



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**Diseño e implementación de un sistema de extrusión
directa en una impresora 3D cartesiana para tintas conductivas
aplicado en la generación de circuitos impresos flexibles**

**Trabajo de Titulación para optar al título de
Ingeniero en Telecomunicaciones**

Autor:
Reyes Orozco Alex Enrique

Tutor:
Mgs. Daniel Haro Mendoza

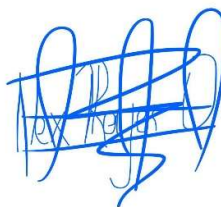
Riobamba, Ecuador. 2025

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, Alex Enrique Reyes Orozco, con cédula de ciudadanía 160091588-6, autor del trabajo de investigación titulado: Diseño e implementación de un sistema de extrusión directa en una impresora 3D cartesiana para tintas conductivas aplicado en la generación de circuitos impresos flexibles, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, el 01 de mayo. de 25



Alex Enrique Reyes Orozco

C.I: 160091588-6



ACTA FAVORABLE - INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En la Ciudad de Riobamba, a los 11 días del mes de FEBRERO de 2025, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación presentado por el estudiante **ALEX ENRIQUE REYES OROZCO** con CC: **160091588-6**, de la carrera de **INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES** y dando cumplimiento a los criterios metodológicos exigidos, se emite el **ACTA FAVORABLE DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN** titulado **“Diseño e implementación de un sistema de extrusión directa en una impresora 3D cartesiana para tintas conductivas aplicado en la generación de circuitos impresos flexibles.”**, por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.



Firmado electrónicamente por:
**EDUARDO DANIEL HARO
MENDOZA**

Mgs. Daniel Haro Mendoza
TUTOR(A)

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Diseño e implementación de un sistema de extrusión directa en una impresora 3D cartesiana para tintas conductivas aplicado en la generación de circuitos impresos flexibles**, presentado por **Alex Enrique Reyes Orozco**, con cédula de identidad número **160091588-6**, bajo la tutoría de **Mgs. Daniel Haro Mendoza**; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba, a la fecha de su presentación el 01 de mayo de 2025.

Presidente del Tribunal de Grado

Dr. Klever Torres

Firma 

Miembro del Tribunal de Grado

Mgs. Giovanni Cuzco

Firma 

Miembro del Tribunal de Grado

Dr. Carlos Peñafiel

Firma 



CERTIFICACIÓN

Que, **REYES OROZCO ALEX ENRIQUE** con CC: **160091588-6**, estudiante de la Carrera de **TELECOMUNICACIONES**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“Diseño e implementación de un sistema de extrusión directa en una impresora 3D cartesiana para cintas conductoras aplicado en la generación de circuitos impresos flexibles.”**, cumple con el **9%**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio COMPILATIO, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 23 de abril de 2025.



Firmado electrónicamente por:
**EDUARDO DANIEL HARO
MENDOZA**

Ing. Eduardo Daniel Haro Mendoza PhD.
TUTOR

DEDICATORIA

Quiero dedicar todo este trabajo y esfuerzo especialmente a Dios y a mis padres Hilda Orozco y Jaime Reyes, quienes han sido mi pilar fundamental en toda mi trayectoria estudiantil, a ti madre por todo ese amor incondicional e inagotable, además de creer en mí, por nunca hacerme rendir y a pesar de todos los obstáculos siempre fuiste ese motor que me impulso a no dejar de luchar y alcanzar mis metas, a ti padre con tu amor y ejemplo te agradezco infinitamente por siempre estar conmigo y velar por mi bienestar, es por eso que gracias a ustedes he tenido la fortuna de contar con su apoyo incondicional en este arduo camino. A ustedes les dedico este primer logro de mi carrera profesional, con la satisfacción de que se estén muy orgullosos de mí como yo lo estoy de tener unos padres maravillosos. Las palabras me faltarían para agradecerlos por todos los esfuerzos que han hecho por mí, gracias, Padres los amo. Este logro es mío, pero sin ustedes nada de esto sería posible.

Con todo el amor y el agradecimiento de su hijo que los ama.

Alex Enrique Reyes Orozco.

AGRADECIMIENTO

Una vez terminada esta etapa quiero expresar todo mi agradecimiento a aquellas personas e instituciones cuya contribución ha sido un pilar fundamental en mí.

Inicio agradeciendo a Dios por otorgarme la salud, sabiduría y fortaleza en todo momento y de esta manera poder culminar mi etapa académica con todo el éxito.

A mis padres, Hilda Orozco y Jaime Reyes, por todo su amor incondicional, dedicación y entrega, sin ellos nada de esto sería posible y hoy pueda disfrutar de este privilegio.

A mis queridos hermanos y sobrinas, Paola, Christian, Isabella, Luciana y Lucy, gracias por su apoyo incondicional, cariño y comprensión durante este proceso académico, su presencia y apoyo han sido fundamental en cada momento, son mi soporte en cada momento.

A ti Dayana, por creer en mí e impulsarme en los momentos que incluso yo dudé. Tu cariño y aliento han sido una guía en toda esta travesía, cada palabra de ánimo, cada abrazo y paciencia han sido una inspiración para superarme en cada momento.

A mi tutor de tesis y docente, Mgs. Eduardo Daniel Haro, por su invaluable guía desde mi temprano camino estudiantil. Su experiencia y compromiso ha sido esencial para el desarrollo y éxito de este trabajo.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, docentes y compañeros que han sido parte primordial de mi crecimiento académico y personal. Este logro es fruto del esfuerzo compartido.

Con profunda gratitud, lo dedico a cada uno de ustedes, con aprecio y agradecimiento,

Alex Enrique Reyes Orozco

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	
ACTA FAVORABLE – INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE DE TABLAS.....	
RESUMEN	
CAPÍTULO I.....	24
1. INTRODUCCIÓN.....	24
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	26
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	27
1.3. OBJETIVOS.....	28
1.3.1. Objetivo general.....	28
1.3.2. Objetivos específicos	28
CAPITULO II.....	29
2. MARCO TEORICO	29
2.1. ESTADO DE ARTE	29
2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	31
2.2.1. Método de impresión.....	31
2.2.2. Tipo de métodos de impresión.....	31
2.2.3. Tecnología de impresión 3D.....	32

2.3.	CLASIFICACIÓN SEGÚN LA ASTM. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PROCESO.	33
2.3.1.	Sinterización selectiva por láser (SLS)	33
2.3.2.	Estereolitografía SLA.....	34
2.3.3.	Procesamiento por luz directa DLP	35
2.3.4.	Proceso deposición de material fundido (FDM).....	36
2.3.5.	Extrusores que emplear el tornillo de Arquímedes o el sistema Progressing Cavity Pump.	39
2.3.6.	Tintas conductivas.....	43
2.4.	APLICACIONES DE LA TINTA CONDUCTIVA	46
2.4.1.	Impresión por Inyección de Tinta:	46
2.4.2.	Deposición por Extrusión:.....	46
2.4.3.	Propiedades de las tintas conductivas	49
2.4.4.	Circuitos impresos.....	50
2.4.5.	Estudio de mercado de impresoras 3D para tintas conductivas.....	54
CAPITULO III.		60
3.	METODOLOGIA.....	61
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	60
3.1.1.	Formulación de la hipótesis.....	61
3.1.2.	Formulación de la problemática	61
3.1.3.	Categorías fundamentales.....	62
3.2.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	63
3.2.1.	Variables independientes	63
3.2.2.	Variable dependiente	64

3.3.	POBLACIÓN DE ESTUDIO Y TAMAÑO DE MUESTRA	64
3.3.1.	Población	64
3.3.2.	Muestra.....	65
3.4.	PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS	65
3.4.1.	Procedimiento de hardware	65
3.4.2.	Procedimiento de software	66
3.4.3.	Análisis.....	66
3.5.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	67
3.6.	METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	69
3.7.	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	70
3.7.1.	Información de mercado.....	71
3.8.	SELECCIÓN DE IMPRESORA 3D	72
3.8.1.	Criterios de selección	72
3.8.2.	Impresoras 3D que permiten ser modificables	73
3.8.3.	Comparativas de impresoras para la selección V	77
3.9.	DESCRIPCIÓN DE LA IMPRESORA ANET E10.....	78
3.10.	ANÁLISIS DE LAS MODIFICACIONES DE LA IMPRESORA ANET E10.....	79
3.10.1.	Modificación del sistema de extrusión	79
3.10.2.	Actualización del firmware.....	79
3.10.3.	Modificación de la Superficie de Impresión.....	80
3.10.4.	Componentes principales del sistema:.....	80
3.11.	INTEGRACIÓN CON LA ANET E10:	80
3.12.	SELECCIÓN DE LA TINTA CONDUCTIVA	81

3.12.1.	Tinta de Circuit Scribe Conductive Ink	81
3.12.2.	Tinta Bare Conductive Paint	82
3.12.3.	Tinta 3D Ink Conductive Filament	82
3.13.	DISEÑO CONCEPTUAL DEL EXTRUSOR	84
3.14.	SISTEMA DE EXTRUSIÓN	84
3.14.1.	Diseño estructural del extrusor de tintas conductivas	85
3.14.2.	Transmisión del movimiento lineal	86
3.14.3.	Par motor	90
3.14.4.	Presión de extrusión para las tintas	92
3.14.5.	Dimensionamiento de los soportes.....	93
3.14.6.	Boquilla (Honted).....	95
3.14.7.	Montaje del extrusor.....	95
3.15.	DISEÑO CAD DEL EXTRUSOR	96
3.15.1.	Soporte de sistema.....	96
3.15.2.	Diseño del soporte del motor	97
3.15.3.	Diseño del extrusor.....	98
3.16.	IMPRESIÓN 3D DE LAS PARTES	101
3.16.1.	Importación del modelo 3D	101
3.16.2.	Configuración del material de impresión	102
3.16.3.	Generación del laminado	103
3.16.4.	Componentes de sistema de extrusión.....	103
3.17.	ENSAMBLE DEL SISTEMA DE EXTRUSIÓN	105
3.17.1.	Montaje del soporte del extrusor:.....	106

CAPITULO IV	108
4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	108
4.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	108
4.1.1. Prueba de Dimensiones	109
4.2. RESUMEN DE PROCESAMIENTO DE CASOS	111
4.2.1. Descriptivos	111
4.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE FRECUENCIAS	112
4.3.1. Desviación estándar	115
4.3.2 Procedimiento utilizando la boquilla de 0.8 mm	116
4.3.3 RESUMEN DE PROCESAMIENTO DE CASOS	117
RESUMEN DE PROCESAMIENTO DE CASOS	118
Descriptivos	118
4.4 DIMENSIONES DEL ALTO DE LA TINTA EXTRUIDA	119
4.4.2 Pasos para la obtención de la medida extruida de la tinta conductiva:	119
4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS:	121
4.5.2 Prueba de Repetibilidad.....	125
4.5.3 Procedimiento	126
4.5.4 Parámetros evaluados:.....	126
4.6 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE FRECUENCIAS	128
4.6.2 Desviación estándar	131
4.6.3 Prueba de material.....	132
4.6.4 Procedimiento	133
4.6.5 Prueba de Adherencia.....	133

4.6.6	Resultados y Análisis	134
4.6.7	Resumen de procesamiento de casos	135
4.6.8	Descriptivos	135
4.7	PRUEBAS DE NORMALIDAD.....	136
4.8	GRÁFICA DE FRECUENCIAS.....	137
4.8.2	Adherencia en papel. –	137
4.8.3	Adherencia en acetato. –	138
4.9	PRUEBA DE HIPÓTESIS	139
4.9.2	Estadísticas de grupo.....	140
4.9.3	Prueba de resistencia de la tinta conductiva	140
4.10	RESUMEN DE PROCESAMIENTO DE CASOS	143
4.10.2	Valores descriptivos.....	143
4.10.3	Prueba de funcionalidad	146
4.10.4	Modelo computacional	149
4.10.5	Resultado	149
4.11	ANÁLISIS DE RESULTADOS	151
4.11.2	Análisis de la Prueba de Dimensiones	151
4.11.3	Análisis de la Prueba de Repetibilidad.....	152
4.11.4	Análisis de la Prueba de Material.....	153
4.11.5	Análisis de la Prueba de resistencia de la tinta conductiva	153
4.11.6	Análisis de Resultados de la Prueba de Funcionalidad	154
4.11.7	Resumen de los análisis de pruebas	154
4.12	COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN.....	155

4.12.2	Costos directos	156
4.12.3	Costos indirectos	157
4.12.4	Costo total.....	157
4.13	DISCUSIÓN.....	157
CAPITULO V.....		159
5.1	CONCLUSIONES.....	159
5.2	RECOMENDACIONES.....	160
BIBLIOGRAFIA		161
ANEXOS.....		166
ANEXO 1. PRUEBAS DE IMPRESIÓN DE PCBs.....		166
ANEXO 2. MANUAL DE OPERACIÓN DE LA IMPRESORA 3D DE TINTAS CONDUCTIVAS		168

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Clasificación de las tintas conductivas	45
Tabla 2. 2. Especificaciones técnicas de la impresora Voltera	56
Tabla 2. 3. Especificaciones técnicas de la impresora Squink	57
Tabla 2. 4. Especificaciones técnicas de la impresora Dragonfly.....	59
Tabla 3. 1. Formulación de la problemática.....	61
Tabla 3. 2. Variables independientes	63
Tabla 3. 3. Variables dependientes.....	64
Tabla 3. 4. Cronogramas de actividades.....	68
Tabla 3. 5. Tabla de resultados.....	71
Tabla 3. 6. Datos técnicos de la impresora Ender 3 S1.....	74
Tabla 3. 7. Datos técnicos de la Prusa i3.....	75
Tabla 3. 8. Datos técnicos de Anet E10.....	76
Tabla 3. 9. Resumen para la selección de la impresora.....	77
Tabla 3. 10. Datos técnicos de la Circuit Scribe.....	81
Tabla 3. 11. Datos técnicos de Bare Conductive.	82
Tabla 3. 12. Datos técnicos 3D Ink.	82
Tabla 3. 13. Comparación de tintas para la selección.	83
Tabla 3. 14. Parámetros para el cálculo.....	86
Tabla 3. 15. Resultados de los cálculos.....	89

Tabla 3. 16. Valores iniciales	90
Tabla 3. 17. Datos iniciales para el cálculo de presión	92
Tabla 3. 18. Parámetros para el diseño.....	94
Tabla 3. 19. Lista de materiales	103
Tabla 4. 1. Desviación de la medida de impresión.....	110
Tabla 4. 2.Ingreso de los datos al software SPSS	111
Tabla 4. 3. Obtención de parámetros estadísticos mediante el software SPSS	111
Tabla 4. 1. Desviación de la medida de impresión	116
Tabla 4. 4.Ingreso de los datos al software SPSS	117
Tabla 4. 5.Ingreso de los datos al software SPSS	118
Tabla 4. 6. Mediciones de repetabilidad.....	126
Tabla 4. 7. Ingreso de los valores a ser analizados	127
Tabla 4. 8. Desviación estándar y clasificación (Autor)	131
Tabla 4. 9. Mediaciones de adherencia de las impresiones (Autor)	134
Tabla 4. 10. Tabla de procesamiento de caos	135
Tabla 4. 11. Tabla de descripción de datos	135
Tabla 4. 12. Pruebas de normalidad.	136
Tabla 4. 13. Descripción de resultados	139
Tabla 4. 14. Análisis estadístico.....	139
Tabla 4. 15. Prueba de resistividad.	142

Tabla 4. 16. Resumen de resultados.....	143
Tabla 4. 17. Tabla de valores descriptivos.....	143
Tabla 4. 18. Tabla de análisis de resultados.....	154
Tabla 4. 19. Costos directos.....	156
Tabla 4. 20. Costos indirectos.....	157
Tabla 4. 21. Costos totales.....	157

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Distribución de uso de la impresora 3D [18, p. 28]	32
Figura 2. 2. Esquema de la clasificación de las tecnologías aditivas, [19, p. 61].....	33
Figura 2. 3. Parte de la impresora SLS [20, p. 6]	34
Figura 2. 4. Partes de la impresión SLA, [21, p. 7]	35
Figura 2. 5. Partes de la impresora DLP, [22]	35
Figura 2. 6. Partes de la impresora FDM, [24].....	36
Figura 2. 7. Parte del extrusor, [25, p. 1].....	37
Figura 2. 8. Impresora Syringe.[26, p. 26]	38
Figura 2. 9. Impresora Drag Extrude. (Ji Chen, 2017, p. 25).....	39
Figura 2. 10. Impresora Food grade extrude. [26, p. 27].	39
Figura 2. 11. Impresora Claystruder. [22]	40
Figura 2. 12. Partes del Hotend, [28]	41
Figura 2. 13. Estructura de soporte de una impresora 3D, [29].....	42
Figura 2. 14. Cama de una impresora 3D, [31]	42
Figura 2. 15. Ejes y motores de una impresora 3D, [32]	42
Figura 2. 16. Placa de control,[34].....	43
Figura 2. 17. Tinta conductiva [38].....	44
Figura 2. 18. Ejemplo de circuito impreso PCB impresa, [46]	50
Figura 2. 19. PCB de una sola cara, [47, p. 17].....	52
Figura 2. 20. PCB fabricada por Built up, [49]	52
Figura 2. 21. Impresora Voltea V1. [52].....	56

Figura 2. 22. Impresora Squink. [52].....	57
Figura 2. 23. Impresora Dragonfly. [52].	59
Figura 3. 1. Diagrama de categorías (Autor).....	62
Figura 3. 2. Diagrama de flujo de la metodología de implementación. (Autor)	69
Figura 3. 3. Impresora Ender 3 S1. [53].....	74
Figura 3. 4. Impresora 3D. [54].....	75
Figura 3. 5. Impresora Anet E10. [55]	76
Figura 3. 6. Partes de la Anet E10. [55]	79
Figura 3. 7. Mapa conceptual de diseño conceptual del extrusor. (Autor)	84
Figura 3. 8. Diagrama de diseño del extrusor. (Autor)	85
Figura 3. 9. Medidas del Tornillo T8. (Creality)	86
Figura 3. 10. Diseño del embolo (Autor)	95
Figura 3. 11. Modelación 3D del soporte del sistema. (Autor)	97
Figura 3. 12. motor Nema 17 en 3D (Autor).....	97
Figura 3. 13. Soporte de motor modelado en 3D (Autor)	98
Figura 3. 14. Soporte de tuerca en 3D. (Autor)	99
Figura 3. 15. Soporte de jeringa (Autor)	99
Figura 3. 16. Boca y boquilla de impresión de tinta conductiva en 3D (Autor)	100
Figura 3. 17. Ensamble de todas las piezas en 3D.....	101
Figura 3. 18. Piezas para la impresión en 3D (OrcaSlicer).....	102
Figura 3. 19. Parámetros de la impresión de piezas 3D (OrcaSlicer)	102
Figura 3. 20. Lamina desde el programa (OrcaSlicer).....	103
Figura 3. 21. Ensamble de piezas en la impresora de tintas conductivas (Autor)	106

Figura 3. 22. Ensamble final de la impresora de tintas conductivas (Autor).....	107
Figura 3. 23. Ensamblaje del extrusor (Autor).....	107
Figura 4. 1. Impresión en la lámina de aceto (Autor).....	109
Figura 4. 2. Prueba de dimensionamiento en acetato (Autor).....	110
Figura 4. 3. Gráfica de frecuencias para un ancho de 1mm (Autor)	113
Figura 4. 4. Gráfica de frecuencias para un ancho de 2 mm (Autor)	113
Figura 4. 5. Gráfica de frecuencias para un ancho de 3 mm (Autor)	114
Figura 4. 6. Gráfica de frecuencias para un ancho de 4 mm (Autor).....	115
Figura 4. 7. Gráfica de desviación estándar de prueba de dimensionamiento (Autor). 115	
Figura 4. 8. Colocación de la primera muestra a ser analizada. (Autor).....	120
Figura 4. 9. Colocación de la segunda muestra a ser analizada. (Autor).....	120
Figura 4. 10. Colocación de las muestras para ser cubiertas la maquina de por pulverización catódica (Autor).	121
Figura 4. 11. Colocación de las muestras en el microscopio electrónico (Autor).	121
Figura 4. 12. Medición del espesor mediante el microscopio electrónico (Autor).....	122
Figura 4. 13. Medición del espesor mediante el microscopio electrónico (Autor).....	122
Figura 4. 14. Medición del espesor mediante el microscopio electrónico (Autor).....	123
Figura 4. 15. Medición del espesor mediante el microscopio electrónico (Autor).....	123
Figura 4. 16. Medición del espesor mediante el microscopio electrónico (Autor).....	124
Figura 4. 17. Medición del espesor mediante el microscopio electrónico (Autor).....	124
Figura 4. 18. Medición con calibrador digital de longitud (Autor)	126
Figura 4. 19. Gráfica de frecuencias para una longitud de 30mm (Autor)	128
Figura 4. 20. Gráfica de frecuencias para una longitud de 50mm (Autor)	129
Figura 4. 21. Gráfica de frecuencias para una longitud de 60mm (Autor)	129

Figura 4. 22. Gráfica de frecuencias para una longitud de 80mm (Autor)	130
Figura 4. 23. Gráfica de frecuencias para una longitud de 90mm (Autor)	131
Figura 4. 24. Grafica de la desviación estándar (Autor)	132
Figura 4. 25. Prueba de adherencia (Autor)	134
Figura 4. 26. Gráfica de frecuencias para los valores obtenidos de adherencia en papel (Autor).....	137
Figura 4. 27. Gráfica de frecuencias para los valores obtenidos de adherencia en acetato (Autor).....	138
Figura 4. 28. Gráfica de cajas para los valores obtenidos de adherencia en acetato (Autor)	138
Figura 4. 29. Toma de valores de la resistencia que posee cada línea conductiva. (Autor)	140
Figura 4. 30. Toma de valores de la resistencia que posee cada línea conductiva. (Autor)	141
Figura 4. 31. Medición de resistencia de la impresión (Autor).....	142
Figura 4. 32. Gráfica de Frecuencias de los datos adquiridos de la etapa 1. (Autor) ...	144
Figura 4. 33. Gráfica de Frecuencias de los datos adquiridos de la etapa 2. (Autor) ...	144
Figura 4. 34. Gráfica de Frecuencias de los datos adquiridos de la etapa 2. (Autor) ...	145
Figura 4. 35. Funcionalidad de un circuito. (Autor)	146
Figura 4. 36. Esquemático de la implementación del circuito. (Autor).....	147
Figura 4. 37. Esquemático desde el software de impresión. (Autor).....	147
Figura 4. 38. Impresión con tinta conductiva del circuito. (Autor)	148
Figura 4. 39. Funcionamiento del circuito impreso con tintas conductivas. (Autor) .	148
Figura 4. 40. Modelo computacional. (Autor).....	149
Figura 4. 41. Impresión en acetato de circuito PCB (Autor).....	151

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño, construcción e implementación de una impresora 3D de tintas conductoras para la fabricación de circuitos impresos flexibles (PCBs). La investigación aborda la adaptación de un sistema de extrusión basado en jeringa para la deposición de tinta conductiva, asegurando alta precisión en la replicación de diseños electrónicos. Para evaluar el desempeño del sistema, se realizaron diversas pruebas técnicas, incluyendo la prueba de dimensiones, prueba de repetibilidad, prueba de material, prueba de resistividad de la tinta y prueba de funcionalidad. Los resultados obtenidos muestran que la impresora mantiene una precisión dimensional dentro de un margen de error de ± 0.06 mm y una variabilidad baja en la repetición de patrones. Además, la adherencia de la tinta conductiva fue significativamente mejor en lámina de acetato en comparación con papel, validando la idoneidad de este sustrato para la fabricación de PCBs. En la prueba de resistividad, se verificó que la conductividad de las pistas impresas está dentro de un rango aceptable, dependiendo del grosor de la línea. La prueba de funcionalidad permitió la fabricación de un circuito básico para encender un LED, confirmando la operatividad de la impresora en la creación de circuitos funcionales. El análisis de costos indica que la implementación del sistema tuvo un costo total de \$1,168.00, incluyendo componentes electrónicos, materiales y costos indirectos. Este resultado demuestra que la tecnología propuesta es viable y representa una alternativa accesible para la fabricación rápida y personalizable de PCBs.

Finalmente, se concluye que la impresora 3D de tintas conductoras desarrollada es una solución innovadora y eficiente para la producción de circuitos electrónicos flexibles. Se recomienda continuar con investigaciones orientadas a mejorar la formulación de la tinta conductiva, optimizar el sistema de extrusión y ampliar la aplicabilidad del equipo en la industria electrónica.

Palabras claves: Impresora 3D, Tinta Conductiva, Circuitos Impresos, PCBs Flexibles, Extrusión Directa, Conductividad Eléctrica.

ABSTRACT

The objective of this work is the design, construction and implementation of a conductive ink 3D printer for the manufacture of flexible printed circuits (PCBs). The research addresses the adaptation of a syringe-based extrusion system for conductive ink deposition, ensuring high precision in the replication of electronic designs. To evaluate the performance of the system, various technical tests were performed, including the dimension test, repeatability test, material test, ink resistivity test, and functionality test. The results showed that the printer maintains dimensional accuracy within a margin of error of ± 0.06 mm and a low variability in pattern repetition. In addition, the adhesion of conductive ink was significantly better in acetate foil compared to paper, validating the suitability of this substrate for PCB manufacturing. In the resistivity test, it was verified that the conductivity of the printed traces is within an acceptable range, depending on the thickness of the line. The functionality test allowed the manufacture of a basic circuit to light an-LED, confirming the operability of the printer in the creation of functional circuits. The cost analysis indicates that the implementation of the system had a total cost of \$1,168.00, including electronic components, materials and indirect costs. This result demonstrates that the proposed technology is viable and represents an accessible alternative for the rapid and customizable manufacture of PCBs.

Finally, it was concluded that the developed conductive ink 3D printer is an innovative and efficient solution to produce flexible electronic circuits. It is recommended to continue with research aimed at improving the formulation of conductive ink, optimizing the extrusion system and expanding the applicability of the equipment in the electronic industry.

Keywords: 3D Printer, Conductive Ink, Printed Circuits, Flexible PCBs, Direct Extrusion, Electrical Conductivity



Reviewed by:
Mgs. Tatiana Martínez Zapata
ENGLISH PROFESSOR
C.C: 0605777192

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos, los estudios acerca de la tecnología de impresión 3D ha estado en constante crecimiento y revolucionado varios sectores industriales al permitir la creación impresa de objetos tridimensionales a partir de modelos digitales, extrayendo material capa por capa hasta conseguir el diseño requerido. De todas las diversas tecnologías de impresión en 3D, la impresión con tintas conductivas ha destacado como una de muchas alternativas innovadoras para la realización de circuitos electrónicos flexibles. Este avance ha demostrado las capacidades de la impresión en 3D y sus ventajas, sino que además hay nuevas oportunidades en la producción de dispositivos electrónicos, sensores y circuitos integrados [1].

A nivel internacional y mundial, el uso y el manejo de tintas conductivas ha despertado el interés de muchos investigadores y empresas a lo largo de este tiempo gracias a su capacidad para producir componentes electrónicos de manera eficiente y económica [2]. Mediante innovaciones tecnológicas como impresoras para tintas conductivas se ha mostrado como la capacidad de imprimir circuitos y componentes en diferentes sustratos, incluidos sustratos elásticos y no convencionales, esto ofrece una versatilidad en la electrónica impresa [3].

Investigaciones recientes demuestran que el uso de tintas conductivas basadas en nanopartículas de plata, cobre y otros materiales conductores, proporcionan buenas propiedades eléctricas y mecánicas. Como un gran ejemplo, basada en una revisión realizada por [4] destaca la formulación de tintas conductivas y sus aplicaciones en la impresión de circuitos impresos flexibles. Estas nuevas tendencias e innovaciones permiten la elaboración de dispositivos electrónicos, estos pueden tener diferentes formas y geometrías que serían difíciles de implementar mediante métodos tradicionales.

A nivel local, de acuerdo con [5], “La implementación de estas tecnologías de impresión 3D con tintas conductivas representa una oportunidad significativa para la innovación y el desarrollo económico. Universidades y centros de investigación están empezando a explorar estas tecnologías, reconociendo su potencial para transformar industrias locales, desde la manufactura electrónica hasta la educación y la salud”. Proyectos pilotos en universidades locales han demostrado la viabilidad de imprimir circuitos simples

pilotos en universidades locales han demostrado la viabilidad de imprimir circuitos simples y sensores utilizando impresoras 3D modificadas para la extrusión directa de tintas conductivas[6].

