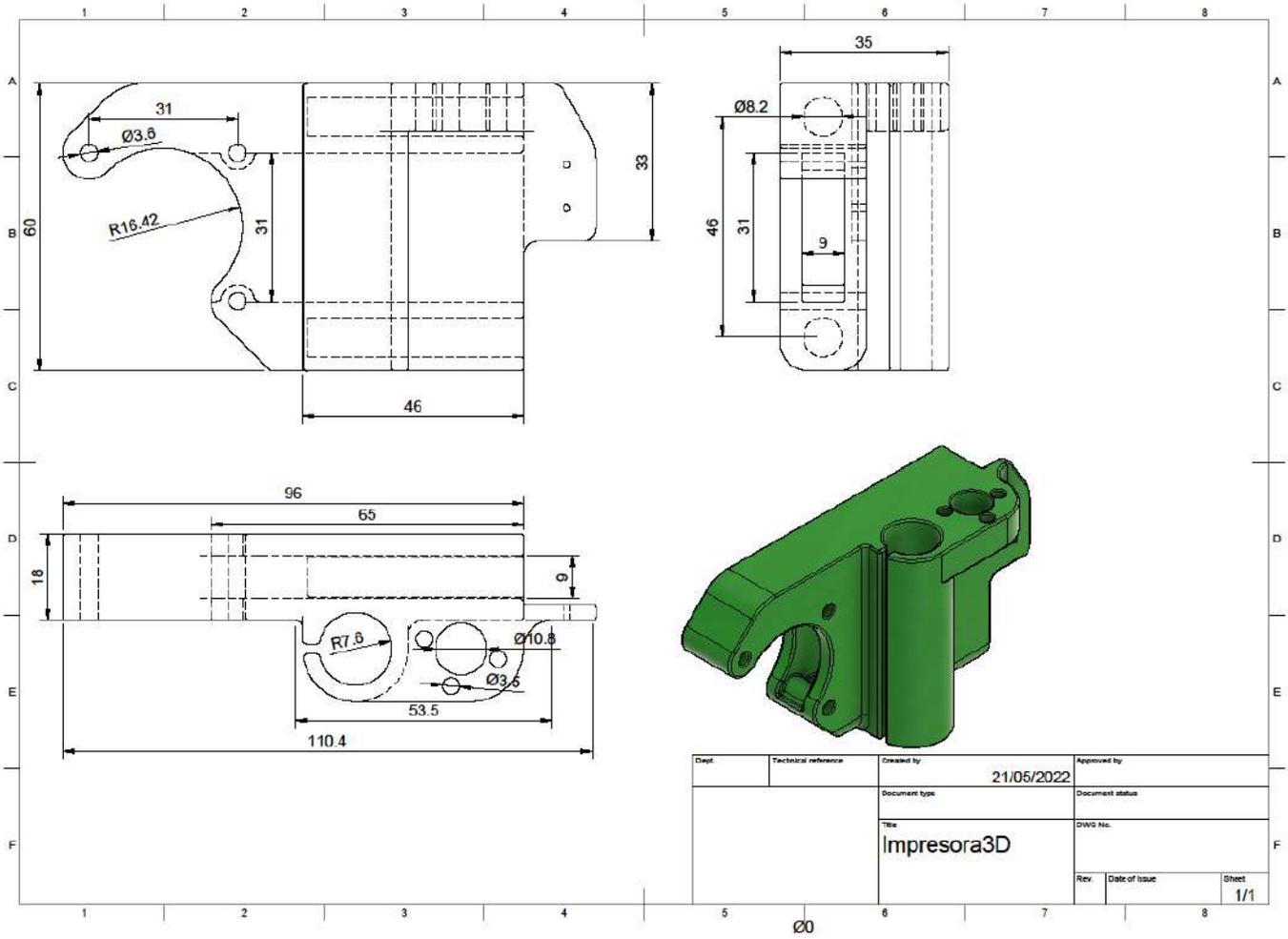


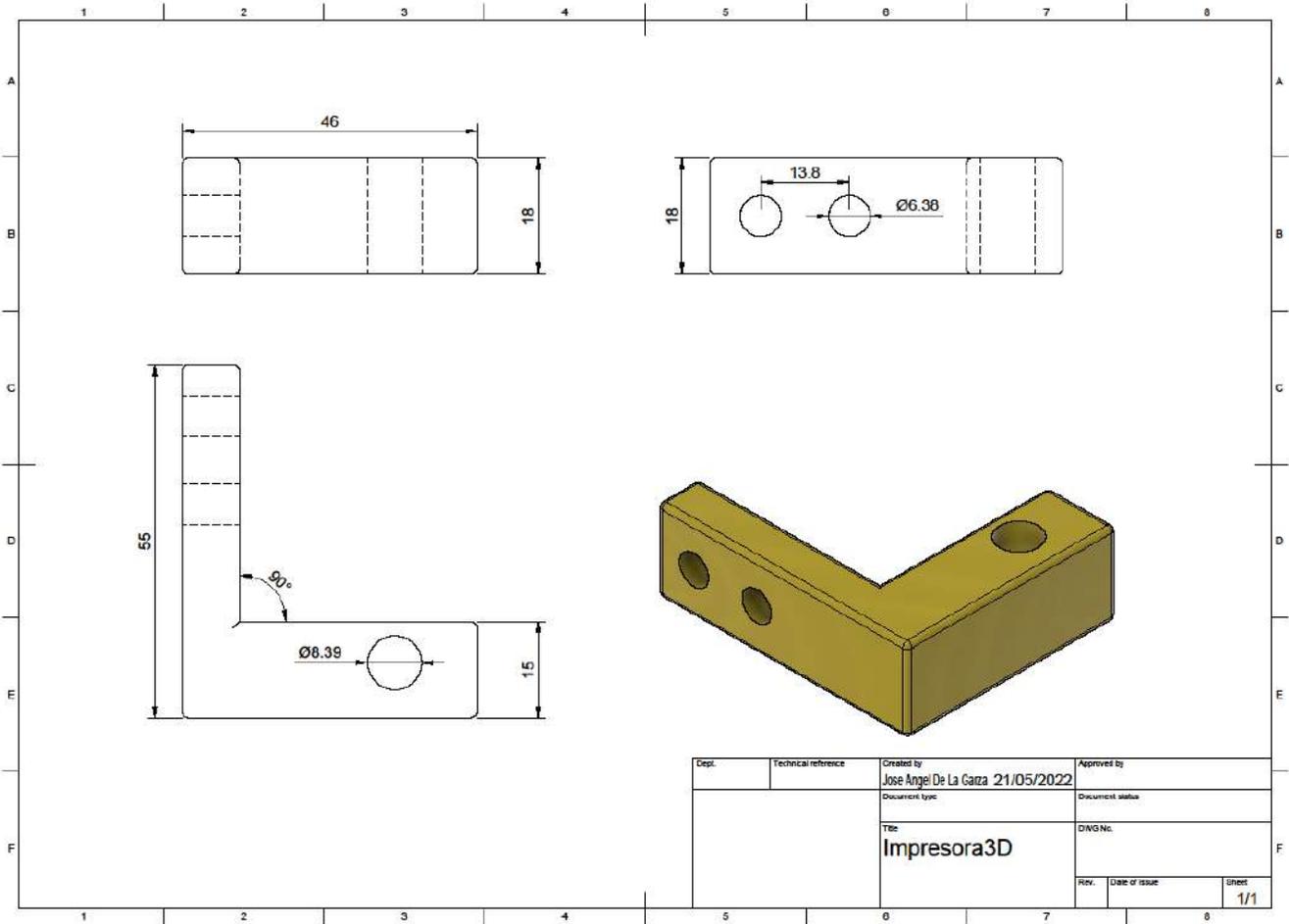
Dept.	Technical reference	Created by Jose Angel De La Garza 21/05/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title Impresora3D	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1