En esta tesis, se llevará a cabo el "Diseño e implementación de un sistema de impresión de tintas continuas mediante extrusión directa en una impresora 3D cartesiana", con el propósito de simplificar el proceso de fabricación de elementos electrónicos e impulsar el desarrollo de nuevas aplicaciones en la industria, ya que la tecnología de impresión de circuitos tiene un gran impacto en la electrónica y las telecomunicaciones, al igual que la tecnología de impresión de circuitos tiene un gran. [7]

Este trabajo de titulación se desarrolló en cinco capítulos. En el Primer capítulo se realizó una descripción de la motivación y la importancia de la implementación de este tema, como una alternativa para mejorar el proceso de fabricación de circuitos impresos, describiendo la problemática hasta justificar el alcance del proyecto que son propuestos con los objetivos.

En el Segundo capítulo se realizó una recopilación de estado de arte de los antecedentes investigativos del tema, tanto en publicaciones, tesis, y revistas académicas, con un enfoque en la impresión 3D de tintas conductivas y su implementación en la industria, con esto se analizó los fundamentos teóricos, propiedades físicas y partes fundamentales para el diseño y construcción de la impresora 3D con tintas conductivas.

En el Tercer capítulo, se desarrolló la metodología propuesta para el diseño, construcción e implementación del sistema de extrusión directa de la impresora 3D para tintas conductivas, describiendo los pasos que se realizaron para lograr el objetivo central, así mismo los recursos que se generaron en este trabajo de titulación.

El Cuarto capítulo agrupa los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en la impresora 3D, construida para tintas conductivas, de la misma forma un análisis de la eficiencia y fiabilidad, para garantizar el correcto funcionamiento de esta.

Por último, en el Quinto capítulo se redactó las conclusiones del desarrollo de este trabajo de titulación, así como las recomendaciones necesarias para futuras investigaciones en este tema.

Planteamiento del problema

La aplicación de nuevas tecnologías para la creación de dispositivos impresos compactos, flexibles y livianos ha involucrado diversas investigaciones lo cual conlleva el uso de las impresoras 3D, como una solución para la impresión de circuitos impresos aplicando tintas conductivas, ya que esta técnica es más eficiente, seguros y de bajo costo tanto en consumo energético como de manufactura de estos.

La problemática de este de investigación es la forma poco eficiente para la creación de circuitos impresos, que se vienen desarrollando de forma convencional en la actualidad, teniendo materia prima como baquelita, los cuales utilizan materiales que producen una huella de CO₂ y otros contaminantes para el medio ambiente, además que la producción de estos, tienen muchas restricciones como poca flexibilidad, o mucho peso para aplicaciones de sistemas más eficientes. Otra razón es el tiempo de fabricación de estos circuitos, los cuales son fabricados en mayor tiempo y de la misma forma su precio es mayor, ya que la mano de obra es elevada. Con esta antesala nace la necesidad de desarrollar nuevas técnicas más eficaces para la creación de circuitos impresos, con la implementación de un extrusor de tintas conductivas en una impresora 3D. De esta manera se generan las siguientes problemáticas dentro de este trabajo de titulación.

El método de tintas conductivas es importante para alcanzar impresiones de alta calidad. Las tintas deben tener una densidad adecuada para ser extruidas de manera uniforme y mantener sus propiedades conductivas tras el proceso de impresión. Según [4], la estabilidad de las tintas conductivas y su capacidad para formar patrones precisos, son factores determinantes para su aplicación exitosa en la impresión de electrónica flexible. Sin embargo, muchos materiales conductores, como nanopartículas de plata o cobre, pueden ser costosos y presentar desafíos en su dispersión homogénea dentro de la matriz de tinta.

La aplicación de impresoras 3D cartesianas para la extrusión de tintas conductivas necesita adaptaciones tanto en el sistema de extrusión como en el control de los parámetros de impresión. Según [8], “La personalización del hardware de las impresoras 3D es esencial para garantizar que las tintas sean depositadas con precisión y que el sistema pueda mantener condiciones óptimas de temperatura y flujo”. Esto integra el diseño de extrusores especializados que puedan operar las propiedades de las tintas conductivas.

Además del desarrollo técnico, existe la exigencia de evaluar el impacto económico y práctico de implementar esta tecnología en entornos de producción reales. Mediante impresión 3D, con el uso de tintas conductoras podría transformar la fabricación de elementos electrónicos en sectores como la automoción, la salud y la electrónica, para aquello se requiere un análisis tanto de los costos, la escalabilidad y la integración con los procesos de producción existentes [9].

Justificación

La importancia del estudio de estas nuevas tecnologías en la creación de circuitos impresos con tintas conductoras ha llegado a tener un gran protagonismo en la actualidad, lo cual genera un interés en el desarrollo e implementación de estos sistemas, generando un avance en la eficiencia y calidad de estos, así como también la posibilidad de creación de nuevos diseños, como también la personalización de los componentes electrónicos, para la mejora de dispositivos. Esto representa una innovación significativa en el campo de fabricación aditiva, ofreciendo una solución versátil para la creación de circuitos impresos. Según [10], la manufactura aditiva tiene el potencial de transformar las industrias al permitir la producción rápida y personalizada de piezas complejas, mejorando la validez y reduciendo el residuo de material.

Además, la aplicación de esta tecnología tiene un enfoque en la parte económica y medioambiental, ya que por este método se reduce el uso de material y las cadenas de suministros complejas y costosas, lo que es una ventaja en la producción a pequeña escala o para circuitos personalizados. Como un ejemplo, se puede aplicar en la creación de electrónica flexible, sensores y dispositivos portátiles o en formas no usuales. Otra de las aplicaciones es en los dispositivos médicos personalizados, donde se necesita componentes electrónicos ajustables a la anatomía específica del paciente, para mejorar la efectividad de los tratamientos.

En resumen, este trabajo de titulación ofrece un referente para el estudio e investigación en el desarrollo de sistemas más eficientes, en la fabricación de circuitos impresos, con el diseño e implementación de la impresora 3D de tintas conductoras, la cual promueve la innovación tecnológica y la sostenibilidad de procesos de creación de componentes electrónicos.

Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Diseño e implementación de un sistema de extrusión directa en una impresora 3D cartesiana para tintas conductivas aplicado en la generación de circuitos impresos.

1.1.2. Objetivos específicos

- Realizar el estudio del estado de arte con las especificaciones técnicas para el diseño e implementación del sistema de extrusión directa de tintas conductivas.
- Diseñar y optimizar el hardware de la impresora 3D para la extrusión directa de tintas conductivas.
- Realizar la implementación en la fabricación de circuitos impresos y la validación de los resultados con este sistema.
- Evaluar y analizar los resultados obtenidos tanto en eficiencia del sistema como el impacto económico de este.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se realizara la investigación de antecedentes, fundamentos teóricos, partes principales, aplicaciones y otros aspectos a considerar, mediante la revisión de libros, tesis, repositorios digitales, revistas académicas y documentos técnicos, son esenciales para el desarrollo de este trabajo de titulación, el cual tiene como objetivo principal el diseño e implementación de un sistema de extrusión directa en una impresión 3D cartesiana para tintas conductivas aplicado en la generación en circuitos impresos.

La impresión 3D ha evolucionado desde su invención hasta el día de hoy, donde sigue generando más aplicaciones dentro de la industria, permitiendo la creación de estructuras, partes y formas complejas, teniendo como finalidad ser una herramienta útil para la creatividad y el desarrollo de elementos poco convencionales. De esta forma nace la utilización de esta tecnología para el desarrollo de aplicaciones en la electrónica, teniendo en cuenta de igual forma la evolución de las tintas conductivas ya que gracias a ellas se puede generar esta utilidad. Con este preámbulo se realizaron las siguientes investigaciones sobre este tema tanto a nivel global como local, teniendo en consideración y sobresaliendo los siguientes estudios.

La investigación publicada en la revista Advanced Materials Technologies realizada por [1] con el tema “Conductividad eléctrica y foto detección impresa en 3D de estructuras nanoporosas mediante funciones procesadas en solución de materiales” describe el siguiente criterio de estudio: “Las estructuras conductoras impresas en 3D son muy atractivas, debido a su gran potencial para dispositivos electrónico personalizables, por lo cual, la tecnología de procesamiento de luz digital e impresión de inyección de tinta, se combinan como una estrategia eficaz para la elaboración de estructuras conductoras 3D. El enfoque es la utilización de un material polimérico nanoporoso (NPo) impreso en 3D como sustrato, sobre el que se imprime una tinta de Ag basada en nanopartículas. Lo que se investiga es la integración de un fotodetector impreso por inyección de tintas, basado en una capa activa semiconductor orgánica sobre el sustrato (NPo). Con esto se demuestra el potencial de este enfoque para la creación aditiva de dispositivos optoelectrónicos funcionales impresos en 3D”[1, p. 1].

enfoque para la creación aditiva de dispositivos optoelectrónicos funcionales impresos en 3D”[1, p. 1].

En la investigación de [11] sobre “Impresión plana y tridimensional de tintas conductivas” habla sobre las rutas de fabricación de gran superficie y de bajo costo para crear dispositivos electrónicos, optoelectrónicos y biomédicos flexibles, con impresión en 1D, 2D y 3D de tintas metálicas en forma de microelectrodos flexibles, estirables y de extensión. “A diferencia de la impresión por inyección de tinta, un proceso basado en gotas, el ensamblaje de escritura directa implica la extrusión de filamentos de tinta dentro o fuera del plano. Los filamentos impresos normalmente se ajustan al tamaño de la boquilla. Por lo tanto, las características a micro escala ($< 1 \mu m$) se pueden modelar y ensamblar en matrices más grandes y arquitecturas multidimensionales”[11, p. 1].

En el artículo científico de la revista Elsevier se analizó “fabricación aditiva de inyección de material 3D de alta velocidad de tinta viscosa a base de grafeno con alta conductividad” realizada por [12], describe lo siguiente, “Este artículo aborda la implementación y caracterización de la creación aditiva de inyección de material piezoeléctrico con alto contenido de grafeno denominado MJ-3DG, el cual se compara la robustez de la impresión 3D, ya que tiene una rugosidad superficial de alrededor de $2.99 \mu m$ y con una resistividad tan baja de $0.41 \Omega \cdot cm$. Esta técnica supera los métodos de extrucción en procesos de velocidad y flexibilidad, abriendo la posibilidad para equipos electrónicos flexibles y de biomonitoreo”[12, p. 1].

En el trabajo de fin de grado para el título de Ingeniero Industrial de la Universidad de Coruña realizado por [13], con el tema “Desarrollo de polímeros conductores para circuitos fabricados mediante impresión 3D” habla sobre el desarrollo de nuevos materiales compuestos que tengan la propiedad conductora para impresión en 3D. Estos materiales son nanocompuestos de matriz polimérica termoplástica, con propileno (PP), y nano rellenos conductores de nanotubos de carbono (CNT), que aporten conductividad eléctrica al material imprimible. (“Desarrollo de polímeros conductores para circuitos fabricados mediante ...”) El estudio trata de caracterizar el mejor material para aplicaciones electrónicas con el fin de poder imprimir en 3D. Estos materiales serán impresos por extrusión directa en forma de filamento con el fin de evaluar sus propiedades y los efectos de los parámetros de impresión (velocidad, temperatura, y espesor de capa) para la conductividad eléctrica de este. Como

resultado de este trabajo se consiguieron diseñar nuevos materiales compuestos de matriz PP con una conductividad térmica de 10^{-2} S/cm , aptos para impresoras FDM para diversas aplicaciones en la electrónica [13, p. 111].

Una segunda investigación como trabajo de grado de la Universidad Central del Ecuador para la obtención de título de Ingeniera Química realizado por [14], con el tema “Técnicas de impresión 3D con tinta de quitosano”, se desarrolló el estudio del uso de quitosano como tinta en la impresión 3D para la elaboración de objetos, con un enfoque en las propiedades químicas de la quitosano y en las técnicas apropiadas en la impresión 3D, esto con el fin de determinar el grado de aplicación en la industria, ya que el quitosano puede contribuir a minimizar el daño ambiental como la reducción de desperdicio de materia prima, residuos y energía, disminuyendo la huella ecológica generada por la manufactura en masa. Como ventajas mencionadas es una gran opción para comenzar a trabajar en la sostenibilidad ambiental [14, p. 54]. Con esta referencia se establece la importancia de crear nuevas alternativas más ecológicas para la implementación de la impresión 3D para las diferentes aplicaciones.

Fundamentos teóricos

2.1.1. Método de impresión

La impresión o manufactura aditiva es un grupo de procesos de fabricación que, partiendo de un modelo digital diseñado según la exigencia del usuario, permiten manipular de manera automática distintos materiales como pinturas, plásticos y conductores que permiten agregarlos en una o varias capas de forma muy precisa [15, p. 20].

2.1.2. Tipo de métodos de impresión

Para esta clasificación los métodos más importantes son:

- *Sistemas de impresión directa*: Es cuando un rodillo, extrusor, chapa, etc., contiene el material que se desea imprimir, y este imprime de forma directa en el material que se desea imprimir ya sea pcb, plástico, papel, acrílico, etc., [16, p. 13].

- *Sistemas de impresión indirecta*: Es donde un rodillo, extrusor, chapa, etc., tiene la imagen que se desea imprimir, parecido a un sello y de allí se pasa al material final en que se desea imprimir, sea pcb, plástico, papel, acrílico, etc., [16, p. 17]

2.1.3. Tecnología de impresión 3D

Según Carlo Fonda “La impresión 3D (también llamada fabricación por adición) es el proceso de fabricar un objeto sólido tridimensional de casi cualquier forma a partir de un modelo digital computarizado. (“Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales”) La 3 impresión 3D se logra usando un procedimiento de adición en el que capas sucesivas de un material se depositan en formas diferentes” [17, p. 3].

“Hoy en día esta tecnología es ampliamente usada en joyería, zapatería, diseño industrial, arquitectura, ingeniería y construcción, industria automotriz, aeroespacial, dental y médica, educación, sistemas de información geográfica y para otras muchas aplicaciones profesionales que se añaden a esta lista cada año” [17, p. 3].

A demás, algo muy importante es que las impresoras han evolucionado tanto que es posible crear una utilizando impresoras de tinta normales, lo que ha reducido significativamente los costos. Ahora se pueden conseguir impresoras 3D desde los seiscientos dólares. Esto ha facilitado la presencia de impresoras 3D en los hogares, siendo adquiridas por artistas, ingenieros, arquitectos, médicos y aficionados [18, p. 28].

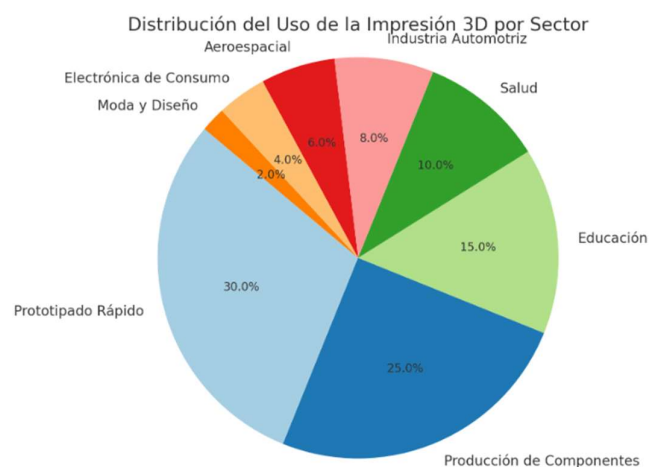


Figura 2. 1. Distribución de uso de la impresora 3D [18, p. 28]

Clasificación según la ASTM. Clasificación según el proceso.

Esta clasificación es la más común y es empleada por numerosos autores académicos del sector en la bibliografía disponible. También la ASTM la emplea para hacer referencia a los diferentes procesos, aunque no existe una norma específica y rigurosa sobre esta clasificación, sino definiciones de estos procesos dentro de la norma mencionada [19, p. 60].

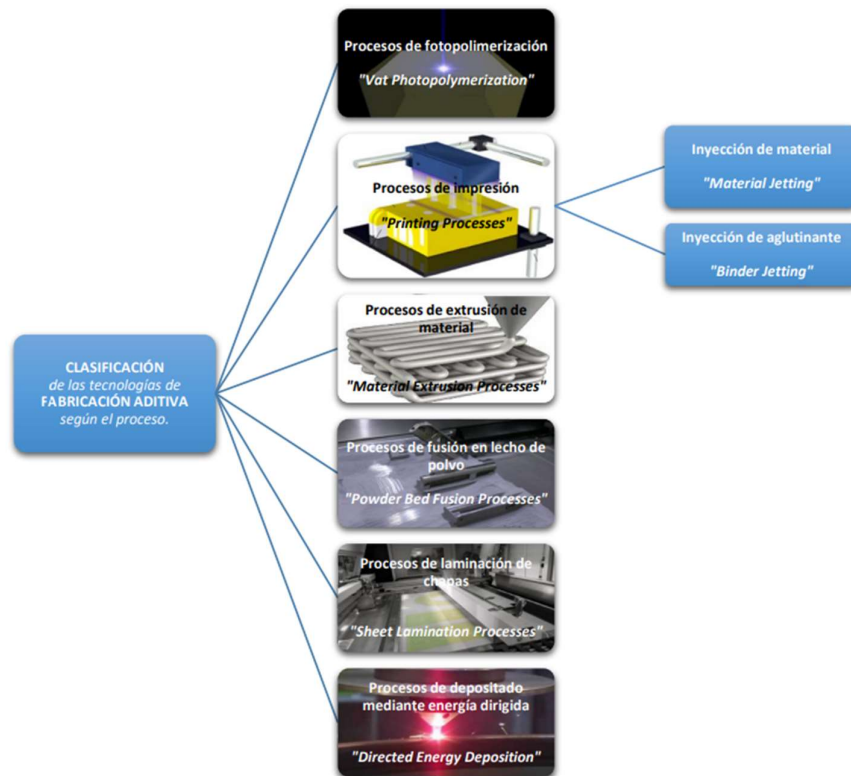


Figura 2. 2. Esquema de la clasificación de las tecnologías aditivas, [19, p. 61]

Actualmente existen cuatro tecnologías principales para la impresión en 3D, las cuales utilizan diferentes tipos de materiales para la creación de modelos tridimensionales, cada una de estas tienen sus ventajas y desventajas [18, p. 29]. Estas tecnologías son las siguientes:

2.1.4. Sinterización selectiva por láser (SLS)

Este método utiliza el láser para fundir material en polvo. Mediante este método también permite la impresión de materiales a base de metal [20, p. 6], siendo esto contextos

profesionales e industriales. Como principal ventajas, que presenta sobre otras tecnologías de fabricación aditiva, es que el lecho de polvo actúa como soporte de la pieza que se está fabricando, de esta forma se puede aligerar la carga de diseño y el esfuerzo de la extracción de la pieza sustancialmente [19].

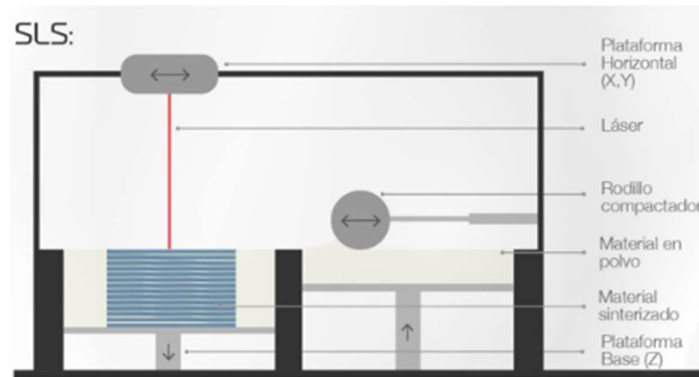


Figura 2. 3. Parte de la impresora SLS [20, p. 6]

2.1.5. Estereolitografía SLA

Esta tecnología utiliza resinas líquidas, conocidas como fotopolímeros, que se solidifican capa a capa mediante un haz de luz láser. El haz de luz dibuja el objeto sobre una lámina de resina y que el proceso se repite capa por capa hasta completar el diseño deseado. Además, se indica que el pistón de movimiento sigue bajando conforme se solidifican las capas sucesivas, y que la graficación en 2D se logra gracias al movimiento de espejos que direccionan el haz de luz [18, p. 29].

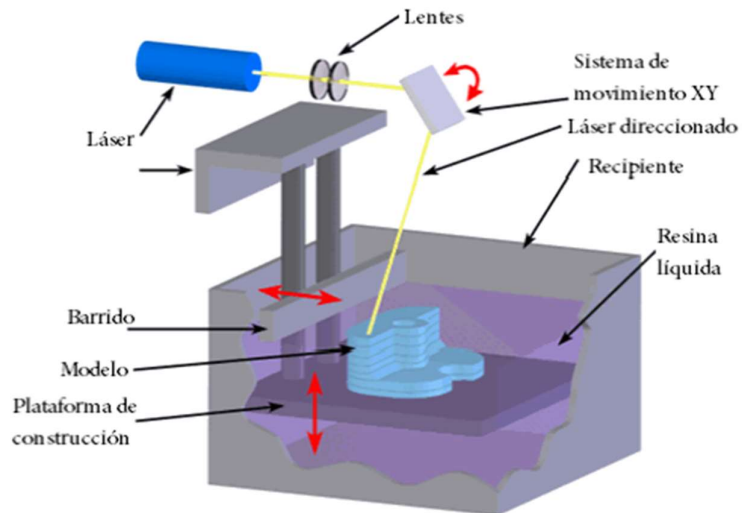


Figura 2. 4. Partes de la impresión SLA, [21, p. 7]

2.1.6. Procesamiento por luz directa DLP

Mediante esta tecnología DLP, se generan las piezas de una manera muy similar a la del SLA. La resina fotopolímera se solidifica en capas y forma un objeto sólido. La diferencia que existe es que en lugar de un láser se utiliza una pantalla de proyector digital, esta hace destellar una sola imagen de cada capa a través de toda la plataforma. Al ser el proyector una pantalla digital, la imagen está compuesta de píxeles, esto da como resultado una capa formada por pequeños cubos rectangulares llamados vóxeres [21, p. 7]

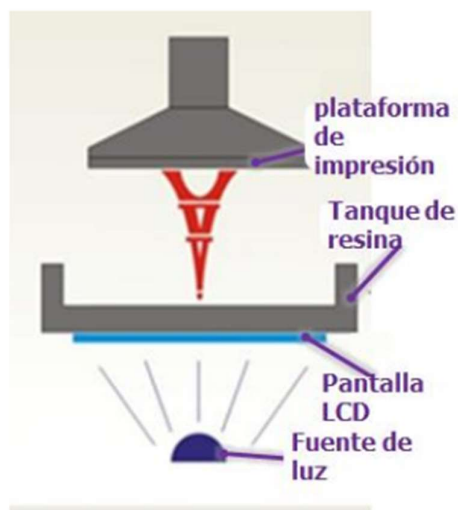


Figura 2. 5. Partes de la impresora DLP, [22]

2.1.7. Proceso deposición de material fundido (FDM)

“Realiza un modelo 3D mediante la extrusión de materiales termoplásticos, los cuales son depositados capa sobre otra, como se muestra en la figura 2.6. Estos materiales termoplásticos son los más utilizados para construir modelos en 3D. Son movidos por dos rodillos hacia abajo, con dirección a la punta de la boquilla del extrusor que tiene un cabezal de impresión, donde se calientan por control de temperatura. A medida que el cabezal de impresión traza el diseño de cada capa de sección transversal definida horizontalmente, el material semi fundido se extruye fuera de la boquilla y se solidifica en las áreas deseadas” [23, p. 30]. Además, los defectos superficiales dependen de la configuración del software y el formato del archivo STL., como también el diámetro del filamento y la densidad. Una ventaja de este proceso de impresión 3D es que se puede crear diferentes modelos con una variedad de materias como PLA, ABS, PETG, PC, PS, también hay que considerar que el costo de impresión es bajo en comparación a otros procesos de impresión.

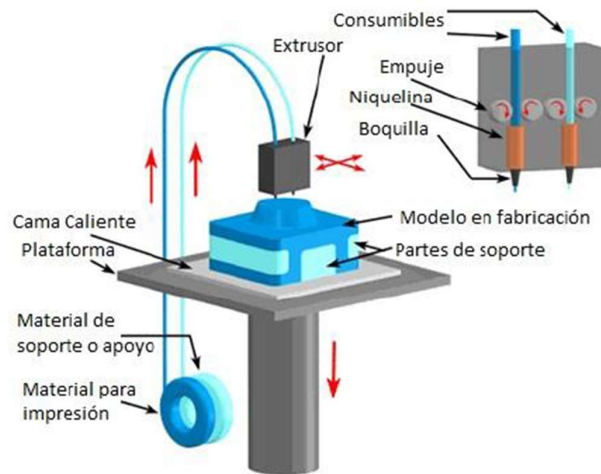


Figura 2. 6. Partes de la impresora FDM, [24]

De este último proceso de impresión 3D con el método (FDM) se detallará de manera general, ya que por las características de fiabilidad, versatilidad y costos se trabajará con este tipo de impresoras. A continuación, se describe las partes principales de una impresora 3D (FDM), con sus funciones:

2.1.7.1. Extrusor

El extrusor es la parte el cual tiene la función de alimentar y fundir el filamento. Este compuesto por un motor que impulsa el filamento hacia el HOTEND, donde es fundido y depositado capa por capa.

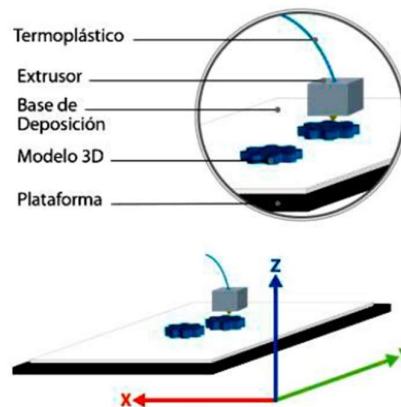


Figura 2. 7. Parte del extrusor, [25, p. 1]

2.1.7.2. Tipo de extrusores con forma de jeringa

El sistema de extrusión de tipo de jeringa es un uso sencillo y eficaz aplicado en la pastelería, usando un material de deposición adecuado, el cual permite imprimir realizar figuras decorativas. Dentro de este grupo hay varios tipos de sistemas, cuales los principales son los siguientes:

2.1.7.2.1. Syringe extruder

Este tipo de extrusor por lo general es utilizado en aplicaciones de impresión 3D, laboratorios y en procesos de fabricación, donde se requiere una dosificación de materiales viscosos.

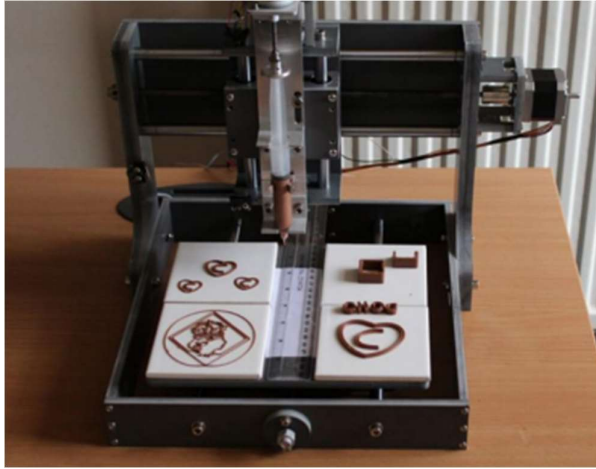


Figura 2. 8. Impresora Syringe.[26, p. 26]

Ventajas

- Este sistema es económico y fácil de construir/comprar
- Posee un sistema muy sencillo, posee una facilidad desmontar para ser lavado.
- Muy funcional y con buena precisión.
- Gran versatilidad y se puede imprimir cualquier tipo de material viscoso.

Desventajas

- A pesar de tener buena capacidad de almacenaje, para volver a rellenar el depósito se debe desmontar todo el sistema de extrusión.
- Poco tiempo de almacenaje para el material a ser extruido.
- No posee un sistema de refrigeración.
- Necesita el soporte de otra máquina para tener el chocolate en cierta temperatura antes de introducirlo en el extrusor.

2.1.7.2.2. *Drag extruder.*

Este sistema es idéntico al anterior, posee ciertas mejoras con el objetivo de solucionar algunas de las desventajas del sistema anterior. El equipo de OpenElectronics han creado un calefactor para mantener a una temperatura óptima, de esta forma el chocolate se encuentra en una funda metálica envuelta por un calefactor flexible que cubre toda la jeringuilla. Además, posee un sistema de refrigeración que utiliza un pequeño ventilador para disminuir el tiempo de solidificación. [26, p. 25].



Figura 2. 9. Impresora Drag Extrude. (Ji Chen, 2017, p. 25)

2.1.8. Extrusores que emplean el tornillo de Arquímedes o el sistema Progressing Cavity Pump.

Un extrusor que tiene como principal herramienta utilizar el tornillo de Arquímedes, o conocido como tornillo sin fin, es un dispositivo mecánico el cual transporta y dosifica materiales a través de un canal helicoidal. Este tipo de extrusor es utilizado en industrias de plásticos y para la producción de alimentos [26, p. 27].

2.1.8.1.1. Food grade extrude



Figura 2. 10. Impresora Food grade extrude. [26, p. 27].