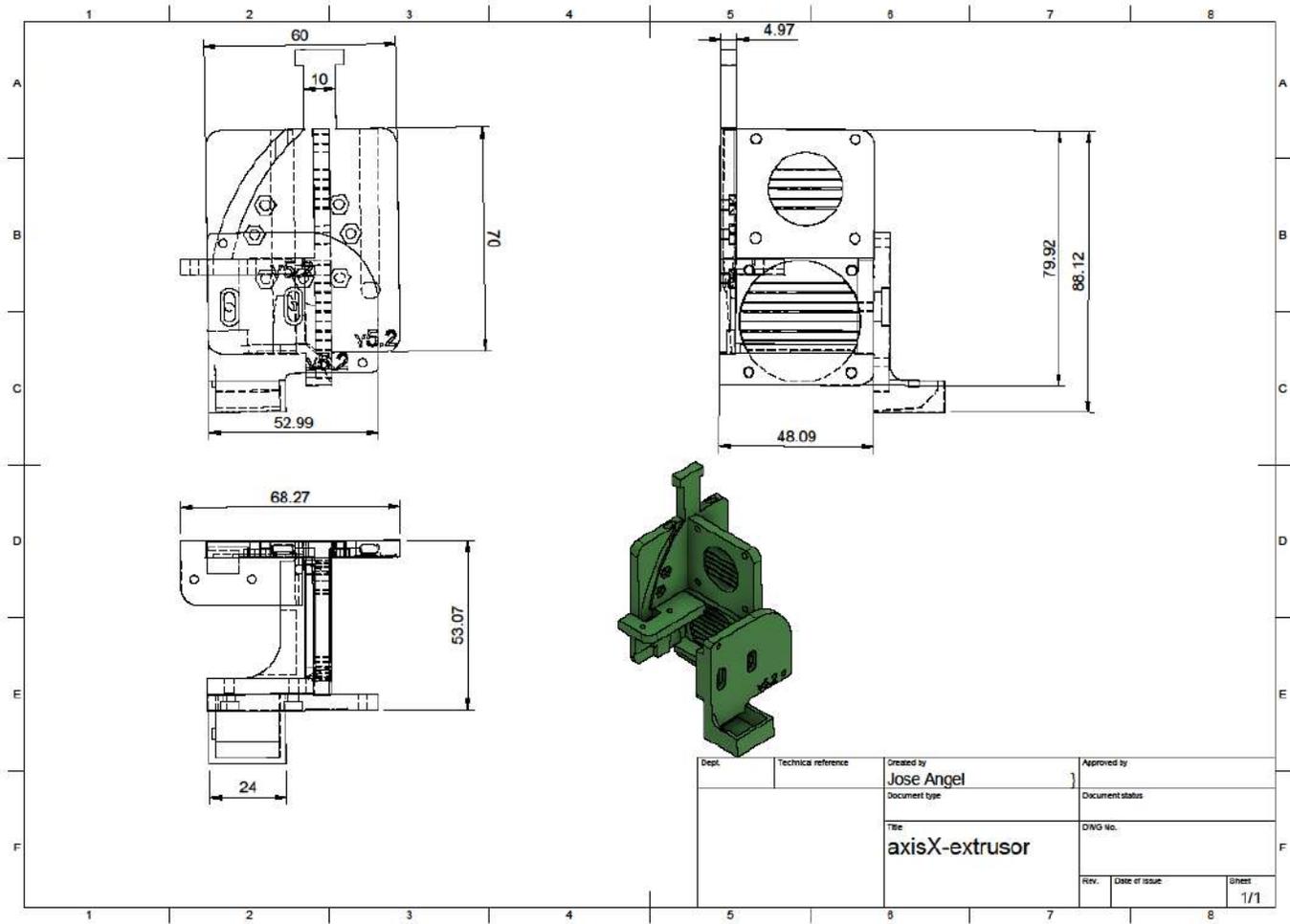


Dept.	Technical reference	Created by josangel1980 josangel1980 21/05/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title Impresora3D-piezasbuenas	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1