Ventajas.

- Se puede rellenar el depósito sin la obligación de desmontar el extrusor.
- Posee su tolva un gran volumenm.
- Boquilla intercambiable.

Desventajas.

- Costo elevado (solo el extrusor tiene un coste de 1.130€)
- Se necesita otra máquina para mantener el chocolate en cierta temperatura.

2.1.8.1.2. Claystruder

La Claystruder es una mezcla de la Frostruder y el extrusor alimentario de VormVrij. La jeringa a presión de la Frostruder se utiliza en este extrusor como si fuera la tolva de alimentación. El sistema de extrusión que emplea este extrusor es el de tornillo de Arquímedes, este controla la presión de salida de material en función de las revoluciones asignadas al motor paso a paso que se encuentra acoplado con el tornillo [22].



Figura 2. 11. Impresora Claystruder. [22]

Ventajas.

- Permite tener un gran control del caudal de material a extruir.
- Evita el goteo de líquido en caso de no imprimir.
- Diseño sencillo.

Desventajas.

- Dificultad para rellenar la tolva.
- Dificultad para su limpieza.
- No permite mantener la temperatura del chocolate, posibilitando la solidificación de esta.

- Necesidad de un compresor de aire.

2.1.8.1.3. Hotend

El hotend es la parte del extrusor que funde el filamento. Consiste en un bloque calefactor y una boquilla a través de la cual se extruye el material fundido. La temperatura del hotend se controla para adaptarse al tipo de material utilizado [27].

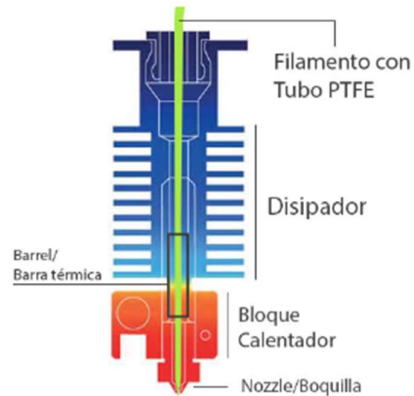


Figura 2. 12. Partes del Hotend, [28]

2.1.8.1.4. Estructura de soporte

Es la que proporciona el marco rígido y estable sobre el cual se instalan todas las demás partes de la impresora, esta normalmente hecha de perfilera de aluminio u otros metales para asegurar durabilidad y precisión [29].

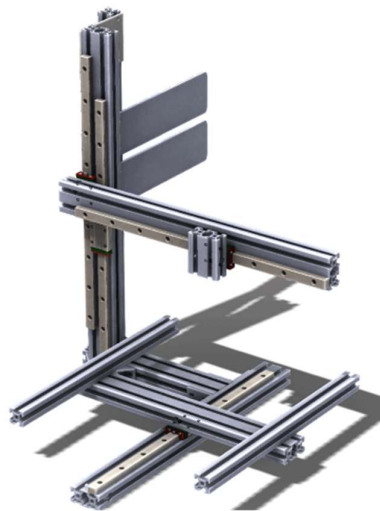


Figura 2. 13. Estructura de soporte de una impresora 3D, [29]

2.1.8.1.5. Cama de impresión

La cama de impresión es la superficie sobre la cual se deposita el material fundido para formar el objeto 3D. Puede ser calentada para mejorar la adhesión del primer capa y prevenir el warping [30].

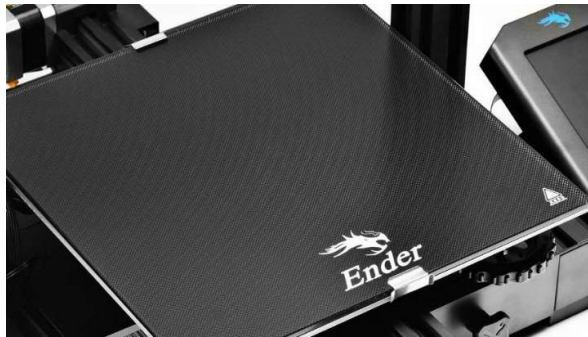


Figura 2. 14. Cama de una impresora 3D, [31]

2.1.8.1.6. Ejes y motores

Los ejes X, Y Z permiten el movimiento preciso del cabezal de impresión y/o la cama de impresión. Están controlados por motores paso a paso que aseguran movimientos controlados y exactos durante el proceso de impresión [32]

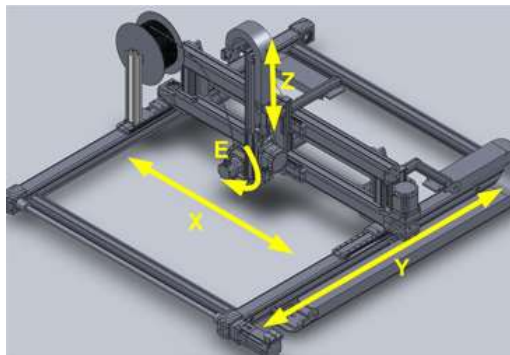


Figura 2. 15. Ejes y motores de una impresora 3D, [32]

2.1.8.1.7. Placa controladora

La placa controladora es el cerebro de la impresora 3D. (“¿Cómo funciona una impresora 3D FDM? - Capa Sobre Capa”) Controla los motores, la temperatura del hotend y la cama de impresión, y coordina todo el proceso de impresión basado en las instrucciones recibidas del software de corte [33]

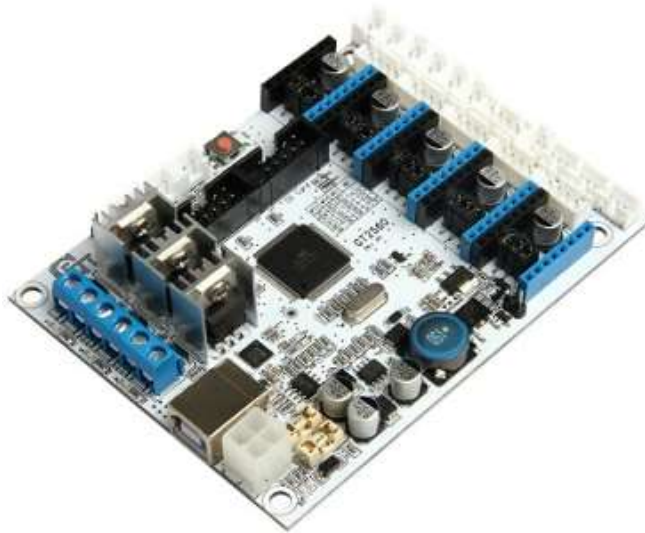


Figura 2. 16. Placa de control,[34]

Básicamente estas son las partes principales, las cuales ayudan a la precisión, calidad y eficiencia de una impresora 3D (FDM). Dependiendo de la impresora y calidad de impresión se tiene también sensores de nivel, ventiladores de enfriamiento, fuentes externas, que contribuyen al mejoramiento de la impresión.

2.1.9. Tintas conductoras

Las tintas conductoras han revolucionado el campo de la electrónica impresa, dando paso a la creación de circuitos y componentes electrónicos, directamente sobre superficies flexibles y tridimensionales. Los dispositivos electroquímicos, desarrollados a partir de tintas conductoras han resultado un sistema innovador, que promueve la flexibilidad para el diseño de los electrodos. El creciente aumento, en el número de investigaciones relacionadas con el desarrollo de tintas, está impulsado por la búsqueda de simplicidad, bajo costo, menor

generación de residuos, producción en masa y métodos de fabricación amigables con el medio ambiente, [35, p. 1].

Las tintas conductoras poseen una forma líquida o pasta, estas contienen partículas conductoras como plata, cobre, grafeno que se encuentran dispersas en un medio líquido. Estas tintas usualmente se utilizan mediante métodos de impresión, incluyendo la serigrafía, inyección de tinta y la impresión 3D, de estas formas se puede depositar patrones conductores sobre sustratos flexibles o rígidos, [36].

Mediante estas tintas se ha podido fabricar diversidad de dispositivos electrónicos, como: circuitos impresos, sensores portátiles para controles remotos, electrodos flexibles, células fotovoltaicas, pantallas flexibles, diodos emisores de luz, transistores de películas delgadas, textiles inteligentes, entre otros, [37].

2.1.9.1. Principio de funcionamiento

La tinta conductiva es un material de apoyo que se hacen conexiones eléctricas sin la ayuda de la utilización de cables o pistas de cobre. Está compuesta químicamente por un material conductor, el cual permite la conducción eléctrica, con un mínimo de resistividad. La resistividad depende de la densidad. El principio de funcionamiento de las tintas conductoras depende de varios factores los cuales se detalla a continuación.

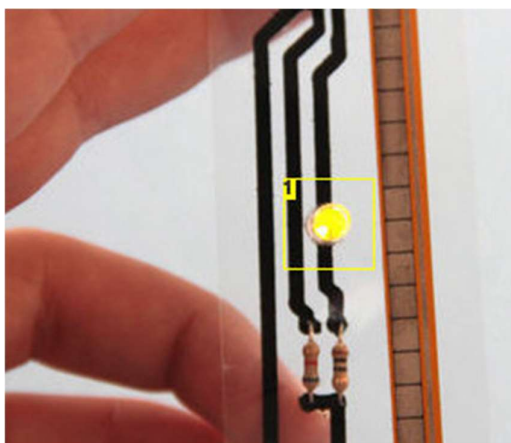


Figura 2. 17. Tinta conductiva [38]

2.1.9.1.1. Composición de la tinta conductiva

Para garantizar que la tinta conductiva mantenga sus propiedades para la óptima aplicación es necesario conocer los principales componentes comerciales que la integran.

- Partículas conductoras: metales (plata, oro, cobre) también materiales como carbono (grafeno grafito, nanotubos de carbono), y polímeros conductores como (PEDOT).
- Vehículo o matriz: solventes (agua, alcoholes) o matrices poliméricas que actúan como el medio en que se dispersan las partículas conductoras.
- Aditivos: dispersantes, surfactantes, estabilizadores que ayudan a mantener una buena distribución uniforme, para mejorar las propiedades de la tinta [39].

2.1.9.1.2. Verificación de Conductividad

Una vez que la tinta ha sido aplicada y secada, es muy importante verificar su conductividad para asegurar un correcto funcionamiento en la elaboración de circuitos.

- Medición de Resistividad: Se mide la resistividad del trazo o patrón impreso utilizando técnicas e instrumentos adecuados.
- Proceso: Se aplica un voltaje a través del trazo y se toman medidas como resistencia en los trazos.
- Pruebas de Durabilidad: Esta prueba incluyen ciclos de tiempo, en donde se verificará la exposición a humedad y temperatura para asegurar que la tinta mantiene su conductividad bajo diferentes condiciones[39].

2.1.9.2. Clasificación de tintas conductivas

Las tintas conductivas se clasifican según los componentes que lo integran, los cuales describiremos en la siguiente tabla.

Tabla 2. 1. Clasificación de las tintas conductivas			
Clasificación	Descripción	Ventajas	Desventajas

Tintas Metálicas	Nanopartículas de metales como plata, oro o cobre.	Alta conductividad, estabilidad térmica	Costosas, susceptibilidad a la oxidación
Tintas Basadas en Carbono	Grafito, grafeno y nanotubos de carbono.	Menor costo, flexibilidad, resistente	Menor conductividad
Tintas Poliméricas Conductivas	Polímeros conductores como PEDO	Flexibilidad, transparencia, fácil uso	Conductividad baja, estabilidad limitada

Aplicaciones de la tinta conductiva

La tinta conductiva puede ser aplicada sobre un sustrato mediante varios métodos de impresión, cada uno con sus propias ventajas y limitaciones [40].

2.1.10. Impresión por Inyección de Tinta:

La tinta que va a ser extruida es depositada mediante una boquilla en pequeñas gotas controladas, permitiendo la creación de patrones finos y precisos.

- Ventajas: Alta resolución, flexibilidad en los diseños.
- Desventajas: Requiere tintas con propiedades reológicas específicas.

2.1.11. Deposición por Extrusión:

La tinta es extruida continuamente a través de una boquilla mientras el cabezal de impresión se mueve en coordenadas X, Y y Z.

- Ventajas: Capacidad para depositar capas gruesas de tinta.
- Desventajas: Resolución limitada comparada con la inyección de tinta.

2.1.11.1. Serigrafía:

La tinta es forzada a través de una malla que define el patrón deseado.

- Ventajas: Adecuada para grandes volúmenes y aplicaciones de baja resolución.
- Desventajas: Menor precisión en comparación con la inyección de tinta.

Con esta clasificación del tipo de método para la aplicación se abrió un gran campo en diferentes áreas de la industria, lo cual ha ofrecido una versatilidad y flexibilidad en su implementación, ya que reduce significativamente los costos de producción. Estas son algunas áreas de la industria donde se está aplicando tintas conductivas.

2.1.11.2. Electrónica impresa

La electrónica impresa utiliza tintas conductivas para crear circuitos eléctricos en sustratos flexibles y delgados como papel, plástico y tela. Este método permite la producción en masa de dispositivos electrónicos a bajo costo y es particularmente útil para [41]:

- **Etiquetas RFID:** Las etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID) utilizan tintas conductivas para imprimir las antenas necesarias para la transmisión de datos.
- **Pantallas Flexibles:** Las pantallas OLED y LCD flexibles utilizan tintas conductivas para la creación de electrodos transparentes y flexibles.
- **Circuitos Flexibles:** Permiten la integración de circuitos en superficies no tradicionales y complejas.

2.1.11.3. Sensores y Actuadores

Las tintas conductivas se utilizan en la fabricación de sensores y actuadores debido a su capacidad para ser aplicadas en sustratos flexibles y tridimensionales [42].

- **Sensores de Presión y Tacto:** Permite la elaboración de sensores táctiles en dispositivos electrónicos, ropa inteligente y superficies interactivas.
- **Biosensores:** Estos son utilizados en dispositivos médicos para la detección de biomoléculas y condiciones fisiológicas.
- **Actuadores Flexibles:** Utilizados en robótica blanda y dispositivos de asistencia médica para realizar movimientos controlados.

2.1.11.4. Dispositivos Médicos

Las tintas conductivas han incrementado significativamente sus aplicaciones en el campo de la medicina, especialmente en la elaboración de dispositivos médicos flexibles y portátiles [43].

- **Electrodos para Monitoreo Médico:** Utilizados en dispositivos de electrocardiograma (ECG) y electroencefalograma (EEG) para el monitoreo no invasivo de señales biológicas.

- **Ropa Inteligente para Monitoreo de Salud:** Se pueden integrar sensores conductivos en textiles para monitorear signos vitales.
- **Dispositivos Implantables:** Para la creación de dispositivos que se puedan implantar y requieran componentes electrónicos flexibles y biocompatibles.

2.1.11.5. Automoción

En la industria automotriz, las tintas conductivas permiten la creación de componentes electrónicos ligeros y flexibles que pueden integrarse en diversas partes del vehículo [44].

- **Antenas Integradas:** Fabricación de antenas integradas en parabrisas y otros componentes del vehículo.
- **Sensores de Proximidad y Tacto:** Utilizados en sistemas de asistencia al conductor y en la interfaz hombre-máquina dentro del vehículo.
- **Iluminación Flexibles:** Se puede crear paneles de iluminación OLED flexibles y personalizados.

2.1.11.6. Energía

Las tintas conductivas también se utilizan en la producción de componentes para sistemas de energía [45].

- **Celdas Solares Flexibles:** Creación de contactos eléctricos en celdas solares flexibles, para una mejor eficiencia y la disminución notable del peso.
- **Super capacitores:** Utilización de tintas conductivas para la fabricación de Super capacitores flexibles que almacenan energía de manera eficiente.
- **Baterías Flexibles:** Integración de tintas conductivas en baterías flexibles para dispositivos electrónicos portátiles.

2.1.11.7. Industria Textil

En la industria textil, las tintas conductivas se utilizan para crear tejidos inteligentes con capacidades electrónicas integradas [39].

- **Ropa Inteligente:** Integrar circuitos conductivos en textiles para aplicaciones en ropa deportiva, moda y seguridad.
- **E-Textiles:** Creación de textiles electrónicos, estos interactúan con dispositivos y proporcionan datos en tiempo real.

2.1.12. Propiedades de las tintas conductivas

Las propiedades de las tintas conductivas básicamente dependen de su idoneidad para la aplicación específica, de acuerdo con esto su funcionalidad rendimiento y eficiencia, se determina dentro del trabajo que desempeña. A continuación, se describe las principales propiedades que contiene una tinta conductiva.

2.1.12.1. Conductividad eléctrica

Es la capacidad que tiene la tinta en conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad es esencial para la eficiencia de los circuitos electrónicos, ya que con este valor se puede verificar la calidad de la tinta. La conductividad varía según los componentes utilizados en la tinta.

2.1.12.2. Flexibilidad y elasticidad

Es la capacidad de estirarse o doblarse y volver a su forma original, sin perder sus propiedades. Esto se encuentra comúnmente en matrices poliméricas, y su aplicación es muy amplia, como ejemplo en la ropa inteligente.

2.1.12.3. Adhesión al sustrato

Es la capacidad de adherencia de la tinta a la superficie donde se lo aplica, esto es importante para la capacidad de durabilidad y rendimiento del circuito impreso. El tratamiento de las superficies puede mejorar la adhesión en el sustrato.

2.1.12.4. Estabilidad térmica

La estabilidad térmica se refiere a la capacidad de mantener las propiedades de la tinta, cuando hay variaciones de temperatura. La tinta con componentes metálicos tiene mayor estabilidad térmica ya que no presenta mayores variaciones en sus propiedades.

Estas propiedades son esenciales para tener un rendimiento eficiente cuando se utiliza tintas conductivas. También dependerá el tipo de aplicación para verificar su utilización o las necesidades del usuario.

2.1.13. Circuitos impresos

En los últimos años, los circuitos impresos constituyen el medio que más se utiliza para la integración de sistemas electrónicos, es considerada la columna vertebral de la electrónica moderna para la intercomunicación y el soporte de componentes. Gracias a esto la tecnología sigue evolucionando en nuevas formas, ya que los circuitos impresos facilitan la conexión de componentes y microcomponentes. El nombre científico de los circuitos impresos es PCBs (Printed Circuits Boards), los cuales están conformados generalmente de múltiples capas de cobre separadas con dieléctricos e intercomunicadas por pistas.

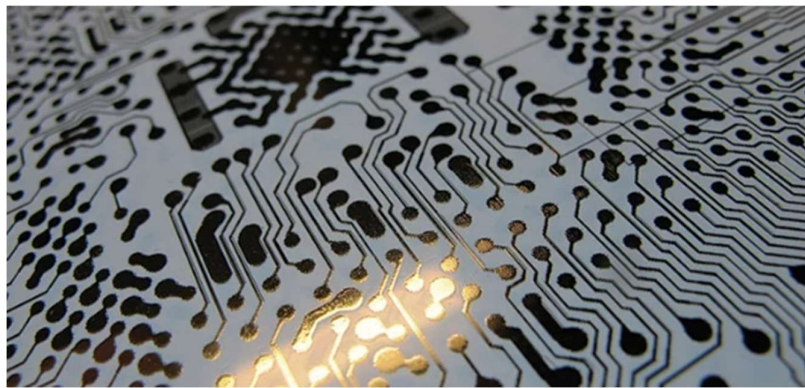


Figura 2. 18. Ejemplo de circuito impreso PCB impresa, [46]

Como cualquier otro material, las placas de circuito impreso se encuentran limitadas en potencia y frecuencia, por lo cual se busca mejorar e innovar los procesos de fabricación. Además, es necesaria la implementación de tecnología multicapa (para determinadas líneas), proceso que requiere de maquinaria especial para su fabricación.[47, p. 13]

2.1.13.1. Diseño de circuitos impresos

No todos los circuitos impresos (PCB) son iguales, y la mayoría de las aplicaciones tienen sus propios requisitos funcionales. Del mismo modo, no todos los paquetes de software de diseño de PCB se adaptan inmediatamente al diseño de todas y cada una de las aplicaciones [48]. Para el diseño de las PCBs involucra procesos complejos los cuales cumplen las siguientes etapas:

- **Esquemático:** es la representación esquemática del circuito donde se están incluidas las conexiones y los componentes que incluyen dentro del circuito.
- **Diseño en layout:** es donde se realiza la organización física de los componentes, con su ruteo de pistas y creación de planos de detalle
- **Validación:** es donde comprueba el funcionamiento de todo el circuito, con un análisis de funcionalidad y simulación de operabilidad.

2.1.13.2. Materiales de los PCBs

Dependiendo de la aplicación del PCB existen varios materiales que conforman a continuación se detallara los más importantes.

- **Sustrato:** Generalmente, fibra de vidrio epoxi (FR4) debido a su excelente estabilidad térmica y propiedades eléctricas.
- **Cobre:** Utilizado para las pistas conductoras, con espesores típicos de 1 a 3 onzas por pie cuadrado.
- **Máscara de Soldadura:** Capa protectora que cubre las pistas de cobre para prevenir la oxidación y cortocircuitos.
- **Serigrafía:** Capa final que contiene información sobre componentes y orientaciones [49]

2.1.13.3. Tipos de circuitos impresos

2.1.13.3.1. PCB de una cara

Estas placas tienen circuitos eléctricos a un solo lado (SSB, por sus siglas en inglés, Single Side Board), son de bajo costo, pero se encuentra limitado a la elaboración de circuitos eléctricos sencillos, ya que una de las mayores dificultades con este tipo de PCB es el cuidado de que las pistas no se crucen entre sí [47, p. 16].

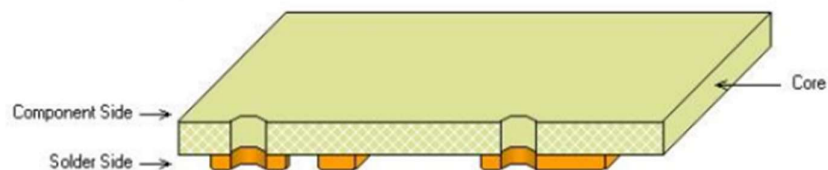


Figura 2. 19. PCB de una sola cara, [47, p. 17]

2.1.13.3.2. Control secuencial (Built Up)

La secuencia Built-Up (SBU, o sólo Built up) se utilizan para placas de alto rendimiento que requieren densidades más altas o cambios de tamaño de geometría drásticos. En SBU cada capa se procesa por separado. Las vías, llamadas micro vías (observar la figura la figura 2-4 donde se muestran los tipos de vías que se utilizan en esta tecnología), pueden formarse mediante foto procesos, grabado o perforación láser [50, pp. 641–661]

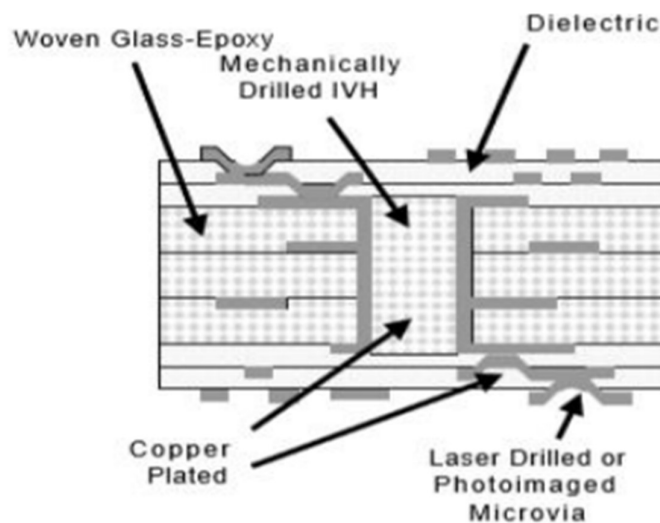


Figura 2. 20. PCB fabricada Por Built up, [49]

2.1.13.4. Aplicaciones de los circuitos impresos

Las aplicaciones dentro del campo de la ingeniería están distribuidas en varias áreas donde la relevancia de los circuitos impresos es esencial para las nuevas tecnologías las cuales se están actualizando cada día.

Las áreas más relevantes donde las PCBs son utilizadas son las siguientes:

- **Electrónica de Consumo:** Smartphones, computadoras, televisores y electrodomésticos.

- **Automoción:** Sistemas de control electrónico, sistemas de entretenimiento y sensores.
- **Medicina:** Dispositivos médicos como monitores de ritmo cardíaco y equipos de diagnóstico.
- **Aeronáutica y Espacio:** Sistemas de control y comunicación en aviones y satélites.
- **Industria:** Controladores de maquinaria, sistemas de automatización y sensores industriales

2.1.13.5. Ventajas y desventajas de las PCBs

Ventajas:

- **Compactos y Ligero:** Permiten la miniaturización de dispositivos electrónicos.
- **Fiabilidad y Durabilidad:** Menor riesgo de conexiones sueltas o fallos.
- **Facilidad de Mantenimiento:** Facilitan la localización de fallos y reparaciones.
- **Automatización de la Producción:** Los PCB son fáciles de producir en masa mediante procesos automatizados [51].

Desventajas:

- **Costo Inicial Elevado:** Los costos de diseño y prototipado pueden ser altos.
- **Modificaciones Dificultosas:** Una vez fabricados, los cambios son complicados y costosos.
- **Fragilidad:** Los PCB pueden ser frágiles y susceptibles a daños físicos.
- **Impacto Ambiental:** La fabricación de PCB involucra el uso de productos químicos que pueden ser dañinos para el medio ambiente si no se gestionan adecuadamente [51].

2.1.14. Estudio de mercado de impresoras 3D para tintas conductivas

El estudio de mercado de las impresoras 3D para tintas conductivas está enfocado en la competencia características y aplicación dentro de la industria. A continuación, se detallará un análisis de mercado para el desarrollo de este trabajo investigativo.

2.1.14.1. Definición de mercado

Por el momento el mercado de impresoras 3D para tintas conductivas está centrado y basado en la fabricación de circuitos electrónicos impresos, particularmente para aplicaciones que requieren flexibilidad, como wearables, dispositivos IoT, y electrónica flexible.

2.1.14.2. Análisis de la competitividad

- PCBs flexibles: Utilizadas en dispositivos electrónicos que requieren flexibilidad, durabilidad y ligereza.
- Sensores impresos: Tintas conductivas aplicadas para la creación de sensores de baja potencia.
- Antenas RFID: Fabricación rápida y personalizada de antenas para identificación por radiofrecuencia.
- Electrónica de consumo: Impresión directa de circuitos en superficies no convencionales.

2.1.14.3. Análisis de la demanda

2.1.14.3.1. Segmentación del mercado:

- Industria electrónica: Buscan e innovan métodos rápidos y personalizables para la creación de PCBs.
- Investigación y desarrollo (I+D): Universidades y centros de investigación requieren impresoras para prototipado rápido de circuitos.
- Pequeñas y medianas empresas (PYMES): Empresas que necesitan soluciones de bajo costo para producción de lotes pequeños de electrónica flexible.

2.1.14.3.2. Factores de crecimiento:

- Miniaturización de dispositivos electrónicos: Incrementa la necesidad de PCBs flexibles y personalizables.
- Avances en materiales conductivos: Mejora eficazmente el rendimiento de las tintas conductivas para aplicaciones industriales.
- Aumento del interés en dispositivos wearables y IoT: Impulsa la demanda de métodos de fabricación versátiles y adaptables.

2.1.14.4. Análisis de competencia

2.1.14.4.1. Principales actores en el mercado:

- Optomec: Con su tecnología de Aerosol Jet Printing, permite la impresión de circuitos electrónicos con alta precisión.
- Voltera: Es un fabricante de impresoras 3D especialmente en prototipos de PCBs para la creación rápida de circuitos, pero en pequeños volúmenes.
- Nano Dimensión: Con su impresora DragonFly, ofrece soluciones avanzadas para la fabricación de PCBs multicapa con capacidades para tintas conductivas.

2.1.14.4.2. Comparación de tecnologías:

- Inyección de tinta vs. Extrusión: La inyección de tinta es adecuada para alta resolución en capas finas, mientras que la extrusión permite la impresión de tintas más viscosas y capas más gruesas.
- Impresión con aerosoles vs. Filamento fundido: Los aerosoles permiten mayor control sobre la aplicación de materiales, mientras que el filamento fundido es más simple y económico, pero menos preciso.

2.1.14.5. Desafíos de mercado

Costos de materiales:

- Las tintas conductivas, especialmente aquellas basadas en nanopartículas pueden ser costosas, lo que podría limitar su adopción en ciertos sectores.

Barreras tecnológicas:

- Debido a la necesidad de mejorar la adhesión y la durabilidad de las tintas conductivas en diferentes sustratos flexibles se considera como un desafío técnico.

Regulaciones y estándares:

- Las impresoras 3D para tintas conductivas deben cumplir con estándares de seguridad y mucha calidad, especialmente para aplicaciones aeroespacial y médica.

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se tomó los aspectos más importantes mencionados anteriormente, de los cuales se ha escogido las siguientes impresoras que resaltan dentro del mercado.

2.1.14.6. Impresora Voltera V1-PCB

Esta impresora es ideal para empezar a imprimir placas de circuitos en 3D, la Voltera V1 es una excelente impresora de nivel de entrada para hacerlo. Tiene un volumen de construcción respetable, y es compatible con múltiples paquetes de software de diseño. Es una de las impresoras 3D de PCB más baratas del mercado [52].



Figura 2. 21. Impresora Voltea V1. [52].

Tabla 2. 2. Especificaciones técnicas de la impresora Voltera

Especificaciones técnicas		
Impresora	V-1	Nova
Servicio	Prototipado de PCB Conjunto de PCB Aprendizaje práctico	Electrónica impresa R&D Investigación de materiales

		funcionales Prototipado electrónico elástico flexible
Tecnología de dispensación	Escritura directa de tinta (DIW)	Escritura directa de tinta (DIW)
Control de presión	Bucle abierto	Lazo cerrado
Control de temperatura del material	---	Hasta 40°C
Ancho de traza mínimo	0,2 mm	0,1 mm
Área de impresión	128 mm x 116 mm x 3 mm	220 mm x 300 mm x 40 mm
Espesor del sustrato	1-3 mm	Hasta 30 mm
Costo	\$5.200	\$5.500

2.1.14.7. Squink by Bot Factory

Con un precio de 3.199 dólares, Squink es un paso adelante para aquellos que buscan imprimir placas de circuito más grandes y complejas. Dispone de 3 boquillas: una para imprimir, otra para pegar o aplicar la soldadura y otra para recoger y colocar.

Además, Bot Factory está trabajando en el desarrollo de la capacidad de insertar automáticamente los componentes eléctricos durante el proceso de impresión, lo que aceleraría notablemente el proceso general [52].

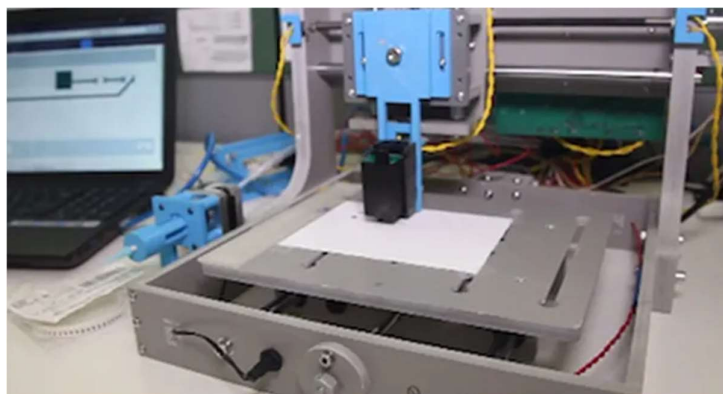


Figura 2. 22. Impresora Squink. [52].

Tabla 2. 3. Especificaciones técnicas de la impresora Squink

Especificaciones Técnicas			
MODELOS	SV2 – Iniciación	SV – 2 Mejorado	SV – 2 Profesional
Capacidad de Impresión			

Tecnología de Impresión	Inyección Térmica de Tinta	Inyección Térmica de Tinta	Inyección Térmica de Tinta
Número de Inyectores de Tinta	300	300	300
Tipos de Tinta (método de curado)	Conductiva (calor), Aislante (UV)	Conductiva (calor), Aislante (UV)	Conductiva (calor), Aislante (UV)
Ancho Mín. de Pista	8 mil [200 micrones]	8 mil [200 micrones]	8 mil [200 micrones]
Despeje Mínimo	16 mil [400 micrones]	12 mil [300 micrones]	8 mil [200 micrones]
Paso Mín. de Pines	24 mil [600 micrones]	20 mil [500 micrones]	16 mil [400 micrones]
Dimensión Mín. Vía	Diámetro: 25 mil [600 micrones]	Diámetro: 15 mil [400 micrones]	Diámetro: 15 mil [400 micrones]
Área Máxima Imprimible	4.6" x 5.5" [117 x 140mm] [X/Y]	4.6" x 5.5" [117 x 140mm] [X/Y]	4.6" x 5.5" [117 x 140mm] [X/Y]
Capacidad de Dispensación			
Tecnología de Pasta	Extrusión de Jeringa	Extrusión de Jeringa	Extrusión de Jeringa
Tipos de Pasta	Epoxi Conductiva y Pasta de Soldadura	Epoxi Conductiva y Pasta de Soldadura	Epoxi Conductiva y Pasta de Soldadura
Tamaño Mín. de Bote de Extrusión	8 mil [200 micrones]	8 mil [200 micrones]	8 mil [200 micrones]
Método de Curado	Calor	Calor	Calor
Especificaciones Generales			
Tamaño Máx. de Sustrato	6" x 6" [152x152 mm] [X/Y]	6" x 6" [152x152 mm] [X/Y]	6" x 6" [152x152 mm] [X/Y]
Tamaño Máx. de Circuito	4,9" x 4,8" [125 x 122 mm] [X/Y]	4,9" x 4,8" [125 x 122 mm] [X/Y]	4,9" x 4,8" [125 x 122 mm] [X/Y]
Peso	Menos de 11 lb [5 kg] por cabezal	Menos de 11 lb [5 kg] por cabezal	Menos de 11 lb [5 kg] por cabezal
Repetibilidad de Posicionamiento XYZ	±0,8 mil [20 micrones]	±0,8 mil [20 micrones]	±0,8 mil [20 micrones]
Resolución de Posicionamiento XYZ	0,4 mil [10 micrones]	0,4 mil [10 micrones]	0,4 mil [10 micrones]
Costo	\$ 2.000,00	\$ 3.000,00	\$ 3.200,00

2.1.14.8. Impresora DragonFly 2020 PCB 3D de Nano Dimensions

La primera impresora PCB 3D de escritorio, la Nano Dimensions DragonFly 2020 sigue siendo la mejor del mercado. Tiene uno de los mayores volúmenes de construcción de

cualquier impresora PCB 3D en el mercado, y soporta la mayoría de las pinturas y tintas conductoras para trazas huecas. Sin embargo, todo esto no es barato, ya que los precios comienzan en \$50,000, por lo que es mejor empezar a ahorrar ahora [52].



Figura 2. 23. Impresora Dragonfly. [52].
 Tabla 2. 4. Especificaciones técnicas de la impresora Dragonfly.

Especificaciones Técnicas	
Tecnología de Deposición	Impresión de inyección de tinta Piezo Drop on Demand
Número de Cabezas de Impresión	2 (una por material)
Espacio/Ancho de Impresión	100/125 Micrones (4/5 mil)
Volumen de Construcción XYZ	20 cm x 20 cm x 0.3 cm (8” x 8” x 1/8”)
Software	Propietario
Dimensiones	140 cm x 80 cm x 180 cm (55” x 31.5” x 71”) (LxAnxAI)
Peso	500 kg (1100 lbs)
Fuente de Alimentación	200-240V AC; 50-60 Hz; 20A
Precisión	0.001 mm (1 micrón)
Placa de Construcción	20 cm x 20 cm (8” x 8”)
Sistema Operativo	Windows, Mac, Linux
Compatibilidad de Materiales	Tintas conductoras y dieléctricas de Nano Dimension
Conectividad de Red	Ethernet TCP/IP 10/100/1000, Wi-Fi
Compatibilidad de Archivos	Gerber (ODB++; IPC 2581 en proceso)
Cumplimiento Normativo	CE/FCC/RoHS/UL (en proceso)
Ambiente Operacional	Temp: 17°C-26°C (66°F-79°F); Humedad Relativa: 28-75%
Costo	\$50.000

CAPITULO III. METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA

La metodología aplicada en el presente trabajo investigativo se basa en un estudio cualitativo, ya que se va a evaluar la calidad de impresión y el funcionamiento del proceso de impresión con tinta conductiva. Con esta antesala, para este capítulo se detallará los procedimientos y procesos estratégicos con el fin de llegar a cumplir el objetivo principal de este trabajo de titulación de una manera precisa y ordenada. Esta metodología tiene que estar estructurada desde la hipótesis, problemática, tipo de investigación objetivos específicos, con la aplicación de recursos y técnicas específicas, para el diseño e implementación de la impresora 3D de tintas conductivas para la creación PCBs flexibles.

La cronología para la aplicación de este tipo de metodología es importante resaltar ya que esta permitirá llegar a alcanzar los objetivos planteados y tener los resultados esperados dentro de las limitaciones de este trabajo de titulación. La primera parte se centrará en el tipo de investigación, la formulación de la hipótesis planteamiento del problema y las categorías fundamentales. En la segunda parte, se enfocará en la descripción de las variables dependientes e independientes, población y muestra, procedimientos y análisis. Por último, describiremos la metodología de diseño y de implementación de la impresora 3D para las tintas conductivas, la cual se construirá el prototipo propuesto, además el cronograma de actividades y el análisis de costos del proyecto.

Tipo de investigación

La investigación aplicada en este trabajo de titulación es de tipo experimental ya que nos ayuda a manipular las variables, es decir poder manipular los datos de una variable independiente y se observa el efecto que provoca en una variable dependiente. Este tipo de investigación es muy aplicada en el prototipo de máquinas y equipos ya que permite evaluar la eficiencia y calidad de los prototipos de forma experimental y gracias a ellos se puede realizar mejoras continuas y verificar los resultados de forma práctica, siempre y cuando se realice procesos centralizados en cumplir las condiciones previamente establecidas.

3.1.1. Formulación de la hipótesis

En base a la revisión bibliográfica de las fuentes mencionadas en esta investigación sobre el sistema de extrusión directa en una impresora 3D para tintas conductivas se ha planteado la siguiente hipótesis:

“La funcionalidad y calidad de la impresión de tintas conductivas para la creación de PCBs flexibles, con una impresora 3D cartesiana modificada, la cual tiene mayores ventajas en comparación de otros métodos tradicionales de creación de PCBs”

3.1.2. Formulación de la problemática

La formulación de la problemática se trata de describir el enfoque por lo cual se quiere realizar este trabajo de titulación, donde centralizamos con preguntas fundamentales de donde, como, y para que se necesita implementar el tema propuesto en este trabajo de titulación. Además, se detalla las causas, consecuencias y aportes de la importancia de este tema.

Tabla 3. 1. Formulación de la problemática

PROBLEMA: Fabricacion de PCBs tradiconales con pocas aplicaciones Proceso de fabricacion de PCBs es poco eficiente	EN DONDE: Se va a realizar en una impresora 3D modificada En materiales base flexibles	COMO: Modificando una impresora 3D Con la ayuda de tintas conductivas Diseñando el extrusor de tintas conductivas PARA QUE: Mejorar la calidad de las PCBs Nuevas aplicaciones de PCBs flexibles
CAUSAS: Impresion de PCBs con pocas aplicaciones en diferentes areas en la industria. Tiempo de fabricación de PCBs convencionales muy alto Poca o nula la flexibilidad de las PCBs convencionales Altos costos en los procesos de fabricacion de PBCs convencionales CONSECUENCIAS: Poco estudio de nuevas aplicaciones en las impresiones de PCBs flexibles Poco estudio de nuevas aplicaciones en las impresiones de PCBs flexibles	APORTES: Mejoramiento de los procesos de fabricacion de PCBs Aplicaciones en diferentes campos de las PCBs Flexibles Costos de fabricación bajos Procesos de fabricación más rapidos Consumo energetico de fabricación más bajos Impresión en diferentes tipos de material base	

Esta figura describe las principales ideas y su importancia de este trabajo de titulación donde se resalta la problemática y los aportes que se podría generar al desarrollar este tema de investigación. Este es un primer enfoque a lo que se quiere llegar, dejar una reseña para futuras investigaciones sobre este tema, para el desarrollo de la ciencia.

3.1.3. Categorías fundamentales

Las categorías fundamentales macros básicos referentes al tema central propuesto, donde se organizan y estructuran para mejor comprensión de la idea general, donde están clasificados por el grado de importancia y los resultados que se espera encontrar dentro de la investigación. Esto permite el desarrollo científico, para formular en base a las ideas focalizadas, nuevos modelos y la realización de experimentos.

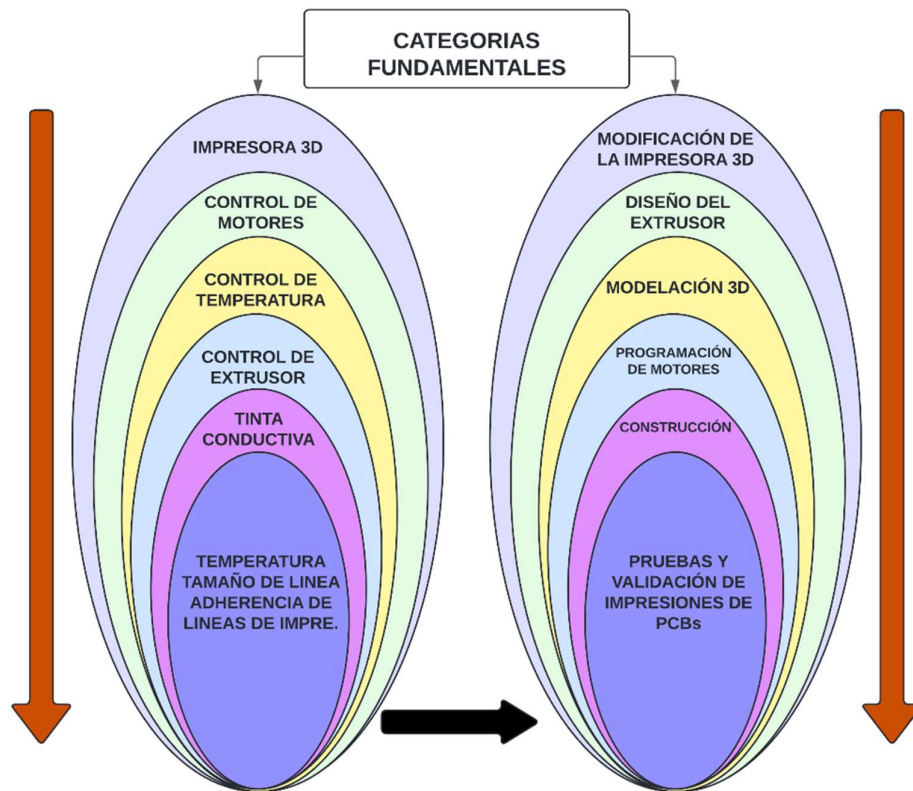


Figura 3. 1. Diagrama de categorías fundamentales. (Autor)

Se ha clasificado en dos bloques las ideas principales para la realización de este tema de investigación, los cuales están separadas por las variables que se puede controlar y los

resultados que quieren obtener dentro de este trabajo de investigación. En el primer bloque se encuentran las ideas que se puede modificar y variar desde la más grande que es la impresora 3D, hasta la más interior que son las variables de velocidad, tamaño de línea y la adherencia. En el segundo bloque se encuentran las ideas principales para llegar al objetivo fundamental de este trabajo de titulación, desde las modificaciones de la impresora 3D hasta las pruebas y validación de esta.

Operacionalización de las variables

3.1.4. Variables independientes

La variable independiente es la variable que el investigador manipula o controla directamente para observar su efecto en el resultado final. Es la causa que influye en la variable dependiente.

- Temperatura de impresión
- Tamaño de línea de impresión

Tabla 3. 2. Variables independientes

<i>CONCEPTUALIZACION</i>	<i>CATEGORIAS</i>	<i>INDICADORES</i>	<i>INDICE</i>	<i>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS</i>
TEMPERATURA DE IMPRESIÓN	Condicionamientos para la impresión de tintas conductivas	Temperatura de la cama de la impresora 3D	5-15 °C	Sensor de temperatura de la cama de la impresora 3D. Pirómetro
TAMAÑO DE LINEA DE IMPRESIÓN		Tamaño de la boquilla del extrusor para la impresión	0,2-1mm	Medición con el calibrador del tamaño de la línea de impresión Precisión de la impresión medido con calibrador

3.1.5. Variable dependiente

La variable dependiente es la que se mide o se observa para determinar el efecto causado por la variable independiente. Es el resultado causado por la manipulación de la variable independiente.

- Validación de la impresión de PCBs flexibles

Tabla 3. 3. Variables dependientes

<i>CONCEPTUALIZACION</i>	<i>CATEGORIAS</i>	<i>INDICADORES</i>	<i>INDICE</i>	<i>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS</i>
VALIDACION DE IMPRESIONES DE PCBs FLEXIBLES	Pruebas de resistividad por longitud y grosor de la tinta conductiva	Resistividad por longitud en cada centímetro de la tinta conductiva	0,5 -100 mm	Utilización del multímetro para medir la resistividad
		Resistividad en el grosor de la tinta conductiva	1 - 4 mm	Utilización del multímetro para medir la resistividad
	Prueba de secado la tinta conductiva	Tiempo de secado	10 - 20 min	Medición de tiempo con cronometro

Población de estudio y tamaño de muestra

3.1.6. Población

La población estará compuesta por los datos obtenidos, respecto a variables como resistividad y duración, estos mismos serán obtenidos mediante técnicas e instrumentos necesarios durante la investigación

3.1.7. Muestra

La muestra se hallará con procedimientos aleatorios de la población definida anteriormente.

Procedimiento y análisis

En este trabajo investigativo para la creación de PCBs flexibles en una impresora 3D modificada para tintas conductivas, se realizará el siguiente procedimiento en el proceso de diseño e implementación de esta. El procedimiento está enfocado en dos grandes diseños que son el hardware y software, la primera sección que será de hardware, se ejecutará la modificación de las partes de interés para que la impresora 3D funcione para la tinta conductiva, esto con lleva al diseño del extrusor, teniendo en cuenta que sea funcional y que cumpla los requisitos y objetivos de este trabajo de titulación. La segunda sección ejecuta la modificación del software para controlar las variables de interés, las cuales determinaran la calidad y eficiencia de la impresión. Por último, el análisis de los resultados se llevará acabo de forma cualitativa, la cual corresponde al evaluar la calidad de la impresión, y la funcionalidad de la placa PCB realizada, se hará pruebas tanto de dimensiones, prueba de precisión, prueba de repetibilidad, prueba de material y pruebas de funcionamiento. Al final se evaluará estos resultados con valores estándares en el mercado o en trabajos científicos sobre este tema expuesto.

3.1.8. Procedimiento de hardware

1. Analizar el estado de arte sobre impresoras 3D para tintas conductivas para la fabricación de PCB.
2. Realizar la recolección de información, 3 tipos de impresoras en el mercado para verificar las ventajas y desventajas, diseño, operabilidad y costos.
3. Escoger el tipo de impresora que nos permita realizar las modificaciones necesarias para lograr el objetivo principal.
4. Analizar las modificaciones en la impresora para que cumpla con los requisitos y condiciones anteriormente mencionados.
5. Seleccionar el tipo de tinta conductiva.

6. Diseñar el extrusor para tinta conductiva, teniendo en cuenta la facilidad de extrusión y la ergonomía para el usuario.
7. Realizar el modelo de 3D en un software CAD de las partes diseñadas.
8. Verificar las dimensiones de las partes diseñadas para obtener los planos constructivos.
9. Imprimir las partes modeladas en una impresora 3D, ya que nos facilitará la construcción de estas, y minimizará los tiempos y costos de fabricación.
10. Ensamblar todas las partes de acuerdo con el diseño realizado para en la impresora modificada.
11. Verificación de motores, drives, placa madre, fuente, todos los mecanismos de la impresora 3D, de la misma forma el extrusor diseñado.

3.1.9. Procedimiento de software

1. Análisis del diseño electrónico de la impresora 3D
2. Verificación del software de la impresora
3. Programación de los movimientos de los motores
4. Programación de la temperatura de la cama de la impresora
5. Verificación de parámetros
6. Subir la programación a la placa madre de la impresora

3.1.10. Análisis

El análisis de resultados está enfocado en la funcionalidad de la impresora 3D de tintas conductivas y a la calidad de las impresiones para la generación de PCBs flexibles por lo tanto se va a realizar las siguientes pruebas:

1. Prueba de dimensiones
2. Prueba de precisión
3. Prueba de repetibilidad
4. Prueba de material
5. Prueba de funcionalidad

Cronograma de actividades

Para el cronograma de actividades se ha tomado en cuenta lo descrito anteriormente en los procedimientos y análisis, ya que este es el punto de partida para la metodología de diseño e implementación del prototipo de la impresora 3D para tintas conductivas. En el cronograma se detallará las actividades puntuales de este trabajo de investigación y de la misma forma los tiempos para su ejecución.

Tabla 3. 4. Cronogramas de actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE EXTRUSOR DIRECTA EN UNA IMPRESORA 3D PARA TINTAS CONDUCTIVAS																																									
ACTIVIDAD	TIEMPO O (DÍAS)	SEMANA 1 -2 - MES DE OCTUBRE					SEMANA 3-4 - MES DE OCTUBRE					SEMANA 1-2 - MES DE NOVIEMBRE					SEMANA 3-4 - MES DE NOVIEMBRE					SEMANA 1-2 - MES DE DICIEMBRE					SEMANA 3-4 - MES DE DICIEMBRE					SEMANA 1-2 - MES DE ENERO					SEMANA 3-4 - MES DE ENERO				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
REVISION BIBLIOGRAFICA Y ESTADO DE ARTE SOBRE EL TEMA DE INVESTIGACION	8																																								
ESTUDIO DE VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTE, FORMULACION DE LA PROBLEMÁTICA CATEGORIAS FUNDAMENTALES	2																																								
METODOLOGIA DE DISEÑO DE LA IMPRESORA 3D PARA TINTAS CONDUCTIVAS	3																																								
DISEÑO DE EXTRUSOR DE LA IMPRESORA	5																																								
PROGRAMACION DE LA PLACA RUMBA PLUS	2																																								
CONTROL DE VELOCIDADES DE LA IMPRESORA PARA TINTAS CONDUCTIVAS	1																																								
CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO DE IMPRESORA DE TINTAS CONDUCTIVAS	8																																								
CALIBRACION DE MOTORES Y SENSORES DE LA IMPRESORA 3D	2																																								
PRUEBAS DE IMPRESIÓN CON LAS TINTAS CONDUCTIVAS	5																																								
REALIZACION DE PCBs	2																																								
COMPROBACIONES DE FUNCIONAMIENTO DE LAS PCBs	1																																								
MANUAL DE USUARIO DE LA IMPRESORA DE TINTAS CONDUCTIVAS	1																																								

Metodología de diseño

La metodología de diseño se basa en los pasos o el procedimiento para llegar a cumplir un objetivo de forma ordenada y estructurada, describiendo el proceso para llegar a este fin. Dentro del desarrollo de este trabajo de investigación nos centraremos en diseñar e implementar la impresora 3D con las modificaciones necesarias para poder imprimir en tinta conductiva y así realizar PCBs flexibles, donde se determinará la calidad y funcionalidad de esta. Para ello se seguirá un algoritmo o pasos que previamente se determinó en la metodología específicamente en el procedimiento y análisis de resultados. Con esta antesala la propuesta de diseño es la siguiente.

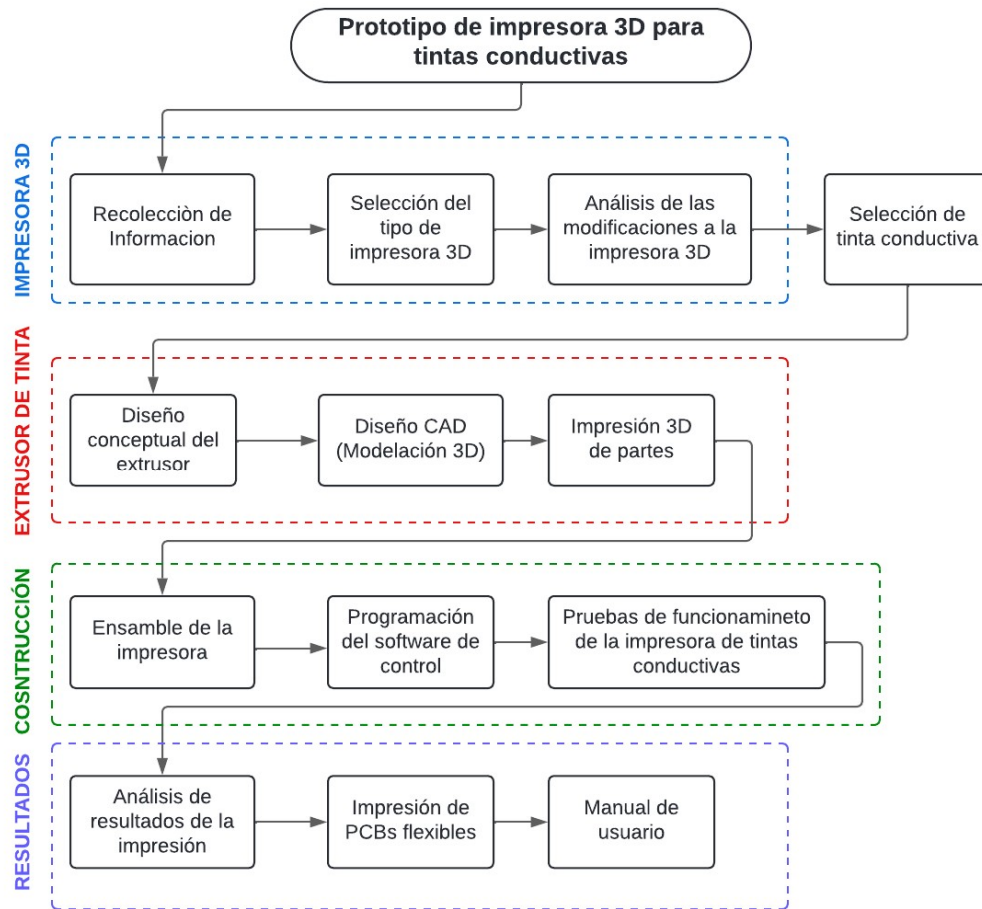


Figura 3. 2. Diagrama de flujo de la metodología de implementación. (Autor)

En el diagrama de flujo de la Fig.3-2. se describe el proceso para el diseño e implementación de este trabajo donde se resalta cuatro secciones principales las cuales son:

Impresora 3D: En esta sección se analiza las impresoras 3D más importantes que existen en el mercado, sus características, funciones y costos, esto a través de la recolección de información, esto para determinar características fundamentales para este tema de investigación. De la misma forma ya teniendo en cuenta estas características, se selecciona una impresora que se pueda realizar las modificaciones para este proyecto. Y luego se analiza las modificaciones pertinentes para que poder imprimir con tinta conductiva. Por último, se realiza la selección de la tinta conductiva.

Extrusor de tinta: en esta sección se realizará el diseño conceptual, los cálculos respectivos para tener un buen control de la extrusión de la tinta conductiva. Además, se modelará la impresora con las modificaciones establecidas, para luego imprimir en PLA las partes generadas.

Construcción: Se realizará el ensamble de toda la impresora con las partes generadas tanto del extrusor como las modificaciones de la misma impresora. Se verificará las dimensiones de cada una de las partes y se realiza una prueba de funcionamiento de la impresora. Se programa las velocidades de avance los motores y del motor del extrusor, y se hace la prueba de funcionamiento del extrusor.

Resultados: Los resultados van a estar enfocados en la operabilidad de la impresora y la calidad de la impresión, en estos dos casos se analizará cualitativamente la eficacia y eficiencia de los mismo, para ellos se llevará acabo algunas pruebas descritas anteriormente. Por último, se realizará un manual de usuario de la impresora para tintas conductivas.

Recolección de información

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se ha desarrollado una investigación de los factores más importantes que se toman en cuenta para la impresión en 3D y se los ha comparado con las condiciones, características y detalles para la impresión 3D de tintas conductivas, con esto se ha determinado los aspectos de relevancia para tener en cuenta en la selección de una impresora del mercado que nos ayude en la implementación de este trabajo. De los puntos más importantes se describe en la tabla 3-8, la cual se verifica información para tener en cuenta en la selección.

3.1.11. Información de mercado

Tabla 3. 5. Tabla de resultados.

Requisitos del cliente		
Factor	Importancia	Especificación
<i>Alta resolución de impresión</i>	Alto	Este aspecto es prioritario, ya que de esto depende la calidad de la impresión.
<i>Compatibilidad con diferentes sustratos flexibles</i>	Medio	Este aspecto garantiza que el equipo se adapte a diversas aplicaciones
<i>Uniformidad y consistencia de la tinta</i>	Alto	Calidad y uniformidad del flujo para aplicaciones de tinta conductiva
Características técnicas		
<i>Sistema de extrusión de alta presión</i>	Alto	Alta resolución en la impresión.
<i>Control de temperatura</i>	Alto	Garantizar la adherencia de la tinta
<i>Eficiencia energética</i>	Alto	Un consumo sostenible y bajo costo de operación.