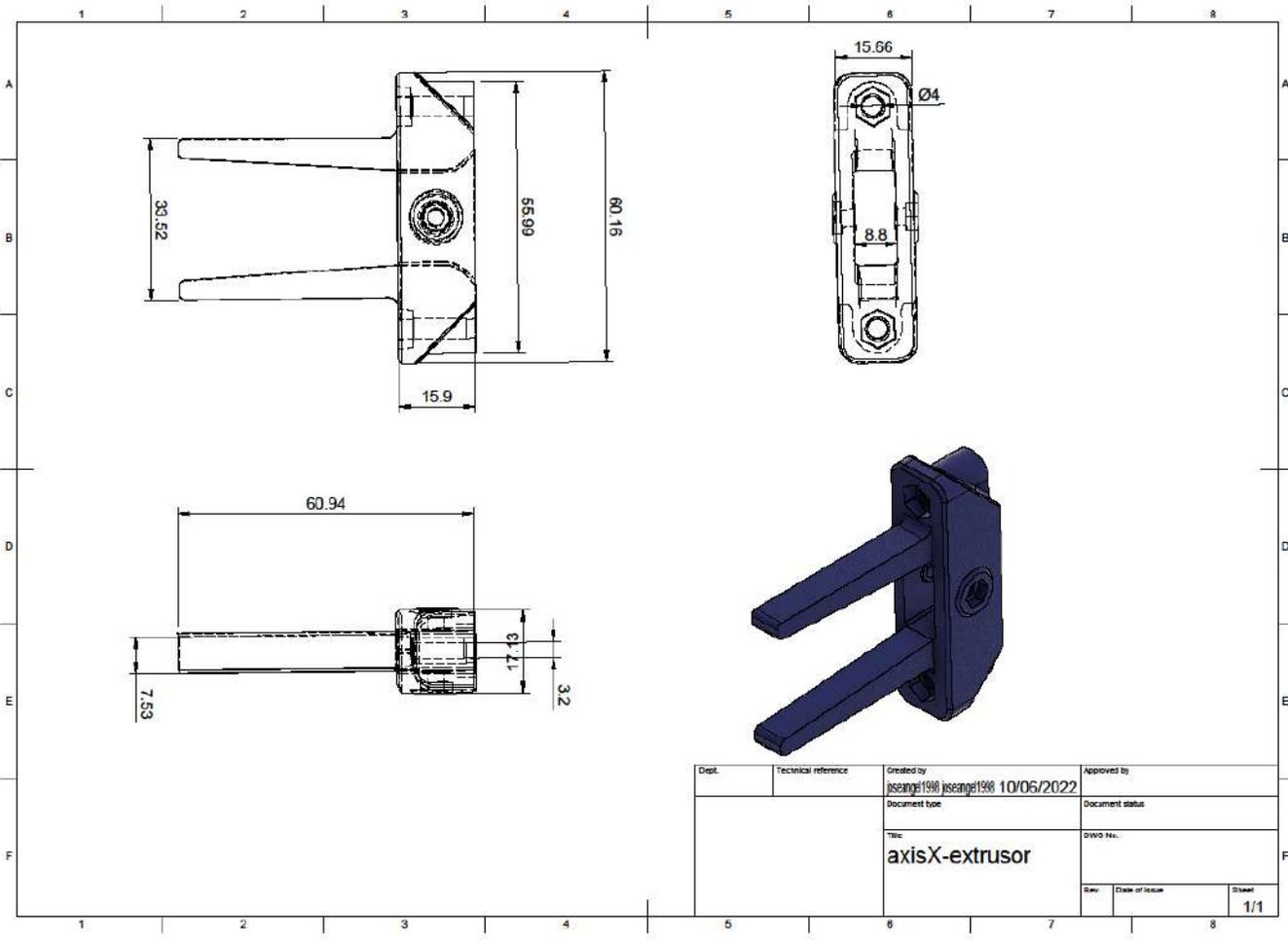




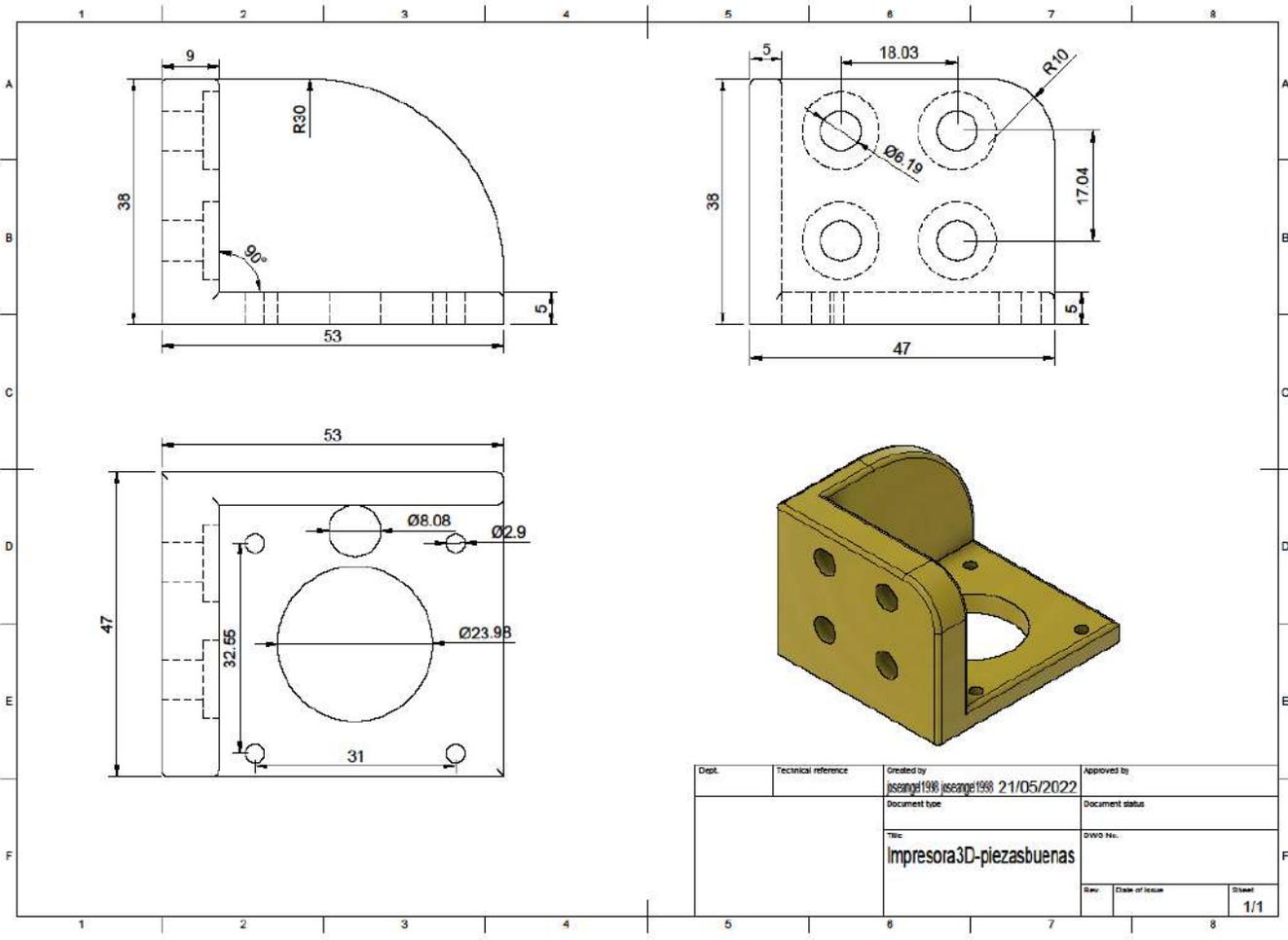
Dept.	Technical reference	Created by Jose Angel De La Garza 21/05/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title Impresora3D	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1