Este estudio demuestra las características técnicas y los requerimientos que se necesitan para la implementación de este trabajo investigativo para la construcción de la impresora 3D cartesiana para tintas conductivas, con estos resultados se puede discernir de mejor forma el proceso para llegar al objetivo principal, y la misma forma definir las fortalezas y debilidades que va a tener el prototipo el cual se va a diseñar. Además, nos brinda las características de las impresoras del mercado y sus costos para tener una referencia en precios vs beneficios.

Gracias a este estudio se puede focalizar los requerimientos más importantes, y realizar una evaluación de mercado para generar un producto acorde a las necesidades expuestas, teniendo en cuenta las limitaciones de costos y tiempo en realizar este prototipo.

Selección de impresora 3D

Después de un trabajo investigativo se ha determinado que para la selección de la impresora 3D cartesiana para tintas conductivas, debe tener características previas brindadas en la recolección de información sobre impresoras del mercado, las cuales detallaremos a continuación:

3.1.12. Criterios de selección

- **Estructura y diseño.** En este aspecto se necesita que la impresora que se va a modificar sea de muy buena presión y sea de mínima vibración durante la impresión. También tiene que estar fabricada en aluminio ya que se desea modificar y no debe presentar compleciones en el momento del ensamble o montaje de piezas.
- **Dimensión de trabajo.** El área de impresión es un aspecto importante ya que no puede ser demasiado pequeña y tampoco demasiado grande, este aspecto está relacionado en los costos y presupuestos dentro este trabajo de titulación. Para la impresión de PCBs el área recomendable es de (300x300) mm como máximo, ya que las tarjetas o las aplicaciones de PCBs no poseen dimensiones robustas.
- **Extrusor especial para tintas conductivas.** En este caso se va a realizar un prototipo de extrusor el cual nos permita realizar una buena impresión con tinta conductiva en el sustrato que en este caso del tipo flexible. Este extrusor debe ser diseño de tal forma que se pueda manejar diferentes densidades de tinta, además, no tenga inconvenientes en el momento de impresión, que sus boquillas puedan ser intercambiables para diferentes tipos de grosores de impresión.
- **Sistema cartesiano.** El sistema de movimiento de la impresión de la impresora para tintas conductivas debe de ser tipo cartesiana ya que se necesita que el movimiento sea preciso para asegurar uniformidad con los trazos.
- **Interfaz del software.** Para las modificaciones que se necesita realizar a la impresora el software debe ser compatible con las variaciones que se necesitan

realizar en este, con una pantalla donde nos indique la velocidad, temperatura y control del tiempo de impresión.

- **Superficie de impresión.** La superficie de la cama de la impresora debe ser estable y de fácil adaptación para diferentes sustratos los cuales se deben fijar de manera segura, los sustratos que se necesitan que se adapten son: PET, papel.
- **Altura ajustable del cabezal.** El sistema de nivelación debe ser ajustable para tener buena precisión en el momento de la impresión, esto evitará contacto no deseado en el sustrato, además esto nos permitirá generar uniformidad en el flujo y en la impresión
- **Bajo consumo energético.** La fuente de poder debe de ser de bajo consumo para reducir costo energéticos y costos de operación, con esto aumentaremos la eficiencia del prototipo.

3.1.13. Impresoras 3D que permiten ser modificables

Para la selección de la impresora 3D, para la adaptación a este nuevo prototipo de impresión 3D de tintas conductivas se ha seleccionado entre estas opciones, las cuales se ha guiado con los aspectos anteriormente descritos. En la selección de la mejor opción se ha tomado en cuenta los datos técnicos de cada una de estas, para verificar que sea de fácil la modificación a una impresora 3D de tintas conductivas.

3.1.13.1. Impresora Ender 3 S1

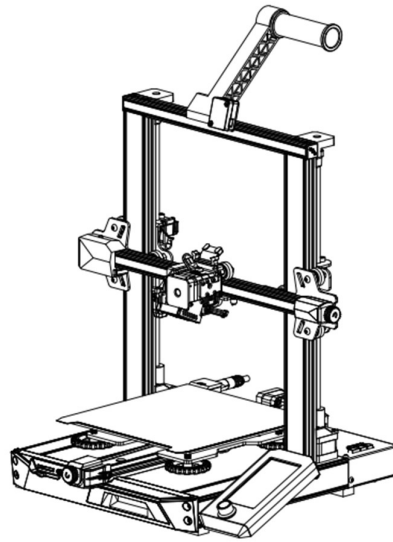


Figura 3. 3. Impresora Ender 3 S1. [53]

Tabla 3. 6. Datos técnicos de la impresora Ender 3 S1.

Especificación	Detalle
<i>Tecnología de impresión</i>	FDM (Modelado por Deposición Fundida)
<i>Volumen de impresión</i>	220 x 220 x 270 mm
<i>Materiales compatibles</i>	PLA, ABS, PETG, TPU, WOOD
<i>Diámetro del filamento</i>	1,75 mm
<i>Resolución de capa</i>	0,10 - 0,30 mm
<i>Velocidad máxima de impresión</i>	150 mm/s
<i>Precisión de impresión</i>	±0,1 mm
<i>Temperatura máxima del extrusor</i>	260°C
<i>Temperatura máxima de la cama</i>	100°C

La Ender 3 S1 es una impresora de primera generación que tiene muy buenas características dentro de los requisitos que se necesita para implementación de la impresión 3D de tintas conductivas. Esta impresora está vigente desde el año 2018 como una impresora FDM asequible y de código abierto. Tiene un diseño simple y de fácil ensamblaje que se puede modificar para otros usos.

3.1.13.1.1. Ventajas de la Ender 3 S1

- Fácil desmontaje y personalización del sistema de extrusión original.
- Espacio suficiente en el carro del eje X para montar un sistema de jeringa o depósito.
- Costo: Relativamente accesible en comparación con otras impresoras.

3.1.13.2. Impresora 3D Prusa i3

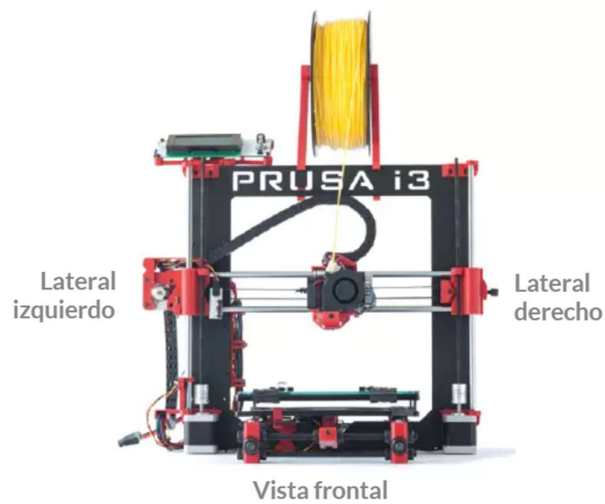


Figura 3. 4. Impresora 3D. [54]

Tabla 3. 7. Datos técnicos de la Prusa i3.

Característica	Especificación
<i>Volumen de impresión</i>	250 mm × 210 mm × 210 mm
<i>Altura de capa</i>	0.05 mm a 0.35 mm
<i>Diámetro de la boquilla</i>	0.4 mm (configuración estándar)
<i>Diámetro del filamento</i>	1.75 mm
<i>Materiales compatibles</i>	PLA, PETG, ASA, ABS, PC, CPE, PVA/BVOH, PVB, HIPS, PP, filamentos flexibles, etc.
<i>Temperatura máxima del extrusor</i>	300 °C
<i>Temperatura máxima de la cama caliente</i>	120 °C

<i>Superficie de impresión</i>	Placa de acero magnética extraíble con recubrimiento de PEI
<i>Velocidad máxima de desplazamiento</i>	Más de 200 mm/s

Esta impresora cuenta con sistema de alta precisión y un sistema de detección avanzada de fallos, ya que vamos a ocupar para la modificación, nos permite tener mejor manipulación de sus partes.

3.1.13.2.1. Ventajas de la Prusa i3

- Base magnética y plataforma flexible que permiten ajustes para circuitos de diferentes tamaños.
- Sistema de extrusión bien diseñado que se puede modificar para soportar materiales líquidos o pastosos.
- Firmware avanzado y permite realizar modificaciones o personalizaciones fácilmente para el control de extrusión directa.
- Costo: Más elevado, pero justificado por su precisión y confiabilidad.

3.1.13.3. Impresora Anet E10.

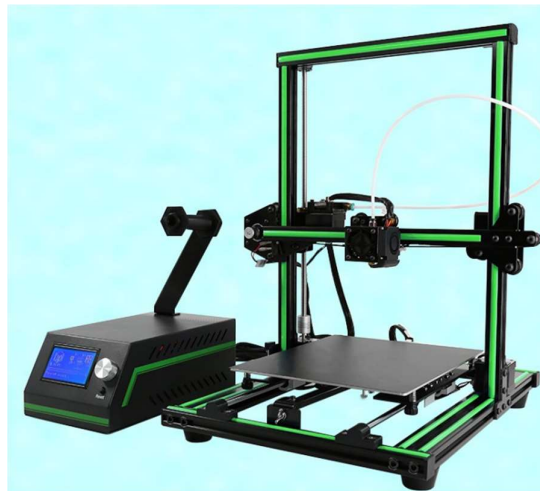


Figura 3. 5. Impresora Anet E10. [55]

Tabla 3. 8. Datos técnicos de Anet E10.

Característica	Especificación
----------------	----------------

<i>Tecnología de impresión</i>	FDM (Modelado por Deposición Fundida)
<i>Volumen de impresión</i>	220 mm × 270 mm × 300 mm
<i>Altura de capa</i>	0.1 mm a 0.4 mm
<i>Diámetro de la boquilla</i>	0.4 mm
<i>Diámetro del filamento</i>	1.75 mm
<i>Materiales compatibles</i>	PLA, ABS, TPU, cobre, madera, fibra de carbono, degradado de color, etc.
<i>Temperatura máxima del extrusor</i>	250 °C
<i>Temperatura máxima de la cama caliente</i>	100 °C
<i>Velocidad de impresión</i>	40 – 120 mm/s
<i>Precisión de posicionamiento</i>	Eje XY: 0.015 mm; Eje Z: 0.004 mm
<i>Pantalla</i>	LCD 12864 con control mediante perilla rotatoria
<i>Conectividad</i>	Tarjeta SD para impresión offline; compatible con software como Repetier Host, Cura, etc.

3.1.13.3.1. Ventajas de la impresora Anet E10

- Costo moderado y diseño robusto, soporta modificaciones.
- Estructura amplia para montar un sistema de extrusión directa.
- Buena capacidad de volumen de impresión para proyectos de circuitos grandes.

3.1.14. Comparativas de impresoras para la selección V

Tomando en cuenta todos los datos técnicos descritos, y con el enfoque que sea de ayuda en la modificación de la esta, para no tener complicación en la adaptación, y en cumplir el objetivo principal de este proyecto se ha tomado en cuenta estas tres impresoras que reúnen los requisitos técnicos para el fin de esta investigación.

Tabla 3. 9. Resumen para la selección de la impresora.

Característica	Anet E10	Creality Ender 3	Prusa i3 MK3S+
<i>Costo</i>	Bajo	Media	Alto

<i>Facilidad de adaptación</i>	Alta	Alta	Muy alta
<i>Estructura</i>	Aluminio, robusta	Aluminio, robusta	Aluminio, diseño avanzado
<i>Volumen de impresión</i>	220 × 270 × 300 mm	220 × 220 × 250 mm	250 × 210 × 210 mm
<i>Precisión</i>	Media	Media	Alta
<i>Comunidad y soporte</i>	Moderada	Excelente	Excelente
<i>Firmware</i>	Abierto (Marlin)	Abierto (Marlin)	Abierto (Marlin)
<i>Rigidez del eje Z</i>	Alta	Media	Muy alta
<i>Compatibilidad con modificaciones</i>	Alta	Muy alta	Muy alta
<i>Facilidad de mantenimiento</i>	Media	Alta	Alta

Como conclusión en la selección del modelo de impresora que facilitará la implementación del sistema de extrusión directa en la impresora 3D cartesiana para tintas conductivas ha determinado al resultado de seleccionar la Impresora **Anet E10**, gracias las ventajas que nos proporciona en el momento de adaptar a las necesidades expuestas. Esta impresora reúne todos los criterios técnicos que se necesita en la implementación para el proyecto.

Descripción de la impresora Anet E10

Para implementación de esta impresora en el proceso de modificación de cumplir los objetivos de este trabajo hay que conocer las partes principales que conforman a esta. A continuación, se presenta la descripción de las partes principales de la Anet E10.

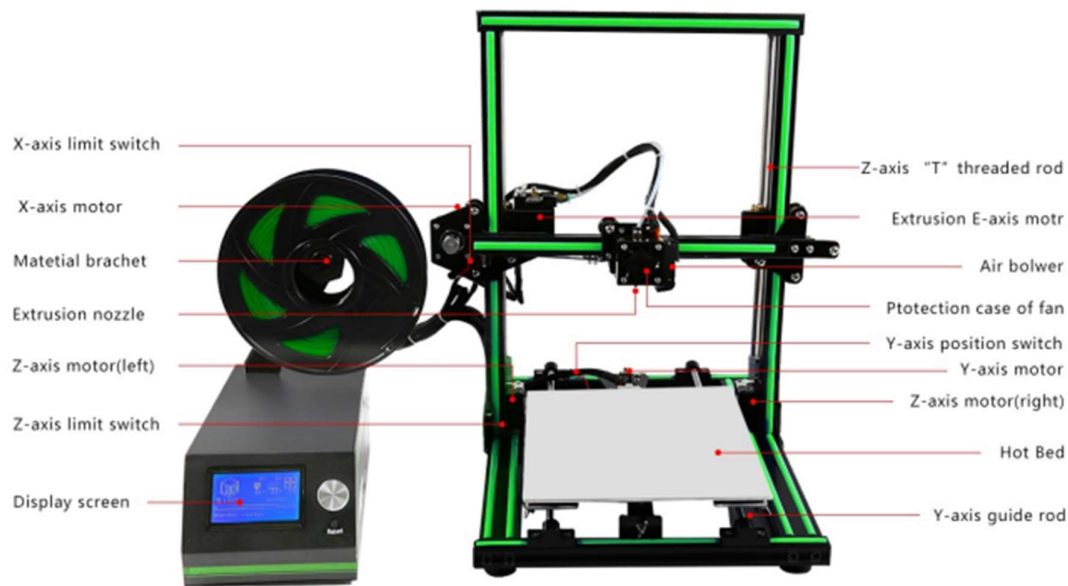


Figura 3. 6. Partes de la Anet E10. [55]

Análisis de las modificaciones de la impresora Anet E10

Para determinar el análisis de modificaciones que se va a realizar a la impresora Anet E10 es necesario conocer las partes que contiene esta impresora. Una de las partes principales es el sistema de extrusión el cual se va a modificar y diseñar el sistema de extrusión para tintas conductivas.

3.1.15. Modificación del sistema de extrusión

La impresora Anet E10 utiliza un extrusor de tipo Bowden, esto hace que el filamento sea transportado a través de un tubo hacia la boquilla para su deposición. Para realizar la implementación y la utilización de tintas conductivas, es fundamental y necesario adaptar la impresora para usar un sistema de extrusión directa, en el cual el motor del extrusor se posicione más cerca de la boquilla y no utilizar un tubo Bowden.

3.1.16. Actualización del firmware

El firmware de la Anet E10 necesita ajustes fundamentales para acomodar las nuevas configuraciones de hardware, de esta forma adaptar las características para el uso de tintas conductivas, como la velocidad de extrusión y temperaturas.

- **Modificar el firmware para adaptarse al nuevo extrusor:** El firmware deba ser reconfigurado para adaptar un extrusor directo, así permitiendo ajustar parámetros como velocidad de extrusión, reanudación del trabajo después de un error, temperaturas del hotend y cama de impresión, entre otros aspectos.

3.1.17. Modificación de la Superficie de Impresión

La superficie o cama de impresión de la **Anet E10** es fundamental para asegurar una excelente deposición de la tinta conductiva y estas se adhieran correctamente en el sustrato deseado. Dado que las características de las tintas conductivas poseen características y son más densas o pegajosas que un filamento, es indispensable una modificación en la cama de impresión.

- **Cambio de la superficie de impresión:** Usar una superficie más adecuada para la adhesión de la tinta conductiva, como una lámina de PEI de mayor calidad o incluso una superficie de vidrio para mayor adherencia y facilidad para retirar las piezas.

3.1.18. Componentes principales del sistema:

- Boquilla de extrusión especializada para tintas conductivas.
- Sistema de alimentación para el material de impresión (jeringas o depósitos).
- Modificaciones en el firmware para controlar la extrusión y los parámetros de impresión.
- Aislamiento eléctrico en las partes críticas del sistema.

Integración con la Anet E10:

- Sustitución o adaptación del extrusor original.
- Montaje del sistema de extrusión directa en el carro del eje X.
- Conexión del sistema al controlador de la impresora.
- Ajustes en la plataforma de impresión para evitar contaminaciones.

La impresora Anet E10 nos facilita el montaje para la adaptación que se requiere para la extrusión de tintas conductivas, los cambios de los componentes deben ser preciso para

obtener resultados favorables para este trabajo de implementación, en especial el sistema de extrusión, el control de velocidades y la superficie de impresión. Para garantizar que el prototipo sea aceptable se realizara pruebas de funcionamiento y un manual de usuario donde nos permitan la apropiada manipulación de la esta.

Selección de la tinta conductiva

Para la selección de la tinta conductiva adecuada para la aplicación en la impresora 3D, hay que considerar varios factores, los cuales depende del objetivo que necesita que la tinta trabaje. Básicamente se necesita una tinta que sirva para la creación de circuitos electrónicos que nos sirvan para aplicar en placas PBC, antenas, y electrónica básica. Esto depende mucho de los aspectos químicos y físicos que está conformada la tinta como, densidad, resistividad, temperatura de extrusión, adhesión en superficie. A continuación, se va a describir tintas conductivas que se encuentran en el mercado para verificar todas estas propiedades y poder escoger una que permite tener resultados favorables en este trabajo de titulación.

3.1.19. Tinta de Circuit Scribe Conductive Ink

Tabla 3. 10. Datos técnicos de la Circuit Scribe.

Características	Circuit Scribe Conductive Ink
<i>Tipo de tinta</i>	Tinta conductiva en forma líquida (pluma)
<i>Conductividad</i>	Alta conductividad (aproximadamente $10^3 - 10^6$ Ohms/sq)
<i>Temperatura de secado</i>	10-20 minutos (a temperatura ambiente)
<i>Aplicaciones</i>	Electrónica impresa, prototipos de circuitos, pruebas de conductividad
<i>Compatibilidad con materiales</i>	Papel, cartón, plástico, tela, madera
<i>Proceso de secado</i>	Secado al aire (no requiere calor)
<i>Capacidad de impresión</i>	Usada principalmente para prototipos y proyectos de baja escala
<i>Precio aproximado</i>	\$25 por pluma de 10 ml

3.1.20. Tinta Bare Conductive Paint

Tabla 3. 11. Datos técnicos de Bare Conductive.

Características	Bare Conductive Paint
<i>Tipo de tinta</i>	Pintura conductiva líquida
<i>Conductividad</i>	Conductividad de aproximadamente $10^3 - 10^6$ (Ohms/sq)
<i>Temperatura de secado</i>	20-30 minutos a temperatura ambiente
<i>Densidad</i>	1.16 g/cm^3 Alta (espesa, ideal para aplicaciones sobre superficies irregulares)
<i>Aplicaciones</i>	Circuitos electrónicos, sensores táctiles, aplicaciones de interacción
<i>Compatibilidad con materiales</i>	Madera, plástico, cartón, vidrio, tela, papel
<i>Proceso de secado</i>	Secado al aire, o en horno (opcional, 50°C para secado más rápido)
<i>Capacidad de impresión</i>	Ideal para aplicaciones de bajo volumen y prototipos de circuitos impresos
<i>Precio aproximado</i>	\$35 por 30 ml

3.1.21. Tinta 3D Ink Conductive Filament

Tabla 3. 12. Datos técnicos 3D Ink.

Características	3D Ink Conductive Filamento
<i>Tipo de tinta</i>	Filamento de impresora 3D conductivo
<i>Conductividad</i>	Conductividad media (aproximadamente $10^3 - 10^5$ (Ohms/sq)
<i>Temperatura de extrusión</i>	$190^\circ\text{C} - 220^\circ\text{C}$
<i>Aplicaciones</i>	Circuitos electrónicos, prototipos, creación de circuitos impresos
<i>Compatibilidad con materiales</i>	Compatible con impresoras 3D FDM estándar y materiales como PLA y ABS
<i>Proceso de secado</i>	No requiere secado adicional (pero necesita enfriarse después de la impresión)

<i>Capacidad de impresión</i>	Alta capacidad de impresión 3D para componentes electrónicos
<i>Precio aproximado</i>	\$40 por 500 g

En la selección de la tinta podemos ver las diferencias entre estas tres marcas donde un factor importante es la conductividad que tiene cada una y su precio en el mercado. A continuación, se detalla estas diferencias en la Tabla 3.14.

Tabla 3. 13. Comparación de tintas para la selección.

Características	Circuit Scribe Conductive Ink	Bare Conductive Paint	3D Ink Conductive Filament
Tipo de tinta	Pluma líquida conductiva	Pintura conductiva	Filamento para impresión 3D
Conductividad	$10^3 - 10^6$ Ohms/sq	$10^3 - 10^6$ Ohms/sq	$10^3 - 10^5$ Ohms/sq
Temperatura de secado	10-20 minutos (ambiente)	20-30 minutos (ambiente)	No requiere secado adicional
Densidad	Media	Alta	Media
Aplicaciones	Prototipos electrónicos de baja escala	Sensores, circuitos, interacción	Impresión 3D de circuitos
Compatibilidad con materiales	Papel, cartón, plástico, tela, madera	Madera, plástico, vidrio, papel	PLA, ABS, materiales 3D comunes
Proceso de secado	Secado al aire	Secado al aire o en horno	Sin necesidad de secado extra
Precio aproximado	\$25 por 10 ml	\$35 por 30 ml	\$40 por 500 g

Para esta selección se ha tomado la decisión de trabajar con la tinta **Bare Conductive**, ya que se encuentra presente en el mercado local, precio es asequible, y tiene las propiedades que se necesita para el desarrollo de la impresión 3D para cumplir las metas de este proyecto.

Diseño conceptual del extrusor

Esta etapa es una parte fundamental para lograr alcanzar el objetivo de este trabajo de titulación, ya que se hará un diseño propio validándonos de modelos ya existentes en el mercado, teniendo en cuenta las limitaciones, criterios, y características planteadas anteriormente en la recolección de información.



Figura 3. 7. Mapa conceptual de diseño conceptual del extrusor. (Autor)

Este es el diseño conceptual el cual está distribuido en pasos que permiten lograr cumplir con mi objetivo. Cada uno de estos pasos describe las consideraciones para el diseño de las partes del extrusor que son; motor, boquilla, alimentación de material. Dentro de estos pasos es necesario tener en cuenta que la impresora que se va a trabajar en la Anet E10 y la tinta es la Bare Conductive, las cuales se describió anteriormente sus características.

Sistema de extrusión

Para el sistema de extrusión, se va a trabajar con sistema directo de estilo jeringuilla la cual es adecuada para la implementación en estas aplicaciones gracias a que ofrece mejores beneficios en el trabajo de extrusión. De la misma forma el motor que se va a encargar del movimiento del extrusor va a ser el mismo que originalmente viene en la impresora que es un motor Nema 17, ya que tiene un alto torque y buena presión, el torque de este motor es de 1.8Nm.

3.1.22. Diseño estructural del extrusor de tintas conductivas

El presente apartado tiene como objetivo desarrollar el diseño estructural del sistema de extrusión adaptado para una impresora 3D modificada, destinada a la deposición de tintas conductivas. Este diseño está basado en el uso de una jeringa estándar de 10 ml, un tornillo tipo T8 con tuerca de cobre y un motor paso a paso que permite controlar de forma precisa el desplazamiento del émbolo. El sistema busca garantizar una extrusión uniforme y controlada de tinta de alta viscosidad, como la Bare Conductive Electric Paint, cuyas propiedades reológicas requieren un análisis detallado de parámetros mecánicos para su adecuada implementación.

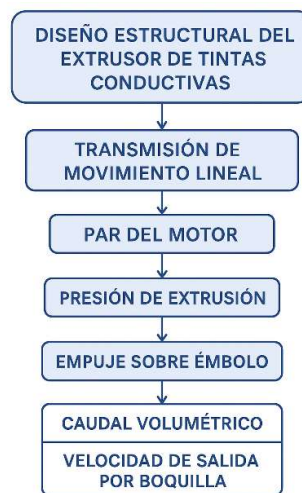


Figura 3. 8. Diagrama de diseño del extrusor. (Autor)

Para asegurar el correcto funcionamiento del extrusor, se han considerado aspectos fundamentales del diseño como: la transmisión del movimiento lineal, el cálculo del par necesario del motor, la presión de extrusión, el empuje sobre el émbolo, el caudal volumétrico y la velocidad de salida del material a través de la boquilla. Estas variables están directamente relacionadas con las propiedades físicas del sistema y de la tinta, y son necesarias para garantizar una deposición precisa, evitando obstrucciones, variaciones de flujo o daños estructurales en el mecanismo.

Los cálculos desarrollados en esta sección permitirán seleccionar correctamente los componentes mecánicos y electrónicos del sistema, validar su funcionamiento y establecer

los límites operativos del extrusor. Esto asegurará no solo la eficiencia del proceso de impresión, sino también la durabilidad del sistema bajo condiciones de trabajo reales.

3.1.23. Transmisión del movimiento lineal

La transmisión del movimiento lineal en un sistema de extrusión de tintas conductivas es un proceso crítico para asegurar una dosificación precisa del material sobre el sustrato. En este diseño, se emplea un tornillo T8 acoplado a un motor paso a paso, el cual transforma el movimiento rotacional en desplazamiento lineal. Este mecanismo impulsa un émbolo en una jeringa de 10 mL, conteniendo tinta conductiva de la marca BARE CONDUCTIVE, cuya densidad es un parámetro fundamental para determinar el esfuerzo mecánico requerido. El sistema debe estar calibrado para controlar el volumen de tinta extruido mediante una boquilla de 0.4 mm de diámetro, garantizando así trazas uniformes y funcionales para la fabricación de circuitos electrónicos flexibles.

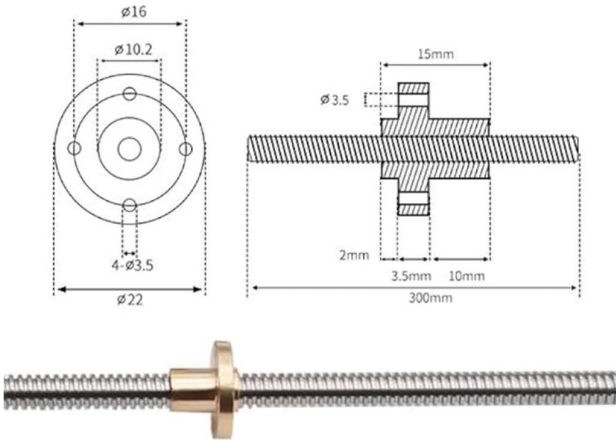


Figura 3. 9. Medidas del Tornillo T8. (Creality)

Datos iniciales

Tabla 3. 14. Parámetros para el cálculo.

Componente	Parámetro	Valor
Tornillo T8	Longitud	100 mm
	Diámetro nominal	8 mm
	Paso (Lead)	2 mm
	Número de hilos	1
	Avance por vuelta	2 mm
Motor Paso a Paso	Velocidad	300 pasos/min

	Paso por revolución	200 pasos/rev (1.8° por paso)
Tinta	Marca	BARE
Conductiva		CONDUCTIVE
	Densidad	1.16 g/cm ³
Boquilla	Diámetro	0.4 mm
Jeringa	Volumen total	10 mL
	Diámetro interior del cilindro (émbolo)	14.5 mm

3.1.23.1. Cálculo del área transversal del embolo

$$A = \pi \cdot \left(\frac{14.5}{2} \text{ mm}\right)^2 \quad (1)$$

$$A = 165.13 \text{ mm}^2$$

$$A = 1.6513 \text{ cm}^2$$

3.1.23.2. Relación entre pasos y desplazamiento lineal

Para el cálculo del desplazamiento hay que tomar en cuenta el paso del tornillo que va a generar el movimiento. Para este caso cada vuelta del tornillo genera un avance lineal de 2 mm.

$$\text{Avance por paso} = \frac{2 \text{ mm}}{200 \text{ pasos}} = 0.01 \text{ mm/paso} \quad (2)$$

Si el motor gira a 300 pasos/min, el desplazamiento lineal por minuto es:

$$\text{Desplazamiento lineal} = 300 \text{ pasos/min} \cdot 0.01 \text{ mm/paso} = 3.0 \text{ mm/min} \quad (3)$$

$$\text{Desplazamiento lineal} = 0.3 \text{ cm/min}$$

3.1.23.3. Volumen de tinta extruido por minuto

Es importante saber que volumen se va a necesitar en la extrusión, el cual se define con la siguiente ecuación.

$$V = A \cdot L \quad (4)$$

$$V = 1.6513 \text{ cm}^2 \cdot 0.3 \text{ cm/min} = 0.49539 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$V = 0.49539 \text{ ml/min}$$

3.1.23.4. Cantidad de tinta extruida por minuto

$$m = \rho \cdot V \quad (5)$$

$$m = 1.16 \text{ g/cm}^3 \cdot 0.49539 \text{ cm}^3/\text{min} = 0.5746 \text{ g/min}$$

Entonces la fuerza requerida sobre el émbolo:

$$F = P \cdot A \quad (6)$$

$$F = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 1.6513 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 33.03 \text{ N}$$

3.1.23.5. Torque requerido en el tornillo T8

El torque se calcula usando la siguiente fórmula para tornillo sin fricción:

$$T = \frac{F \cdot dm}{2} \quad (7)$$

Donde:

$$F=33.03 \text{ N}$$

$$dm=7.8 \text{ mm}=0.0078 \text{ m (diámetro medio aproximado del tornillo)}$$

Sustituyendo:

$$T = \frac{33.03 \cdot 0.0078}{2}$$

$$T = 0.1286 \text{ N.m}$$

3.1.23.6. Potencia requerida

Donde la potencia mecánica es:

$$P = T \cdot \omega \quad (8)$$

Donde:

$$300 \text{ pasos/min} \div 200 \text{ pasos/rev} = 1.5 \text{ rev/min}$$

$$\omega = 2\pi \cdot 1.5/60 = 0.157 \text{ rad/s}$$

$$P = 0.1286 \cdot 0.157$$

$$P = 0.020 \text{ W}$$

3.1.23.7. Resultados de los cálculos

Tabla 3. 15. Resultados de los cálculos

Parámetro	Valor
Avance por paso	0.01 mm/paso
Velocidad lineal	1.0 mm/min
Volumen extruido/min	0.165 mL
Masa extruida/min	0.191 g
Fuerza necesaria	33.03 N
Torque necesario	0.129 N·m
Potencia requerida	0.0067 W

3.1.24. Par motor

El par motor o torque requerido en un sistema de extrusión de tintas conductivas es una variable crítica que garantiza la capacidad del motor para vencer la resistencia del fluido y empujar el émbolo a través de la jeringa, forzando la salida del material por una boquilla de reducido diámetro. Este cálculo es esencial para seleccionar adecuadamente el motor paso a paso y asegurar una operación eficiente y precisa del sistema. El diseño emplea un tornillo T8 de paso 2 mm, un émbolo de 14.5 mm de diámetro acoplado a una jeringa de 10 mL y una boquilla de 0.4 mm, todo operado a una velocidad constante de 100 pasos por minuto. Considerando la densidad y la viscosidad estimada de la tinta BARE CONDUCTIVE, se realiza una evaluación del esfuerzo requerido para el desplazamiento del émbolo y, por ende, el torque necesario en el husillo.

Datos iniciales

Tabla 3. 16. Valores iniciales

Concepto	Valor
Tornillo	T8, paso 2 mm, 1 hilo
Motor paso a paso	200 pasos/rev, 300 pasos/min
Desplazamiento lineal	3 mm/min
Diámetro del émbolo (jeringa)	14.5 mm
Densidad de la tinta	1.16 g/cm ³
Presión estimada de extrusión	2 bar = 200,000 Pa
Coef. fricción bronce-acero	$\mu = 0.15$

3.1.24.1. Fuerza requerida para la extrusión de tinta

$$F = P \cdot A = 2 \times 10^5 \text{ Pa} * 1.6513 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F = 33.026 \text{ N}$$

Diámetro medio del tornillo T8

Para un tornillo trapezoidal T8 se utilizará la siguiente ecuación:

$$d_m = d_{nominal} - \frac{p}{2} \quad (9)$$

$$d_m = 8.8 \text{ mm} - 1 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow d_m \approx 7.8 \text{ mm} = 0.0078 \text{ m}$$

3.1.24.2. Cálculo del Par motor

Para el cálculo del torque es:

$$T = \frac{F \cdot d_m}{2} \cdot \frac{l + \pi \cdot \mu \cdot d_m}{\pi \cdot d_m - \mu \cdot l} \quad (10)$$

Donde:

$$F = 33.03 \text{ N}$$

$$d_m = 7.8 \text{ mm} = 0.0078 \text{ m} \text{ (diámetro medio aproximado del tornillo)}$$

$$l = 2 \text{ mm} = 0.002 \text{ m} \text{ (paso del tornillo)}$$

$$\mu = 0.15 \text{ (coeficiente de fricción tuerca de bronce)}$$

$$T = \frac{33.03 \cdot 0.0078}{2} \cdot \frac{0.002 + \pi \cdot 0.15 \cdot 0.0078}{\pi \cdot 0.0078 - 0.15 \cdot 0.002}$$

$$T = 0.1286 \cdot 0.2345$$

$$T = 0.0302 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Este valor indica que un motor capaz de entregar al menos 30 mN·m será suficiente para mover el tornillo T8 a 100 pasos/min bajo las condiciones establecidas. Se recomienda un margen de seguridad del 25–30%, por lo tanto:

$$T_{seguro} = 0.030 \cdot 1.3 = 0.039 \text{ N} \cdot \text{m}$$

3.1.25. Presión de extrusión para las tintas

La presión de extrusión es uno de los parámetros más importantes para asegurar una deposición precisa y uniforme del material. Esta presión depende de múltiples factores, incluyendo la viscosidad de la tinta, el diámetro de la boquilla, la velocidad de extrusión y las propiedades del fluido (como densidad y comportamiento reológico). En este caso, el sistema utiliza una jeringa de 10 mL con un émbolo de 14.5 mm de diámetro, una boquilla de 0.4 mm de salida y una tinta conductiva de la marca BARE CONDUCTIVE, que presenta una alta viscosidad.

Datos iniciales

Tabla 3. 17. Datos iniciales para el cálculo de presión

Parámetro	Valor
Diámetro del émbolo	14.5 mm = 0.0145 m
Área del émbolo	$A = \pi \cdot (d/2)^2$
Diámetro de la boquilla	0.4 mm = 0.0004 m
Longitud estimada de la boquilla	1 mm = 0.001 m
Viscosidad dinámica estimada	$\mu \approx 10,000 \text{ mPa}\cdot\text{s} = 10 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
Caudal volumétrico deseado	$Q = 1.667 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$

Cálculo de la velocidad media

$$v = \frac{Q}{A_{\text{boquilla}}} \quad (11)$$

$$v = \frac{1.667 \cdot 10^{-8}}{\pi \cdot (0.0004)^2} = \frac{1.667 \cdot 10^{-8}}{1.2566 \cdot 10^{-7}} \approx 0.1326 \text{ m/s}$$

3.1.25.1. Presión de extrusión

Para la presión de extrusión se va a utilizar la ecuación de Hagen – Poiseuille, donde para flujo laminar de fluido viscoso a través de un tubo capilar (boquilla), la presión requerida es:

$$\Delta P = \frac{8 * \mu * L * Q}{\pi * r^4} \quad (12)$$

Donde:

$$\mu = 10 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$L = 0.01 \text{ m}$$

$$Q = 1.667 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$r = 0.0002 \text{ m}$$

$$\Delta P = \frac{8 * 10 * 0.01 * 1.667 * 10^{-8}}{\pi * (0.0002)^4}$$

$$\Delta P = 26533 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 0.265 \text{ Bar}$$

3.1.25.2. Fuerza necesaria en el embolo

$$F = \Delta P \cdot A_{embolo} \quad (13)$$

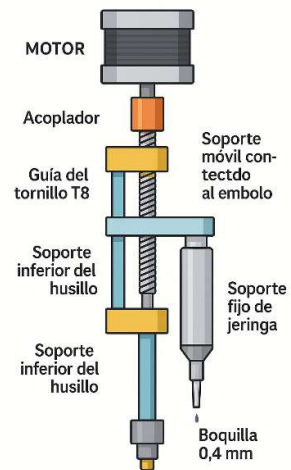
$$F = 26538 \text{ Pa} \cdot 1.651 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \approx 4.382 \text{ N}$$

$$F = 0.446 \text{ Kg}$$

3.1.26. Dimensionamiento de los soportes

El sistema de extrusión de tintas conductivas requiere una estructura mecánica precisa y robusta que garantice el funcionamiento correcto del mecanismo de empuje lineal a través de una jeringa de 10 mL. Para lograr esto, es fundamental diseñar y dimensionar adecuadamente los soportes que sostienen los componentes clave del sistema: el motor paso a paso, el husillo roscado tipo T8, la jeringa y el émbolo móvil.

3.1.26.1. Esquema de diseño



Este dimensionamiento debe considerar tanto los requerimientos geométricos del sistema como el recorrido útil del émbolo, el alineamiento axial entre el motor, el tornillo y la jeringa como los esfuerzos mecánicos generados durante el proceso de extrusión. Además, se deben tomar en cuenta las propiedades físicas de la tinta conductiva, la velocidad de desplazamiento del émbolo, y la precisión requerida para mantener un flujo constante a través de la boquilla de 0.4 mm.

3.1.26.2. Consideraciones para el diseño de los soportes en 3D

Tabla 3. 18. Parámetros para el diseño

Parámetro	Valor
Longitud del tornillo T8	100 mm
Carrera útil del émbolo	100 mm (10 cm)
Diámetro interior de la jeringa	14.5 mm
Longitud total de la jeringa	~140 mm (incluyendo boquilla)
Longitud efectiva de empuje	120 mm
Motor paso a paso	NEMA 17, acoplado axialmente
Estructura soporte general	PLA impreso

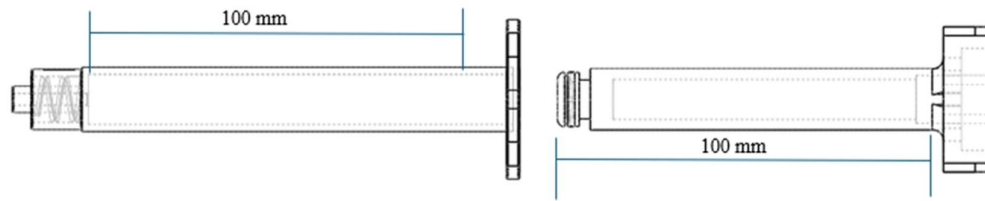


Figura 3. 10. Diseño del embolo (Autor)

3.1.27. Boquilla (Honted)

Para el diseño de la boquilla se debe tener varias observaciones ya que es un componente importante en la extrusión, ya no se debe evitar que se obstruya o se tapone, también hay que tener en cuenta que no se desgaste de forma prematura y resista a esfuerzos. Para el tamaño de la boquilla que se requiere, según los criterios planteados anteriormente, debe de ser de 0.4mm hasta 1.2mm, ya que se requiere alta precisión en el momento de la extrusión. La forma de la boquilla también juega un papel muy importante ya que la tinta se debe fluir de manera constante, con esto se necesita un ángulo de boquilla de 45° a 60° para reducir el riesgo de atascos. El acero inoxidable, bronce, cobre o aluminio son las mejores opciones de materiales para la boquilla, ya que la tinta conductiva contiene partículas metálicas que pueden desgastar las boquillas de plástico.

3.1.28. Montaje del extrusor

Para el montaje del extrusor es muy esencial que sea de fácil ensamblaje, esto facilitara los mantenimientos que se requiere dar a la impresora. En este paso es primordial que las alineaciones del motor con los componentes del extrusor sean preciso esto ayudara a evitar erros de impresión. Por otra parte, la carga de material tiene que ser de fácil manipulación, para evitar salpicaduras y desperdicios de material. Debido a la alta densidad de la tinta Bare Conductive, se requiere un sistema de alimentación eficiente y robusto.

El diseño conceptual del estudio para la implementación de nuestro extrusor para la tinta conductiva Bare Conductive requiere una atención especial a la densidad y viscosidad que posee esta tinta, es por eso que necesita una presión suficiente para la extrusión, controlar la velocidad del extrusor. Con los ajustes y las modificaciones adecuadas se garantizará una

extrusión eficiente de la tinta conductiva para la impresión de tintas conductivas en la impresora 3D.

Con estos requisitos conceptuales se parte para el diseño el extrusor el cual será diseñado mediante el software SolidWorks, el cual nos permite crear las piezas necesarias para la implementación de este trabajo.

Diseño CAD del extrusor

Para el diseño del extrusor se utilizará el Software SolidWorks, que este programa nos ofrece una versatilidad en el diseño de piezas en 3D, además, nos permite realizar ensambles de los componentes y ver los detalles del armado, con esto se facilita la creación de las piezas que componen el extrusor. A parte los ajustes rápidos que son de gran facilidad de hacer en cada una de las modelaciones nos ayuda ahorrar tiempo en la creación de estas.

Para la modelación en 3D del diseño del extrusor nos guiaremos del modelo en la impresora que esta previamente diseñada y se la puede descargar gratis de las pagina Grabcad, esta impresora contiene todas las partes que la conforma con las medidas reales, con esto ahorramos tiempo en la generación de adaptación en el programa. La impresora Anet E10 está en formato Step, el cual si se puede abrir en el programa

3.1.29. Soporte de sistema

El soporte que se muestra en la figura se visualiza las tres partes principales del sistema de extrusión, en el cual se va a desplazar linealmente el vástago dentro del embolo de la jeringa de 10ml. Este soporte debe contener las medidas de desplazamiento (la carrera máxima) la cual en este caso es de 100 mm. Además, este soporte debe tener los agujeros de anclaje en el carro transversal de la impresora 3D modificada, de la misma forma debe tener el soporte del motor Nema 17 que va a dar el movimiento en el extrusor.

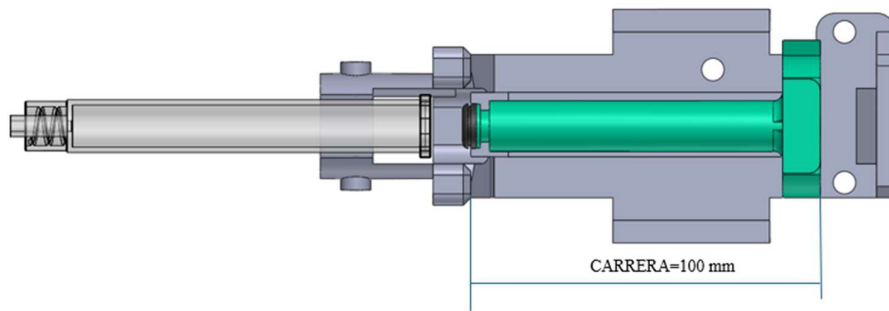


Figura 3. 11. Modelación 3D del soporte del sistema. (Autor)

3.1.30. Diseño del soporte del motor

Para el diseño del soporte de motor se tomó en cuenta las medidas del motor Nema 17 el cual va a dar el movimiento al extrusor, además se le modelo unas barras como guías para el desplazamiento vertical del eje que va a presionar la boquilla.

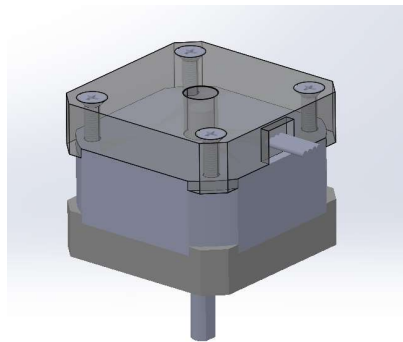


Figura 3. 12. motor Nema 17 en 3D (Autor)

Luego de ver tomado las medidas del motor Nema17 se realizó la modelación de base del soporte del motor para que coincidan los pernos de sujeción con el motor, además se tomó en cuenta las medidas de la base del eje del motor para tener mejor estabilidad en el momento de la instalación y se quede fijo en la base diseñada.

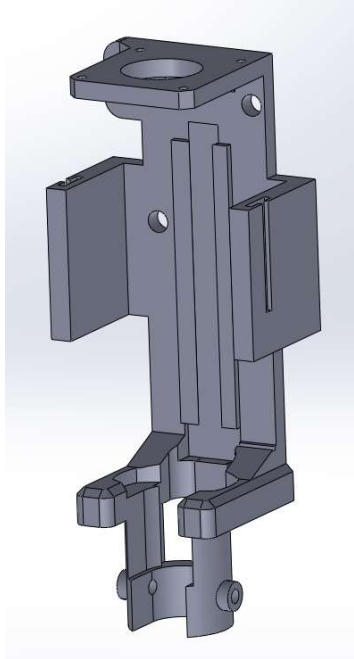


Figura 3. 13. Soporte de motor modelado en 3D (Autor)

Además, se realizó una cuña guía en la pared frontal del soporte del motor la cual nos ayudara en la estabilidad del movimiento vertical del sistema de extrusión, de la misma forma los agujeros de sujeción para el carro transversal de la impresora.

3.1.31. Diseño del extrusor

El sistema de extrusión es del tipo de jeringa por lo cual vamos a ocupar una jeringa de 10ml la cual nos va a servir como cilindro de almacenamiento, esto para que baje a través de un tornillo que gira gracias al motor paso a paso, este tornillo este sujeto a una tuerca y así el sistema funciona de manera que cada vez que gira el motor baje y suba el pistón que está dentro del cilindro.

3.1.31.1. Base de la tuerca

Esta es la base de la tuerca donde va a girar el tornillo central, el cual nos permite el movimiento vertical del sistema. Además, en este se encuentra el riel como guía en el soporte vertical.

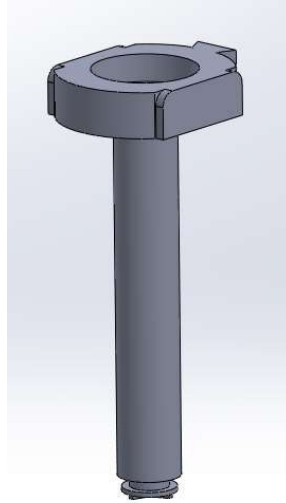


Figura 3. 14. Soporte de tuerca en 3D. (Autor)

3.1.31.2. Base de la jeringa

En la base se encuentra instalada la jeringa de 10ml, donde va a servir como cartucho de tinta para la impresión. Esta base nos sirve para tener mayor estabilidad en el momento de la impresión. También tiene brazos para la sujeción de la base de la tuerca con fácil montaje y desmontaje para poder sacar la jeringa e intercambiar en cualquier momento.

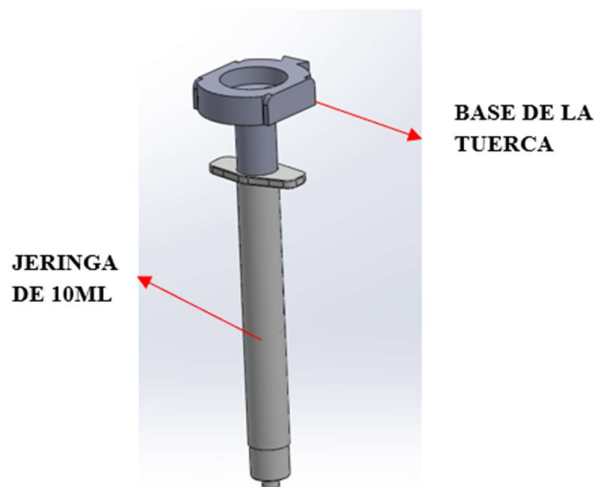


Figura 3. 15. Soporte de jeringa (Autor)

3.1.31.3.Boquilla

En la boquilla de la jeringa se ha diseñado una boca que sirva como soporte para el nozzle el cual es el encargado de que salga de manera uniforme la tinta. El nozzle es fabricado de un material de bronce ya que se necesita que él sea resistente para que no se desgaste el agujero de salida del fluido.

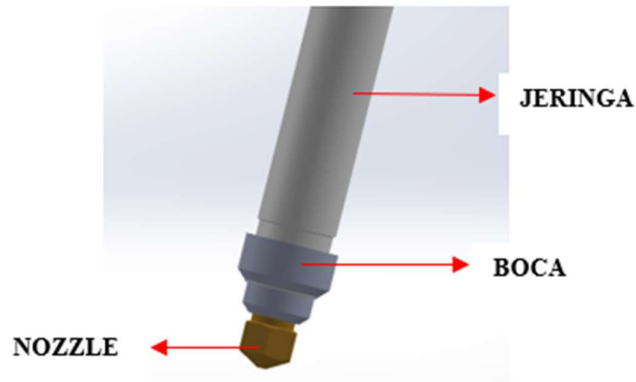


Figura 3. 16. Boca y boquilla de impresión de tinta conductiva en 3D (Autor)

3.1.31.4.Extrusor ensamblado

De esta manera queda el diseño del extrusor para la impresora 3D de tintas conductivas, la máxima cantidad de tinta que puede almacenar el dispositivo es de 10ml lo cual es suficiente para realizar pruebas y la realización de PCBs pequeñas. Este diseño es basado en los muchos diseños funcionales para diferentes tipos de fluidos. El control de se lo va a realizar a través del motor el cual lo controlares con la interfaz de la impresora. La sujeción de todas las partes será desmontable para mejorar en el mantenimiento de la esta.

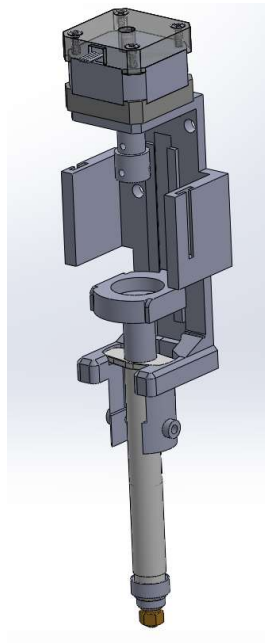


Figura 3. 17. Ensamble de todas las piezas en 3D

Impresión 3D de las partes

Para la impresión de las partes diseñadas se lo va a realizar en el programa gratuito OrcaSlicer. OrcaSlicer es un software avanzado de laminado para impresoras 3D que permite transformar los diseños CAD en SolidWorks en archivos G-code listos para la impresión. Este programa ofrece herramientas intuitivas y configuraciones personalizables para optimizar la calidad y precisión de las piezas impresas, asegurando que las partes diseñadas se fabriquen según las especificaciones técnicas.

3.1.32. Importación del modelo 3D

Se importarán los archivos STL generados en SolidWorks para cada componente del extrusor. OrcaSlicer permite cargar múltiples piezas y posicionarlas en la plataforma virtual para optimizar el uso del espacio de impresión.

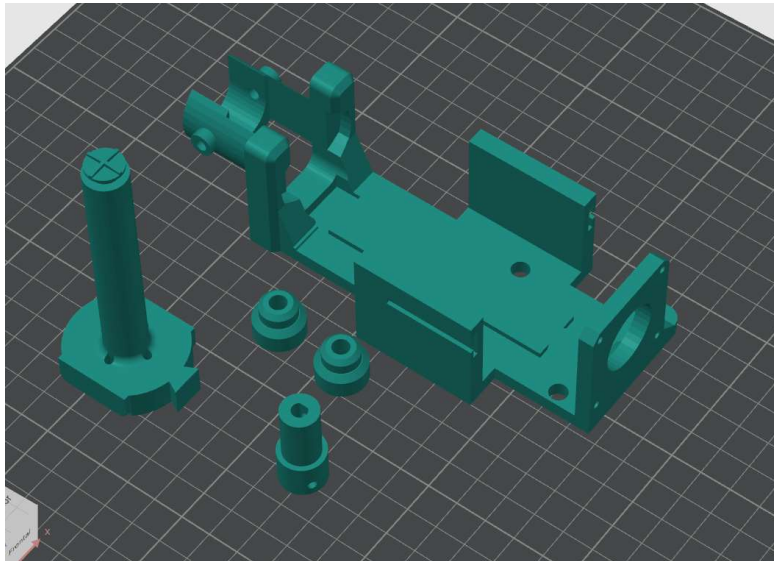


Figura 3. 18. Piezas para la impresión en 3D (OrcaSlicer)

3.1.33. Configuración del material de impresión

Según las características de las partes diseñadas, se seleccionará el material más adecuado, en este caso PLA, ya que se necesita que sea resistente. OrcaSlicer permite configurar parámetros como altura de capa, velocidad de impresión, temperatura del extrusor, densidad de relleno, y soportes, garantizando precisión en las dimensiones y resistencia estructural.

Calidad Fuerza Velocidad Soportes Multimaterial Otr

Altura de la capa

Altura de la capa 0,2 mm

Altura de la primera capa 0,25 mm

Ancho de línea

Por defecto 0,5 mm o %

Capa inicial 0,5 mm o %

Perímetro externo 0,4 mm o %

Perímetro interno 0,45 mm o %

Relleno sólido superior 0,4 mm o %

Relleno poco denso 0,45 mm o %

Relleno sólido interno 0 mm o %

Soportes 0,4 mm o %

Costura

Posición de la costura Alineado

Costuras interiores

Perímetros

Bucles de perímetro 4

Cubiertas Superiores/Inferiores

Patrón de relleno cubierta superior Líneas mon...

Capas de la cubierta superior 4 capas

Espesor mínimo de la cubierta superior 0,8 mm

Patrón de relleno de cubierta inferior Monotónico

Capas inferiores de cubierta 4 capas

Espesor mínimo de la cubierta inferior 0 mm

Relleno

Densidad de relleno de baja densidad 80 %

Figura 3. 19. Parámetros de la impresión de piezas 3D (OrcaSlicer)

3.1.34. Generación del laminado

Mediante el software se realizará una simulación de impresión, esto nos ayudará a identificar posibles errores o áreas que requieran soportes adicionales, de esta manera garantizamos el proceso antes de proceder con la fabricación física.

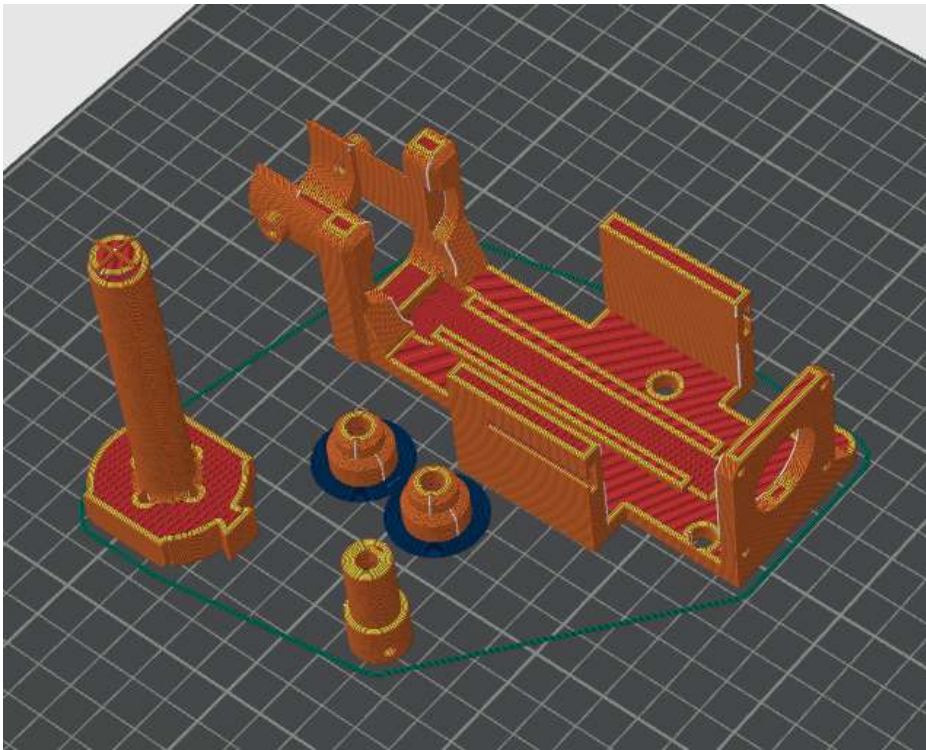


Figura 3. 20. Lamina desde el programa (OrcaSlicer)

3.1.35. Componentes de sistema de extrusión

Tabla 3. 19. Lista de materiales

Pieza	cantidad	Impresión
-------	----------	-----------

Soporte de motor	1	
Motor Nema 17	1	
Tornillo sin fin con acople	1	
Tuerca	1	
Base de tuerca	1	
Goma de pistón	1	

Jeringa de 10ml	1	
Boca de extrusor	1	
Boquilla 0.5mm	1	

Ensamble del sistema de extrusión

El ensamblaje de las partes impresas para el sistema de extrusión directa está diseñado para garantizar un montaje preciso, funcional y adaptable al marco cartesiano de la impresora 3D. A continuación, se detallan las etapas principales del ensamblaje:



Figura 3. 21. Ensamble de piezas en la impresora de tintas conductivas (Autor)

3.1.36. Montaje del soporte del extrusor:

Se utiliza un soporte impreso específicamente diseñado para fijarse a la estructura móvil del eje Z de la impresora. Este soporte cuenta con ranuras y perforaciones que facilitan la fijación mediante tornillos M3 y tuercas cautivas. Además, incluye guías para el correcto alineamiento con los rieles del eje.