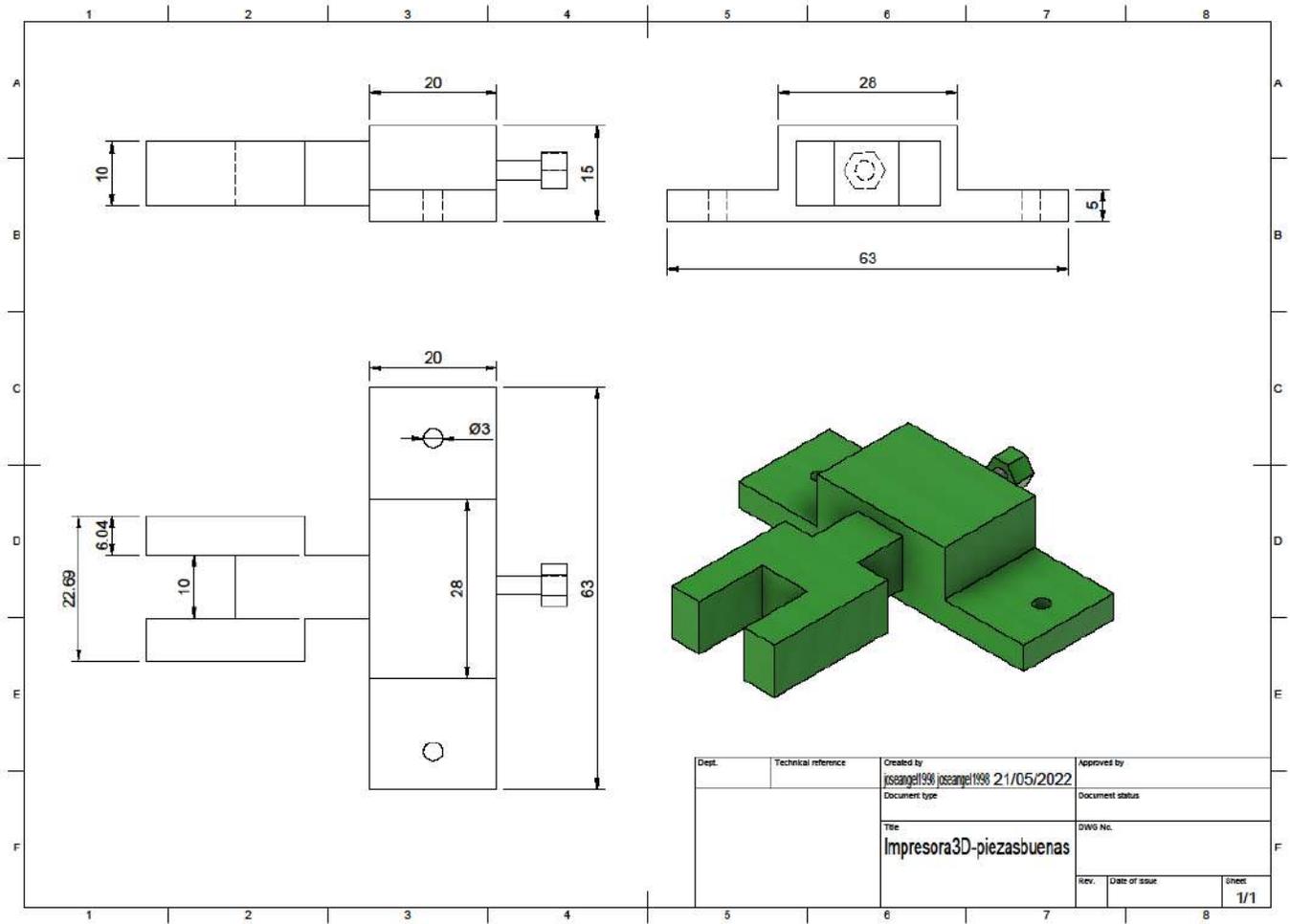
Dept.	Technical reference	Created by Jose Angel	Approved by
		Document type	Document status
		Title axisX-extrusor	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1



Dept.	Technical reference	Created by pescage1988 pescage1988 10/06/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title axisX-extrusor	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1



Dept.	Technical reference	Created by jesang1988 jesang1988 21/05/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title Impresora3D-piezasbuenas	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1



Dept.	Technical reference	Created by joseangel1998 joseangel1998 21/05/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title Impresora3D-piezasbuenas	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1

7. Referencias.

- [1] “Robot Density nearly Doubled globally IFR International Federation of Robotics.”, 2021. [En Línea]. Disponible en: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-sales-rise-again> [Accedido: 05-diciembre-21].
- [2] L. Contreras, “Global 3D Printing Report 2019, crece la adopción de las tecnologías.”, 2019. [En Línea]. Disponible en: 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/global-3d-printing-report-2019-041120192/#!> [Accedido: 10-diciembre-21].
- [3] I. Gil, “La Impresión 3D y sus Alcances en la Arquitectura” [Trabajo Fin De Grado, Universidad Politécnica De Madrid], 2015. [En Línea]. Disponible en: https://oa.upm.es/38442/7/PFC_IRENE_GIL_GIL.pdf [Accedido: 01-febrero-22].
- [4] “Original Prusa 3D printers directly from Josef Prusa.”, 2022. [En Línea]. Disponible en: https://www.prusa3d.com/page/about-us_77/ [Accedido: 22-enero-22].
- [5] “Un poco de historia sobre Internet de las Cosas.”, 2012. [En Línea]. Disponible en: <https://www.sorayapaniagua.com/2012/04/15/un-poco-de-historia-sobre-internet-de-las-cosas/> [Accedido: 20-enero-22].
- [6] A. Barrientos, L. Peñin, C. Balaguer y R. Aracil, “Fundamentos de Robótica.”, España: Editorial McGraw-Hill/Interamericana de España, 2007.
- [7] “Unidad 11 Motores eléctricos.” [En línea]. Disponible en: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>. [Accedido: 03-febrero-22].
- [8] L. Yagüe. “Control de un motor paso a paso”. Universidad de Zaragoza. 2011. [En línea]. Disponible en: <https://zagan.unizar.es/record/5655/files/TAZ-PFC-2011-107.pdf>. [Accedido: 14-febrero-22].
- [9] “Motor paso a paso – tipo y ejemplos del uso de motores paso a paso.” 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.tme.com/mx/es/news/library-articles/page/41861/Motor-paso-a-paso-tipos-y-ejemplos-del-uso-de-motores-paso-a-paso/>. [Accedido: 15-febrero-22].
- [10] “Motores paso a paso.”, 2006. [En línea]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos37/motores/motores2>. [Accedido: 16-febrero-22].
- [11] V. Fernández y P. Méndez. “Guía para la mejora de la calidad de fabricación en impresoras 3D de bajo coste”. Universidad Politécnica de Madrid. 2020 [En línea]. Disponible en:

https://oa.upm.es/57873/1/TFG_VICTOR_FERNANDEZ_PACHECO_MENDEZ.pdf. [Accedido: 01-Marzo-22]

[12] F. Rodríguez. “Impresión 3D, Una introducción”. Universidad Nacional Autónoma de México. 2018. [En línea]. Disponible en: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m9/IMPRESION%203D_UNA%20INTRODUCCION.pdf. [Accedido: 10-abril-22].

[13] “Tipos de impresoras 3D: las 7 tecnologías de impresión 3D”. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>. [Accedido: 13-abril-22].

[14] “Tecnologías de impresión 3D”. [En línea]. Disponible en: <https://www.tridimx.com/tecnologias/> [Accedido: 18-abril-22].

[15] “Tipo de impresoras 3D FDM: Delta, Cartesiana, Polar y Brazo robótico”. [En línea]. Disponible en: <http://suetrasalta.org/wp-content/uploads/2019/11/Tipos-de-impresoras-3D-FDM.pdf>. [Accedido: 22-abril-22].

[16] L. Contreras. “Tipo de impresoras 3D FDM: Delta, Cartesiana, Polar y Brazo robótico”. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.3dnatives.com/es/tipos-impresoras-3d-fdm-190620172/#!> [Accedido: 25-abril-22].

[17] “Extrusor impresora 3D” [En línea]. Disponible en: <https://abax3dtech.com/2021/01/08/extrusor-impresora-3d-componentes-tipos-y-limpieza/>. [Accedido: 30-abril-22].

[18] J. García. “Implementación de triple extrusor sobre impresora 3D de bajo coste”. Universidad Carlos III de Madrid. 2014. [En línea]. Disponible en: https://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22522/PFC_juan_pablo_rodriguez_garcia_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Accedido: 2-mayo-22].

[19] A. Avelino, A. Gómez, I. Guzmán y J. Román. “Impresora 3D por extrusión de termoplástico para la fabricación de piezas y modelos”. Universidad Politécnica Nacional. 2011. [En línea]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18303/Impresora%203D%20por%20extrusi%C3%B3n%20de%20termopl%C3%A1stico%20para%20la%20fabricaci%C3%B3n%20de%20piezas%20y%20modelos.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Accedido: 5-mayo-22].

[20] F. Acuña, D. Rivas, S. Chancusi y P. Navarrete. “Diseño y Construcción de una Impresora 3D Auto-replicable Controlada Inalámbicamente para el Prototipado de Piezas Plásticas, mediante Software Libre”. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Ecuador. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8173/1/AC-ESPEL-MEC-0019.pdf>. [Accedido: 7-mayo-22].