3.1.36.1. Acoplamiento del mecanismo de extrusión:

El mecanismo de extrusión directa está compuesto por un cuerpo impreso que aloja el motor paso a paso, y la jeringa guía para la tinta conductiva. El cuerpo está diseñado con cavidades y soportes que aseguran el posicionamiento del motor mediante tornillos, y al mismo tiempo, permiten una conexión rígida con la boquilla de extrusión.

3.1.36.2. Fijación de la boquilla de extrusión:

La boquilla, diseñada para trabajar con tintas conductivas, se conecta al extremo inferior del mecanismo de extrusión. Una boca que conecta con el nozzle nos garantiza la fluidez de la tinta.



Figura 3. 22. Ensamble final de la impresora de tintas conductivas (Autor)

3.1.36.3. Ajuste final y calibración:

Una vez ensambladas las piezas, se realiza un ajuste final para garantizar la perpendicularidad del extrusor con respecto a la cama de impresión. Tornillos de ajuste impresos se utilizan para alinear el sistema con precisión.

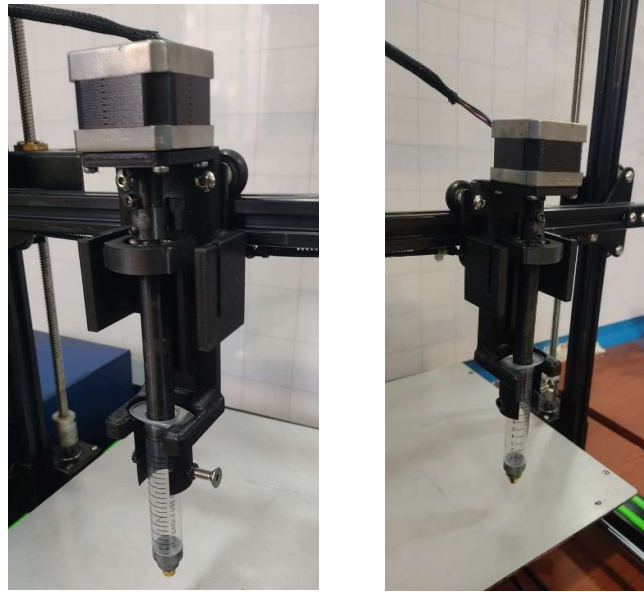


Figura 3. 23. Ensamblaje del extrusor (Autor)

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Pruebas de funcionamiento

Para este capítulo se realizará las pruebas de funcionamiento para definir la eficiencia de la impresora 3D de tintas conductivas, se evaluará el desempeño del extrusor directo tipo jeringa de diseñado anteriormente. Las pruebas están diseñadas para verificar que la impresora pueda imprimir circuitos impresos de alta precisión, y que se puede replicar para la creación de PCBs y sea adecuada en la implementación en la industria electrónica y telecomunicaciones. Cada una de estas pruebas nos ayudara a evaluar cada una de las variables expuestas y garantizar un correcto funcionamiento. Las pruebas para evaluar son las siguientes:

1. **Prueba de Dimensiones:** Evaluar la precisión dimensional de las estructuras impresas.
2. **Prueba de Precisión:** Medir la diferencia entre el diseño digital y el objeto impreso.
3. **Prueba de Repetibilidad:** Determina la capacidad que posee nuestro sistema para repetir impresiones con alta consistencia de los patrones deseados.
4. **Prueba de Material:** Evaluar la conductividad eléctrica que poseen nuestros patrones impresos y resistencia de la tinta utilizada.
5. **Prueba de Funcionalidad:** Verificar la funcionalidad adecuada de un circuito impreso en condiciones reales.



4.1.1. Prueba de Dimensiones

Esta prueba tiene como objetivo evaluar la capacidad de la impresora 3D de tintas conductivas para reproducir líneas de distintos grosores con alta precisión y uniformidad, para este caso se realizaron las pruebas con la boquilla de 0.4mm. Se diseñó un patrón de prueba con líneas de anchos variables (desde 1mm 2mm 3mm 4mm)) y se imprimió sobre un sustrato específico, para este caso en acetato.

Después de la impresión, se realizaron mediciones con un calibrador digital para comparar valores obtenidos con referencia al modelo computacional. Los resultados demuestran que la impresora mantiene y garantiza una alta precisión con referencia a los modelos computarizados, existe una variación mínima en el grosor de las líneas y sin interrupciones en los trazos de impresión.

4.1.1.1. Procedimiento

Se realizaron impresiones de patrones de prueba con líneas de 1 mm, 2 mm, 3 mm y 4 mm de ancho. Las dimensiones fueron medidas con calibradores digitales de alta precisión para evaluar su exactitud. Se tomaron un total de 30 mediciones por cada grosor para evaluar la variabilidad dimensional en diferentes lotes de impresión.

Parámetros evaluados:

- Ancho real vs. ancho diseñado.
- Desviación estándar de la medida.
- Precisión en la replicación de dimensiones.
- Comparación estadística de los valores obtenidos.

Los resultados obtenidos nos indican que el sistema de extrusión de la impresora mantiene una precisión dimensional con un margen de error de ± 0.06 mm, este valor fue obtenido mediante cálculos estadísticos y lo cual cumple con los estándares de calidad para la fabricación de circuitos impresos.

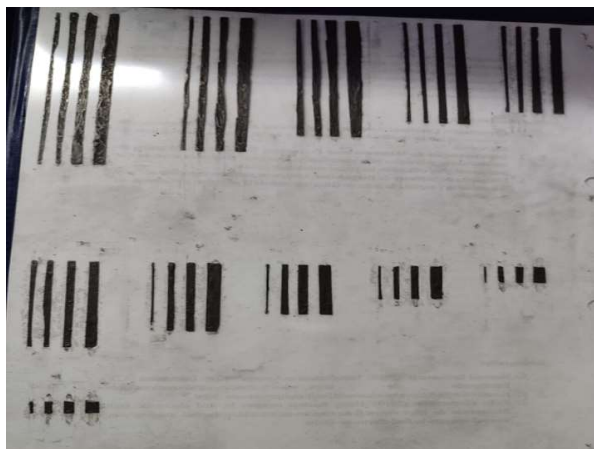


Figura 4. 2.Prueba de dimensionamiento en acetato (Autor)

Tabla 4. 1. Desviación de la medida de impresión

Muestra	Dimensión 1 mm	Dimensión 2 mm	Dimensión 3 mm	Dimensión 4 mm
1	1,00	1,996	3,000	3,997
2	1,00	1,999	2,996	3,998
3	1,00	1,997	2,996	4,001
4	1,00	1,997	2,998	4,001
5	0,99	1,993	2,996	3,999
6	1,00	2,007	3,004	3,999
7	1,00	1,995	3,000	3,999
8	1,00	1,996	3,003	4,008
9	1,00	2,002	3,003	3,998
10	1,00	2,000	3,000	3,996
11	1,00	2,002	3,007	4,005
12	1,01	1,996	3,004	4,001
13	1,01	1,996	2,996	3,997
14	0,99	1,997	2,996	4,001
15	1,00	2,009	3,005	3,997
16	1,00	2,002	2,993	4,009
17	1,01	1,998	2,991	4,007
18	1,00	2,006	2,992	3,997

19	1,00	2,000	2,998	4,003
20	0,99	1,999	3,001	4,003
21	1,00	1,994	2,992	4,006
22	1,00	1,996	3,008	4,001
23	1,01	2,000	3,010	4,009
24	1,00	2,005	3,003	4,007
25	1,00	2,003	3,005	3,991
26	0,99	1,990	2,999	4,004
27	1,01	2,000	3,008	3,993
28	0,99	2,000	3,002	4,000
29	0,99	2,000	2,993	4,003
30	1,00	1,995	2,997	3,995

Resumen de procesamiento de casos

Tabla 4. 2.Ingreso de los datos al software SPSS

	Casos		Casos		Total	
	N	Válido Porcentaje	N	Perdidos Porcentaje	N	Porcentaje
Muestra	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%
Dimensión 1 mm	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%
Dimensión 2 mm	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%
Dimensión 3 mm	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%
Dimensión 4 mm	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%

En la siguiente tabla se puede identificar que se cargaron correctamente los valores obtenidos mediante mediciones en el software SPSS.

4.1.2. Descriptivos

Tabla 4. 3. Obtención de parámetros estadísticos mediante el software SPSS

			Estadístico
Dimensión 1 mm	Media		1,00009
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,99804
		Límite superior	1,00213
	Mediana		1,00062

Dimensión 2 mm	Desv. estándar		,005486
	Media		1,99913
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,99750
		Límite superior	2,00076
	Mediana		1,99928
Dimensión 3 mm	Desv. estándar		,004366
	Media		2,99997
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,99802
		Límite superior	3,00191
	Mediana		3,00014
Dimensión 4 mm	Desv. estándar		,005208
	Media		4,00078
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,99906
		Límite superior	4,00251
	Mediana		4,00067
	Desv. estándar		,004620

En la siguiente tabla se puede obtener parámetros estadísticos muy importantes de cada una de los datos obtenidos, se pueden observar parámetros como: media, límites inferiores y superiores, mediana y desviación estándar.

Análisis e interpretación de las gráficas de frecuencias

- Dimensión 1mm

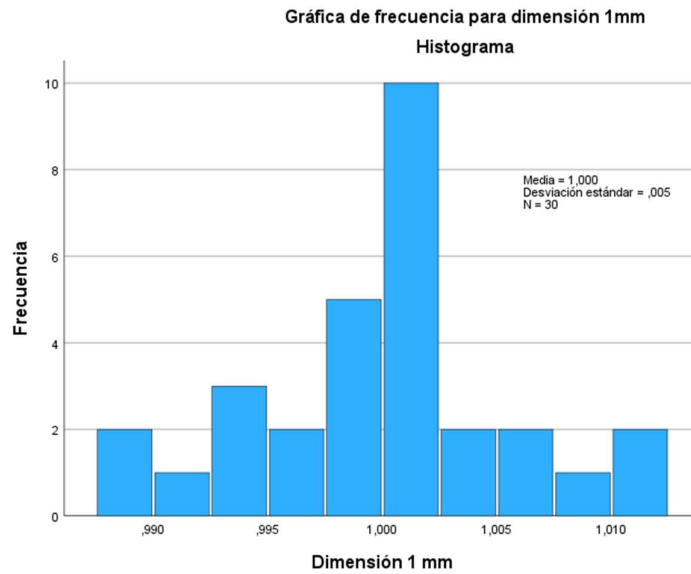


Figura 4. 3. Gráfica de frecuencias para un ancho de 1mm (Autor)

La gráfica de la distribución de frecuencias obtenida a partir de las 30 mediciones con un ancho de 1mm muestra que los valores están concentrados en un rango estrecho entre 0.989 y 1.011. Esto indica una alta precisión en los datos con respecto al patrón de impresión. En general, los datos reflejan estabilidad y consistencia en las mediciones realizadas.

- Dimensión 2 mm

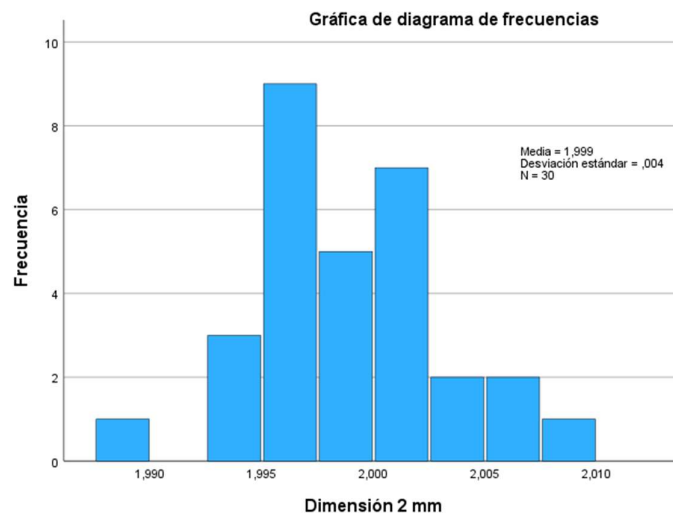


Figura 4. 4. Gráfica de frecuencias para un ancho de 2 mm (Autor)

A través de la siguiente gráfica de frecuencias obtenida a partir de las 30 mediciones muestra que los valores están concentrados en un rango de 1.990 a 2.009, lo que indica una distribución relativamente estable. Sin embargo, en la gráfica puede observar una sección sin valores de frecuencias, esto podría deberse a la naturaleza de las mediciones o a la ausencia de ciertos valores dentro del rango analizado. En general, los datos reflejan una tendencia estable con algunas variaciones menores.

- Dimensión 3 mm

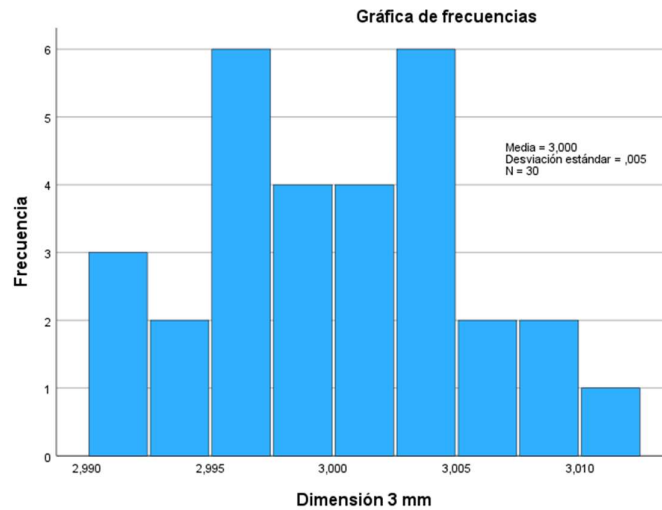


Figura 4. 5. Gráfica de frecuencias para un ancho de 3 mm (Autor)

En la siguiente gráfica de frecuencias obtenida a partir de las 30 mediciones para un ancho de línea de 3mm podemos observar que muestra los valores en un rango de 2.991 a 3.010. Lo que indica una distribución estable con variaciones menores. Se observa que los datos están relativamente equilibrados, lo que sugiere una buena estabilidad en los datos obtenidos.

- Dimensión 4 mm

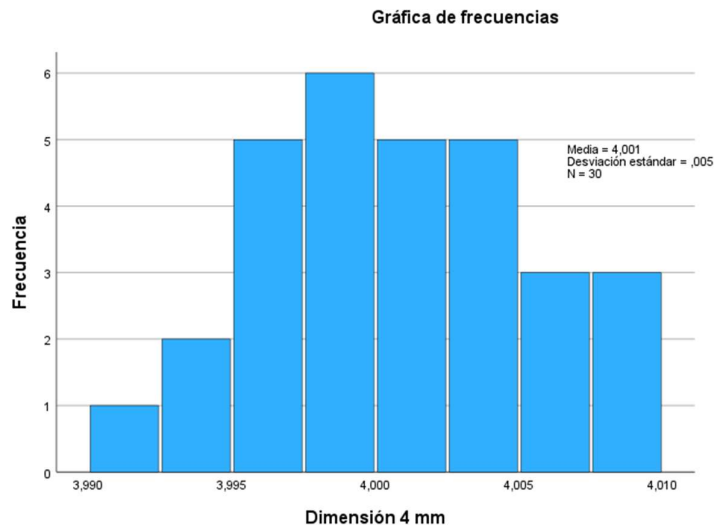


Figura 4. 6. Gráfica de frecuencias para un ancho de 4 mm (Autor)

La distribución de frecuencias obtenida a partir de las 30 mediciones para un ancho de línea de 4mm muestra que los valores se encuentran en un rango de 3.991 a 4.009, esto nos indica una distribución relativamente estable con pequeñas variaciones. En general, la distribución refleja una tendencia consistente y sin grandes irregularidades, lo que sugiere estabilidad en los datos obtenidos.

4.1.3. Desviación estándar

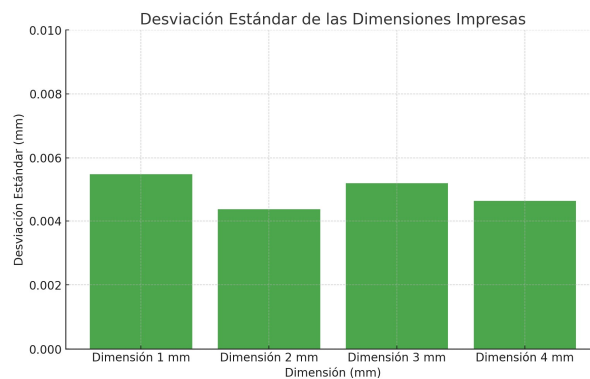


Figura 4. 7. Grafica de desviación estándar de prueba de dimensionamiento (Autor)

La gráfica muestra la desviación estándar de las mediciones obtenidas en la impresión de líneas con grosores de 1 mm, 2 mm, 3 mm y 4 mm.

Se identificó que la calidad del trazo depende de factores como la velocidad de impresión, la viscosidad de la tinta y la calibración de la boquilla. No obstante, la impresora logró reproducir los detalles con una desviación menor a ± 0.06 mm, en la materia de los casos lo que confirma su capacidad en el dimensionamiento.

Se observa que la desviación estándar para todas las dimensiones posee una baja variabilidad, por lo cual indica que la impresora es capaz de replicar con precisión los modelos diseñados.

4.3.2 Procedimiento utilizando la boquilla de 0.8 mm

De la misma manera se realizaron impresiones de patrones de prueba con líneas de 1 mm, 2 mm, 3 mm y 4 mm de ancho. Las dimensiones fueron medidas con calibradores digitales de para evaluar sus dimensiones. Se tomaron un total de 30 mediciones por cada grosor para evaluar la variabilidad dimensional en diferentes lotes de impresión. En este caso se utilizó la boquilla de 0.8 mm de diámetro.

Se obtuvieron las siguientes mediciones

Tabla 4. 4. Desviación de la medida de impresión				
Muestra	Dimensión 1 mm	Dimensión 2 mm	Dimensión 3 mm	Dimensión 4 mm
1	1,10	1,99	3,12	3,99
2	1,06	2,06	3,08	3,99
3	1,08	1,98	3,06	4,13
4	1,04	2,10	3,15	4,15
5	1,09	1,95	3,36	4,08
6	1,00	2,06	3,21	4,12
7	1,02	1,99	3,33	4,35
8	1,04	2,08	3,45	4,44

9	1,10	2,04	3,25	3,97
10	1,11	2,05	3,11	3,97
11	1,09	2,06	3,21	4,25
12	1,83	2,61	3,42	4,19
13	1,07	2,44	2,98	4,07
14	0,98	2,26	2,93	4,51
15	1,06	2,08	3,16	3,85
16	1,06	2,28	2,97	4,41
17	1,07	2,15	3,05	4,31
18	1,05	2,08	3,06	4,25
19	1,00	2,18	3,18	4,31
20	0,99	2,05	3,22	4,28
21	1,12	2,09	2,96	4,32
22	1,07	2,45	3,15	4,27
23	1,05	2,38	3,26	4,29
24	1,07	2,26	3,15	4,31
25	1,05	2,27	3,31	4,09
26	0,99	1,95	2,97	4,16
27	1,01	2,31	3,42	3,94
28	1,20	2,19	3,36	4,21
29	0,95	2,42	3,08	4,17
30	1,25	1,99	3,11	4,31

4.3.3 Resumen de procesamiento de casos

Tabla 4. 5.Ingreso de los datos al software SPSS

	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Muestra	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%
Dimensión 1 mm	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%
Dimensión 2 mm	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%
Dimensión 3 mm	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%
Dimensión 4 mm	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%

Resumen de procesamiento de casos

Tabla 4. 6.Ingreso de los datos al software SPSS

	Válido		Casos Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Muestra	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%
Dimensión 1 mm	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%
Dimensión 2 mm	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%
Dimensión 3 mm	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%
Dimensión 4 mm	30	100,0%	0	0,0%	30	100,0%

Descriptivos

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. estándar
1mm	30	,95	1,83	1,0867	,15311
2mm	30	1,95	2,61	2,1600	,17171
3mm	30	2,93	3,45	3,1690	,14677
4mm	30	3,85	4,51	4,1897	,16063
N válido (por lista)	30				

Figura 4. 8. Gráfica de valores obtenidos por el software (Autor)

En la siguiente gráfica se puede obtener parámetros estadísticos muy importantes de cada una de los datos obtenidos, se pueden observar parámetros como: media, límites inferiores y superiores, mediana y desviación estándar.

Se identifica que la calidad del trazo depende de factores como la velocidad de impresión, la viscosidad de la tinta y la calibración de la boquilla. No obstante, la impresora logró reproducir los detalles con una desviación estándar promedio en cada una de las medidas de ± 0.12 mm. Se observa que la desviación estándar para todas las dimensiones posee una mayor variabilidad que la prueba de 0,4 mm, por lo cual indica que la impresora

es capaz de replicar los modelos diseñados pero cada uno con un margen de error según el diámetro de la boquilla a utilizar.

4.4 Dimensiones del alto de la tinta extruida

El valor dimensional de impresión que realiza la impresora con tinta conductiva en el eje z es muy importante, dado que mediante este valor se podrán argumentar criterios acerca de la tinta y conclusiones si la tinta posee una extrusión alta o baja al momento de depositar la tinta.

Para esta prueba se realizó un patrón computacional el cual luego será analizado por un microscopio electrónico.

Procedimiento

Para esta prueba se imprimió una línea conductiva la cual será analizado mediante el microscopio electrónico.

4.4.2 Pasos para la obtención de la medida extruida de la tinta conductiva:

- Una vez obtenida la muestra para ser analizada esta se debe cortar a la medida del porta muestras que ingresará al microscopio electrónico, el diámetro del porta muestras es de 1 mm.
- Para poder realizar la medida fue indispensable que se doble nuestro sustrato que contiene la muestra a un ángulo de 90 grados, dado que la imagen que hace para el barrido del microscopio electrónico se encuentra en la parte superior
- La muestra correctamente preparada con el ángulo mencionado es pegada en la porta muestra con una cinta de carbono para adherirla hacia él.
- La porta muestra con el modelo a ser procesado ingresan a una máquina para un baño de oro y de esta manera preparar para ingresar al microscopio electrónico.
- Realizado el baño en oro ingresa nuestros porta muestras al microscopio electrónico para poner analizar la longitud de la tinta extruida por nuestra impresora.

Teniendo como resultado las siguientes imágenes:

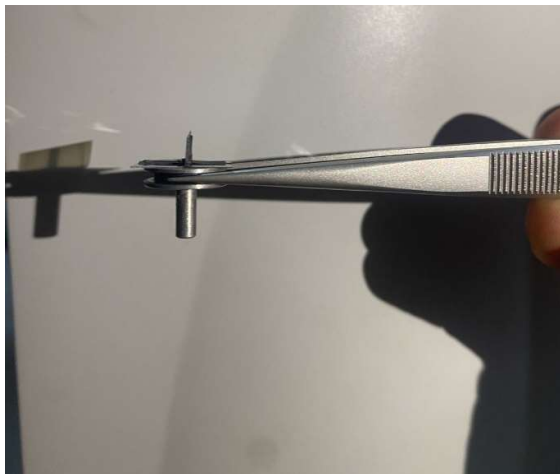


Figura 4. 9. Colocación de la primera muestra a ser analizada. (Autor)



Figura 4. 10. Colocación de la segunda muestra a ser analizada. (Autor)

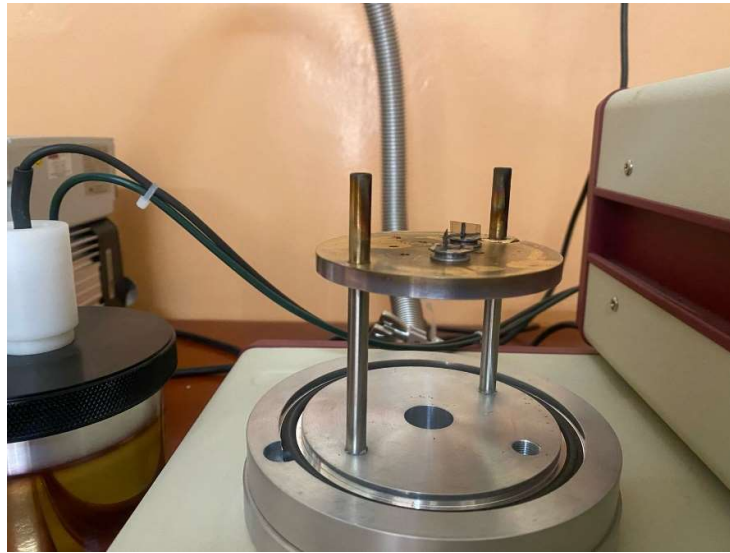


Figura 4. 11. Colocación de las muestras para ser cubiertas la maquina de por pulverización catódica (Autor).

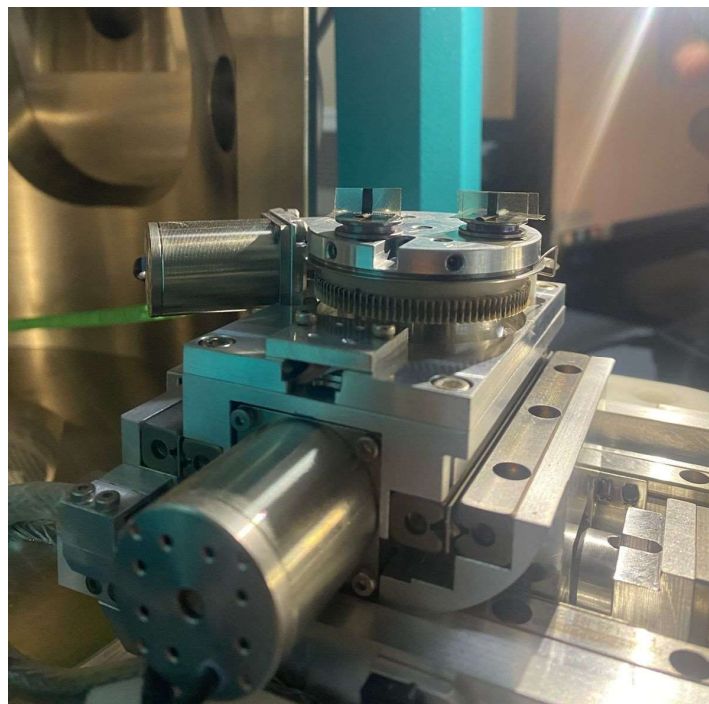


Figura 4. 12. Colocación de las muestras en el microscopio electrónico (Autor).

4.5 Análisis de resultados:

La siguiente imagen nos muestra el valor obtenido aproximado en el microscopio electrónico de nuestra muestra con un acercamiento de 50x.

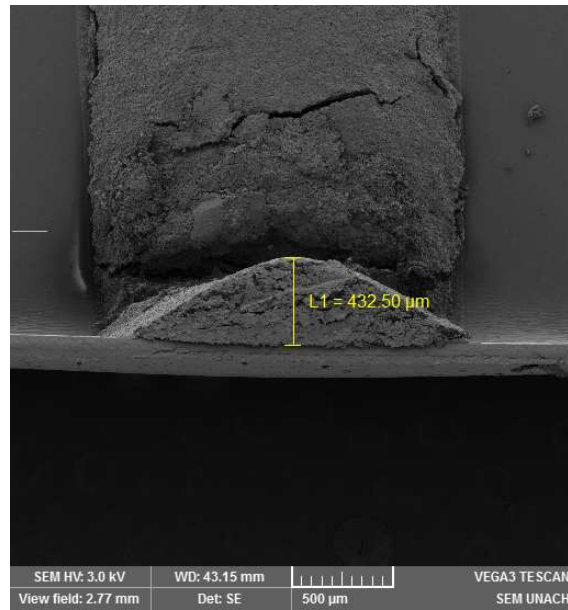


Figura 4. 13. Medición del espesor mediante el microscopio electrónico (Autor).

La siguiente imagen nos muestra el valor obtenido aproximado en el microscopio electrónico de nuestra muestra con un nivel de acercamiento de 100x.

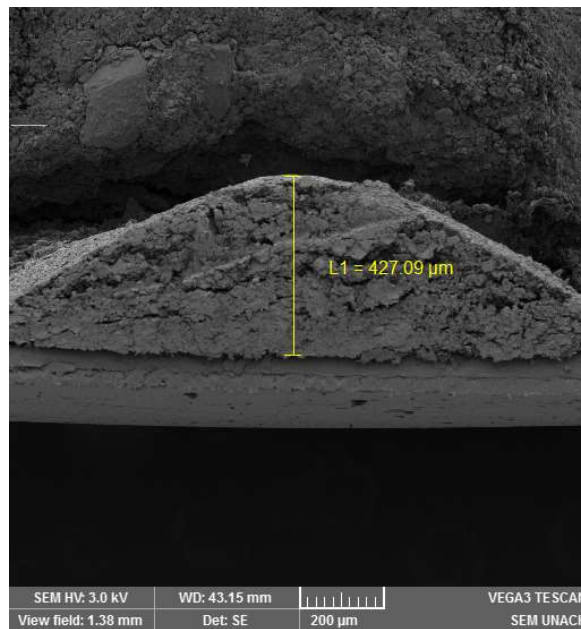


Figura 4. 14. Medición del espesor mediante el microscopio electrónico (Autor).