- [21] M. Alamillo. "Diseño y puesta en marcha de nuevos filamentos cargados para su uso en impresión 3D". Universidad Politécnica de Valencia. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/95313/PALACIOS%20-%20Dise%C3%B1o%20y%20puesta%20en%20marcha%20de%20nuevos%20filamentos%20cargados%20para%20su%20uso%20en%20impresion%203D.pdf?sequence=1>. [Accedido: 10-mayo-22].
- [22] Susana S. "Guía completa: plásticos en la impresión 3D". 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/#!> [Accedido: 10-mayo-22].
- [23] L. Medina "FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FILAMENTOS PARA IMPRESORA 3D A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS". Universidad de la Laguna. 2015. [En línea]. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/915/998/1/Fabricacion%20de%20filamentos%20para%20impresora%203D%20a%20partir%20de%20materiales%20reciclad.pdf>. [Accedido: 10-mayo-22].
- [24] N. García. "Diseño de una impresora 3d de media y alta temperatura". Universidad Politécnica de Madrid. 2020 [En línea]. Disponible en: https://oa.upm.es/57839/1/TFG_NATALIA_PESO_GARCIA.pdf. [Accedido: 11-mayo-22].
- [25] "Problemas comunes y soluciones en impresión 3D". 2020. [En línea]. Disponible en: https://filament2print.com/es/blog/78_problemas-soluciones-impresiones-3d.html. [Accedido: 16-mayo-22].
- [26] "Guía visual para resolver problemas impresión 3D por Bitfab" [En línea]. Disponible en: https://bitfab.io/es/blog/problemas-impresion-3d/#_Warping_se_despega_la_primera_capa_y_se_doblan_las_piezas [Accedido: 16-mayo-22].
- [27] "LPC1769/68/67/66/65/64/63" NXP Semiconductors N.V. 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/LPC1769_68_67_66_65_64_63.pdf [Accedido: 28-mayo-22].
- [28] "BIGTREETECH SKR V1.3". [En línea]. Disponible en: <https://github.com/bigtreetech/BIGTREETECH-SKR-V1.3/blob/master/BTT%20SKR%20V1.3/SKR%20V1.3-Instructions.pdf> [Accedido: 30-mayo-22].
- [29] "BIGTREETECH TFT24-V1.1". [En línea]. Disponible en: <https://github.com/bigtreetech/BIGTREETECHTouchScreenHardware/blob/master/BTT%20TFT24%20V1.1/TFT24-V1.1Manual.pdf> [Accedido: 1-junio-22].
- [30] "BIGTREETECH TMC2208-V3.0 Stepper motor driver". [En línea]. Disponible en: https://c-3d.niceshops.com/upload/file/TMC2208-V3.0_manual.pdf [Accedido: 4-junio-22].

- [31] "HA210N06". [En línea]. Disponible en: <https://alltransistors.com/es/mosfet/transistor.php?transistor=51026> [Accedido: 7-junio-22].
- [32] P. Cuellar. "Los TL-Smoother, aplicados a las impresoras 3D". 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.ipv6labs.es/2018/05/10/tl-smoother/> [Accedido: 7-junio-22].
- [33] Jose M. "Como funciona un termistor". 2020. [En línea]. Disponible en: <http://myelectronic.hostfree.pw/TEORIA/Como%20funciona%20un%20sensor%20de%20temperatura.pdf?i=1/>. [Accedido: 15-junio-22].
- [34] "Resistencia Cerámica de Cartucho". [En línea]. Disponible en: <https://uelectronics.com/producto/resistencia-ceramica-de-cartucho-12v-40w-impresora-3d-reprap-prusa-i3/>. [Accedido: 18-junio-22].
- [35] A. García. "IntroServos" 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.bolanosdj.com.ar/MOVI/ARDUINO2/IntroServos.pdf> [Accedido: 5-julio-22].
- [36] J. Hernandez. "Diseño de Fuentes de Corriente Directa." Universidad Nacional Autónoma De México. [En línea]. Disponible en: http://profesores.fi-b.unam.mx/jesmafco/apuntes/aa/fuentes_CD.pdf [Accedido: 12-julio-22].
- [37] R. Estrada "ESP32-CAM" 2021 [En línea]. Disponible en: <https://hetprostore.com/PDFs/Tutorial-ESP32-CAM.pdf> [Accedido: 24-julio-22].
- [38] "Marlín" 2021 [En línea]. Disponible en <https://marlinfw.org/docs/basics/introduction.html> [Accedido: 3-agosto-22].
- [39] M. Barrios. "Internet De Las Cosas" 1.^a edición España: REUS, S.A. [2018].
- [40] "Software Arduino" [En línea]. Disponible en: <https://arduino.cl/programacion/> [Accedido: 8-agosto-22].
- [41] "Blynk" [En línea]. Disponible en: <https://blynk.io/> [Accedido: 11-agosto-22].