La imagen que se mostrará a continuación nos muestra el valor obtenido aproximado en el microscopio electrónico de nuestra muestra con un nivel de acercamiento de 200x.

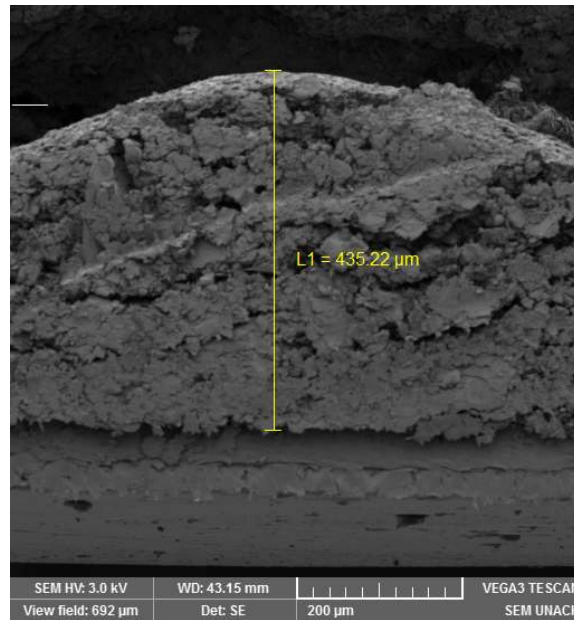


Figura 4. 15. Medición del espesor mediante el microscopio electrónico (Autor).

También se analizó una segunda muestra para poder obtener más valores del espesor de nuestra tinta conductiva., teniendo como resultado las siguientes gráficas y sus dimensiones:

La siguiente imagen nos muestra el valor obtenido aproximado en el microscopio electrónico de nuestra muestra con un acercamiento de 50x.

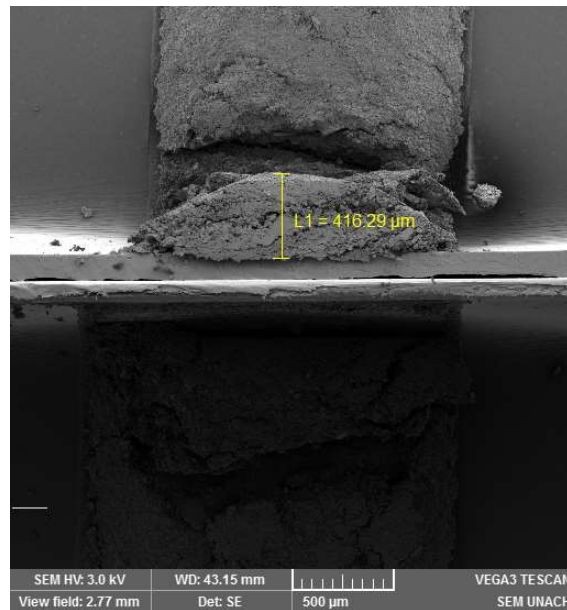


Figura 4. 16. Medición del espesor mediante el microscopio electrónico (Autor).

La siguiente imagen nos muestra el valor obtenido aproximado en el microscopio electrónico de nuestra muestra con un nivel de acercamiento de 100x.

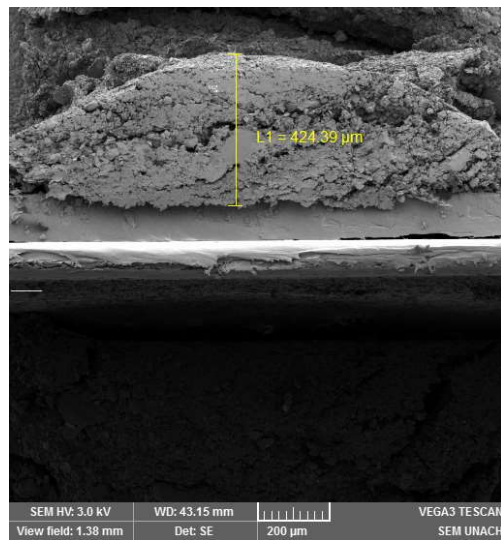


Figura 4. 17. Medición del espesor mediante el microscopio electrónico (Autor).

La imagen que se mostrará a continuación nos muestra el valor obtenido aproximado en el microscopio electrónico de nuestra muestra con un nivel de acercamiento de 200x.

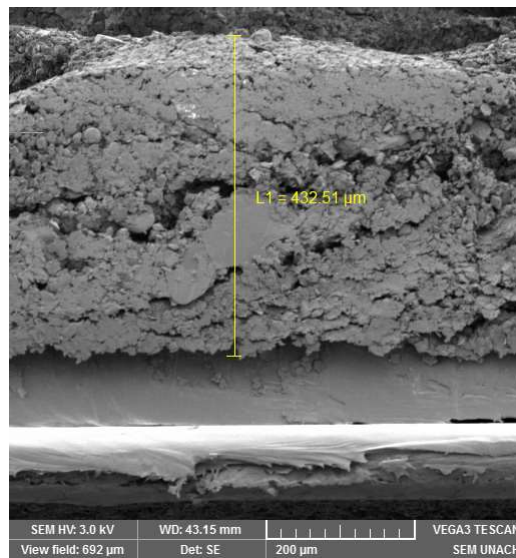


Figura 4. 18. Medición del espesor mediante el microscopio electrónico (Autor).

Se puede justificar como resultado las mediciones obtenidas teniendo valores aproximados para nuestra primera muestra de 432 hasta 435 μm que transformando nos da valores de 0.432 hasta 0.435 mm.

Para la segunda muestra obtenemos valores aproximados desde 416 hasta 432 μm , realizadas sus transformaciones obtenemos valores de 0.41 hasta 0.432 mm.

Se puede identificar que los valores obtenidos de la deposición de tinta no poseen una variación significativa con respecto al modelo computacional, cabe recalcar que el modelo computacional posee un espesor de 0.20 mm y la impresora pinta dos veces cada línea conductiva.

4.5.2 Prueba de Repetibilidad

Esta prueba tiene como objetivo evaluar la capacidad de la impresora 3D de tintas conductivas para reproducir el mismo diseño de líneas de distintos grosores de manera consistente a lo largo de múltiples impresiones. Se realizaron 30 repeticiones de la impresión del patrón de prueba con líneas de anchos variables (2mm y 2.5mm).

Para el análisis en esta prueba, se realizaron mediciones de los grosores de las líneas en cada impresión las cuales fueron comparadas con los valores esperados del diseño computacional. Además, se tomaron medidas de las diferentes longitudes como son: (30mm, 50mm, 60mm, 80mm, 90mm)

Los factores que influyeron en el momento de la impresión fueron: calibración de la boquilla, calibración de la cama de extrusión, velocidad adecuada del extrusor para la tinta, calibración de la cama de impresión. A pesar de pequeñas variaciones, la impresora demostró una excelente repetibilidad en sus trazos, así esta impresora garantiza una producción confiable.

La impresora 3D mostró un alto grado de repetibilidad en sus trazos que no tengan un grado elevado de complejidad, esto confirma la capacidad para producir circuitos con dimensiones con baja variabilidad, asegurando calidad y márgenes de error bajos en la fabricación.

4.5.3 Procedimiento

Se realizaron diferentes impresiones de estructuras con dimensiones controladas mediante un modelo computacional y se compararon con los valores del diseño digital mediante un calibrador digital. Se realizaron sus respectivas mediciones en cada una de las líneas de las impresiones y así determinar la uniformidad de la precisión.

4.5.4 Parámetros evaluados:

- Error absoluto.
- Variación en los bordes del trazo.
- Diferencia porcentual respecto al diseño original.
- Análisis de tendencias de error en múltiples impresiones.

Los resultados obtenidos en esta prueba muestran que la impresora posee una alta precisión en la impresión y precisión con respecto al diseño computacional.

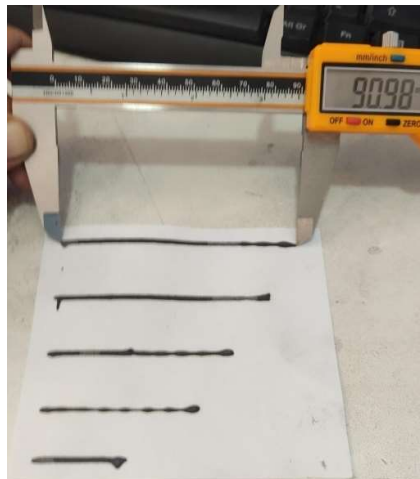


Figura 4. 19. Medición con calibrador digital de longitud (Autor)

Tabla 4. 7. Mediciones de repetabilidad

Medición	30 mm	50 mm	60 mm	80 mm	90 mm
1	30,03	50,00	59,95	79,92	90,03
2	30,01	50,01	59,97	80,26	89,91
3	30,01	49,98	59,94	80,04	90,02

4	30,03	49,96	59,87	80,21	90,11
5	30,03	49,99	60,01	80,07	89,94
6	29,99	50,00	59,97	80,15	89,99
7	30,01	50,02	59,88	80,00	89,97
8	30,00	50,02	60,03	80,38	90,15
9	30,00	49,99	59,93	80,03	90,05
10	30,01	49,99	60,00	80,08	90,03
11	30,00	49,98	60,05	80,40	89,94
12	30,02	49,97	60,01	79,72	90,04
13	30,01	49,97	60,09	79,73	89,95
14	30,00	50,04	59,91	80,20	90,00
15	30,01	49,99	60,03	79,75	89,95
16	30,01	49,99	59,95	80,41	90,05
17	30,02	49,97	59,93	79,91	90,05
18	30,00	50,02	59,96	79,84	89,98
19	30,00	49,97	59,98	80,40	90,03
20	29,99	50,00	60,00	80,31	89,91
21	29,96	49,98	59,91	80,39	89,88
22	30,01	50,01	60,07	80,19	90,04
23	30,01	49,99	60,03	79,82	90,01
24	29,99	49,98	59,88	80,40	90,05
25	30,03	50,00	60,11	79,94	90,19
26	29,98	50,01	60,14	80,17	90,08
27	30,00	50,00	60,09	80,20	89,93
28	30,00	50,01	59,99	79,97	90,09
29	30,02	49,99	59,92	80,13	89,89
30	30,02	49,99	60,08	80,19	89,96

Tabla 4. 8. Ingreso de los valores a ser analizados

		30 mm	50 mm	60 mm	80 mm	90 mm
N	Válido	30	30	30	30	30
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		30,0066	49,9942	59,9900	80,1073	90,0077
Mediana		30,0061	49,9929	59,9816	80,1387	90,0186
Desv. estándar		,01650	,01828	,07238	,21385	,07432
Varianza		,000	,000	,005	,046	,006
Mínimo		29,96	49,96	59,87	79,72	89,88
Máximo		30,03	50,04	60,14	80,41	90,19

En la siguiente tabla se puede obtener parámetros estadísticos muy importantes de cada una de los datos obtenidos, se pueden observar parámetros como: media, límites inferiores y superiores, mediana y desviación estándar.

4.6 Análisis e interpretación de las gráficas de frecuencias

- **Longitud 30 mm**

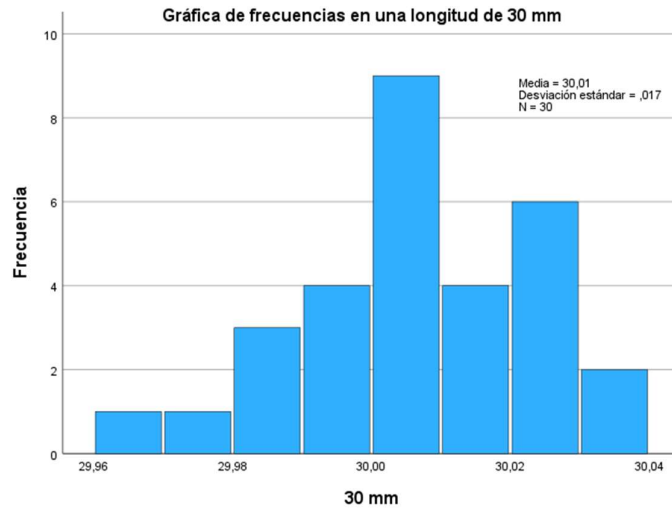


Figura 4. 20. Gráfica de frecuencias para una longitud de 30mm (Autor)

La distribución de frecuencias obtenida a partir de las 30 mediciones, nos indica que los valores se encuentran en un rango de 29.96 a 30.03, lo que indica una distribución estable con mínimas variaciones. La distribución refleja una tendencia uniforme y consistente, evidenciando estabilidad en los datos obtenidos.

- **Longitud 50 mm**

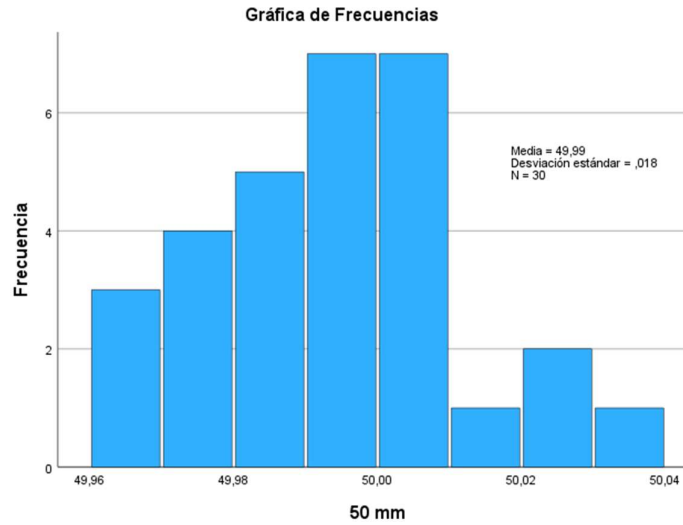


Figura 4. 21. Gráfica de frecuencias para una longitud de 50mm (Autor)

La distribución de frecuencias obtenida a partir de las 30 mediciones muestra que los valores se encuentran en un rango de 49.96 a 50.04. Se observa que los datos presentan una ligera dispersión, pero sin valores extremos significativos, lo que refleja una tendencia uniforme, esto indica que los datos se encuentran en un margen controlado.

- Longitud 60 mm

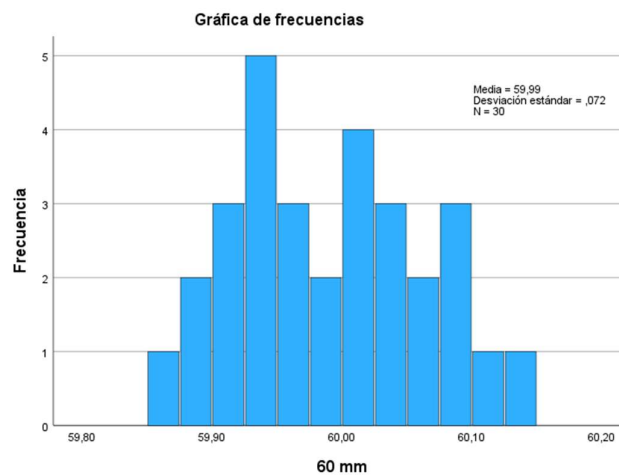


Figura 4. 22. Gráfica de frecuencias para una longitud de 60mm (Autor)

La distribución de frecuencias obtenida a partir de las 30 mediciones muestra que los valores se encuentran en un rango de 59.87 a 60.14, Además se puede observar algunas

mediciones más alejadas, como 59.87 y 60.14, que podrían representar pequeñas fluctuaciones en las mediciones. Esta distribución nos da como resultado evidenciar que los datos se mantienen dentro de un margen controlado.

- **Longitud 80 mm**

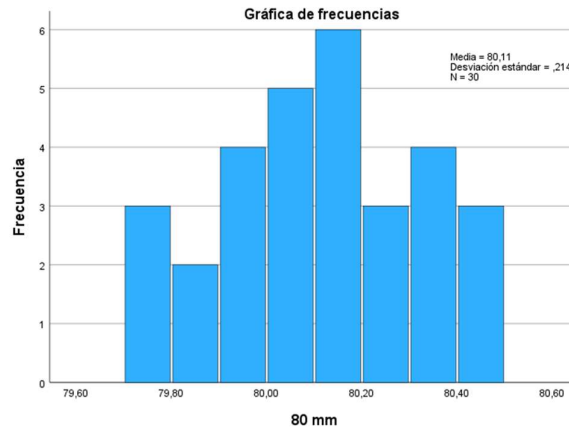


Figura 4. 23. Gráfica de frecuencias para una longitud de 80mm (Autor)

La distribución de frecuencias obtenida a partir de las 30 mediciones muestra que los valores se encuentran en un rango de 79.72 a 80.41, Se puede observar que existen valores más alejados, como 79.72 y 79.73, que podrían deberse a pequeñas fluctuaciones en las mediciones. En general, la gráfica nos presenta una tendencia consistente con variaciones mínimas, lo que sugiere precisión en los datos obtenidos.

- **Longitud 90 mm**

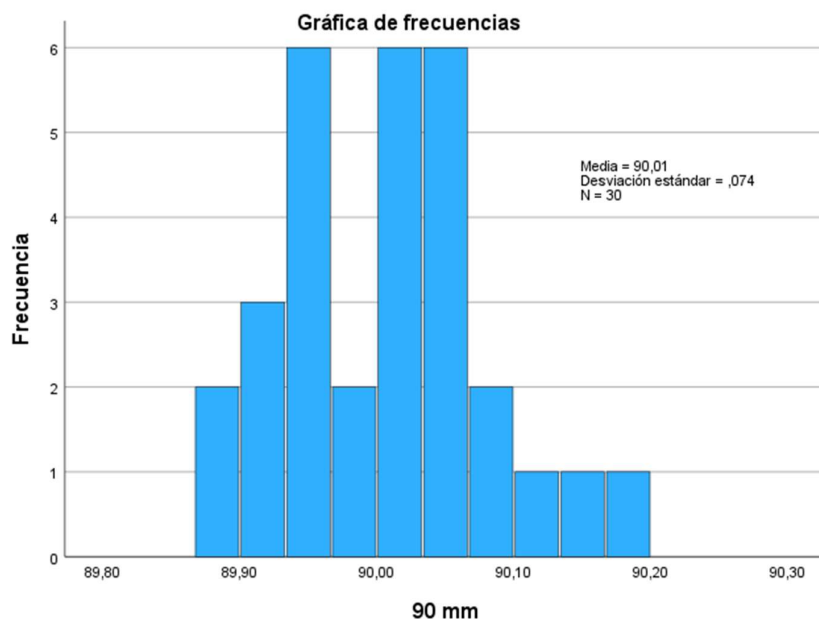


Figura 4. 24. Gráfica de frecuencias para una longitud de 90mm (Autor)

La gráfica presentada de frecuencias obtenida a partir de las 30 mediciones obtenidas, muestra que los valores se encuentran en un rango de 89.88 a 90.19. Se puede observar que los datos presentan una ligera dispersión, aunque sin valores en sus extremos, lo que sugiere precisión en las mediciones. Es por eso que se puede decir que la distribución refleja una tendencia uniforme evidenciando estabilidad en los datos obtenidos.

4.6.2 Desviación estándar

Tabla 4. 9. Desviación estándar y clasificación (Autor)

Valor Nominal (mm)	Media (mm)	Desviación Estándar (mm)	Clasificación
30	30,01	0,02	Excelente
50	49,99	0,02	Excelente
60	59,99	0,07	Buena
80	80,11	0,09	Buena
90	90,01	0,07	Buena

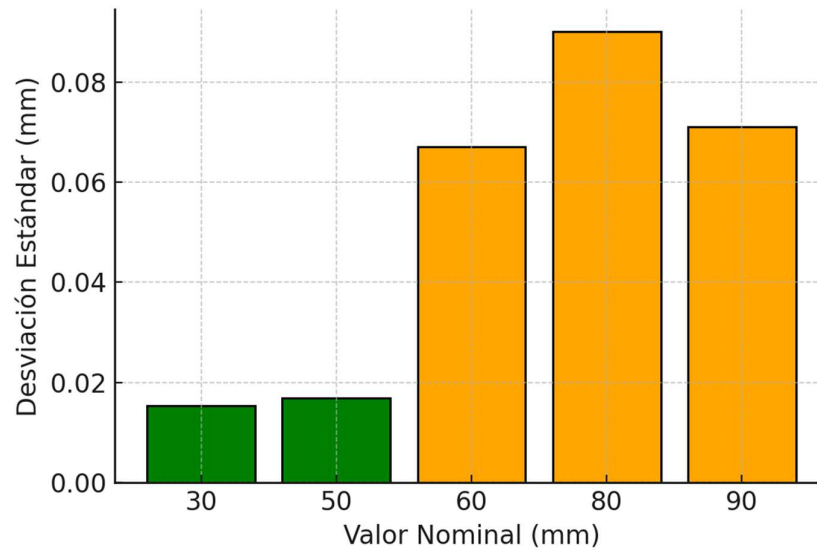


Figura 4. 25. Grafica de la desviación estándar (Autor)

4.6.3 Prueba de material

La adherencia de la tinta a un sustrato es un factor crítico en la impresión y fabricación de circuitos impresos flexibles. Dependiendo del material, la tinta puede presentar diferentes niveles de adhesión debido a variaciones en la rugosidad superficial, la energía superficial y la composición química del sustrato.

Para esta prueba se analizaron dos tipos de sustratos diferentes, estos son:

- **Papel:** El papel es un material poroso y absorbente, posee varias utilidades, pero un uso común es para las impresiones convencionales.
- **Lámina de Acetato:** Este es un material plástico, es liso y no contiene porosidades, utilizado comúnmente para impresiones de alta resistencia.

La elección de estos materiales papel y acetato fueron obtenidos mediante un estudio y debido a las características que presenta cada una de estas opciones. La una opción posee características opuestas en términos de absorción y adherencia de la tinta.

Papel: Debido a su porosidad este material permite una absorción rápida de la tinta, lo que genera una adherencia elevada, esto puede hacer que el material extruido no se encuentre

como un cuerpo sólido y pierda sus características conductivas al momento de secarse, además puede presentar deterioro al pasar del tiempo.

Lámina de Acetato: Este material cuenta con una superficie lisa y no porosa, por lo que la adherencia de la tinta dependerá exclusivamente de la interacción entre la tinta y el material. La lamina de acetato posee diferentes espesores y para una mejor adherencia es crucial lijar el material para que la tinta se deposite de mejor manera y no se expanda.

Estos dos materiales son muy diferentes para determinar una adherencia significativamente mejor y evaluar el comportamiento de la tinta en distintos sustratos.

4.6.4 Procedimiento

Para esta prueba de adherencia de la tinta en los sustratos se realizaron bajo condiciones controladas, y se realizó de la siguiente manera:

- Preparar los Sustratos. Se cortaron muestras cuadradas de papel y acetato de igual tamaño (aproximadamente que tengan estas dimensiones 10 cm x 10 cm).
- Fundamental limpiar la superficie del acetato con alcohol, esto nos contribuye para eliminar residuos que afecten a la adhesión.
- Se mantuvo el papel en condiciones ambientales estándar (temperatura 25°C, humedad relativa 50%).
- Se utilizó la impresora 3 D de tintas conductivas para imprimir un patrón en cada sustrato.
- Se dejaron secar las muestras durante 24 horas en condiciones controladas.

4.6.5 Prueba de Adherencia

Se tomaron 30 mediciones de adherencia para cada sustrato, se utilizó un método de raspado mecánico con una cuchilla, se aplicó una fuerza constante y se midió la cantidad de tinta removida en cada prueba.

La medición se expresó en una escala de 0 a 100, donde:

- 0 representa una adherencia nula (toda la tinta removida).
- 100 representa una adherencia perfecta (sin desprendimiento visible).

4.6.6 Resultados y Análisis



Figura 4. 26. Prueba de adherencia (Autor)

Las mediciones se analizaron estadísticamente para obtener cual es la adherencia del sustrato, para ello se evaluaron en 30 muestras donde nos dio los siguientes valores:

Tabla 4. 10. Mediaciones de adherencia de las impresiones (Autor)

Muestra	Adherencia Papel	Adherencia Acetato
1	73	86
2	59	92
3	56	76
4	36	79
5	52	78
6	51	70
7	54	77
8	49	77
9	55	88
10	50	81
11	42	74
12	64	85
13	64	80
14	72	73
15	56	79
16	51	79
17	50	78
18	40	82
19	65	71
20	44	81

21	43	87
22	53	86
23	70	88
24	57	88
25	45	89
26	48	76
27	61	86
28	53	73
29	47	79
30	53	72

4.6.7 Resumen de procesamiento de casos

Tabla 4. 11. Tabla de procesamiento de casos

	Válido		Perdidos			Total
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Adherencia Papel	30	100,0%		0,0%	30	100,0%
Adherencia Acetato	30	100,0%		0,0%	30	100,0%

En la siguiente tabla podemos observar que los datos cargados al software fueron en su totalidad ingresados.

Tabla 4. 12. Tabla de descripción de datos

4.6.8 Descriptivos

				Estadístico
Adherencia Papel	Media			53,75
	95% de intervalo de confianza para la media			
	Límite inferior			50,30
	Límite superior			57,20
	Mediana			52,82
	Varianza			85,536
	Desv. estándar			9,249
	Mínimo			36
	Máximo			73

Adherencia Acetato	Media			80,33
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior		78,10
		Límite superior		82,56
	Mediana			79,04
	Varianza			35,735
	Desv. estándar			5,978
	Mínimo			70
	Máximo			92

En la siguiente tabla mediante el software SPS hemos podido adquirir valores estadísticos como son: media, límites inferiores y superiores, mediana, desviación estándar, varianza, estos valores son de mucha importancia para los siguientes procedimientos a continuación.

Tabla 4. 13. Pruebas de normalidad.

4.7 Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Adherencia Papel	,105	30	,200*	,974	30	,644
Adherencia Acetato	,127	30	,200*	,961	30	,337

La siguiente tabla de pruebas de normalidad podemos indicar que por el número de datos evaluados vamos a tomar el test estadístico de Shapiro-Wilk para evaluar si un conjunto de datos sigue una distribución normal. Se observa el estadístico de la prueba, los grados de libertad (gl) y el valor de significación (Sig.). En los dos casos de adherencia, los valores de significación son mayores a 0.05, lo que nos indica que no se rechaza la hipótesis nula. Esto sugiere que los datos analizados siguen una distribución normal, permitiendo el uso de pruebas estadísticas paramétricas en los análisis posteriores.

4.8 Gráfica de Frecuencias

4.8.2 Adherencia en papel. –

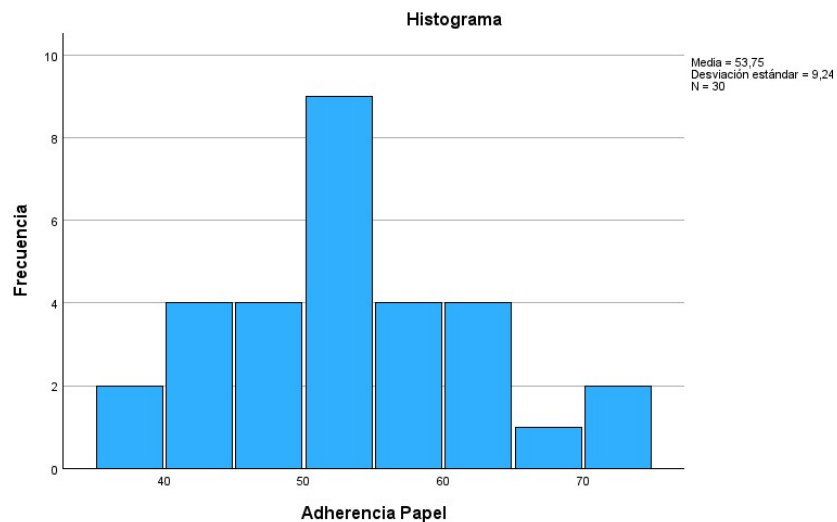


Figura 4. 27. Gráfica de frecuencias para los valores obtenidos de adherencia en papel (Autor)

La gráfica de distribución de frecuencias obtenida muestra que los valores se encuentran en un rango de 36 a 73, con una mayor concentración en los valores intermedios, lo cual se observa una distribución moderadamente dispersa, con lo que nos indica que la distribución encontrada indica un comportamiento estable de los datos con mínimas variaciones que se encuentren en un margen esperado.

4.8.3 Adherencia en acetato. –

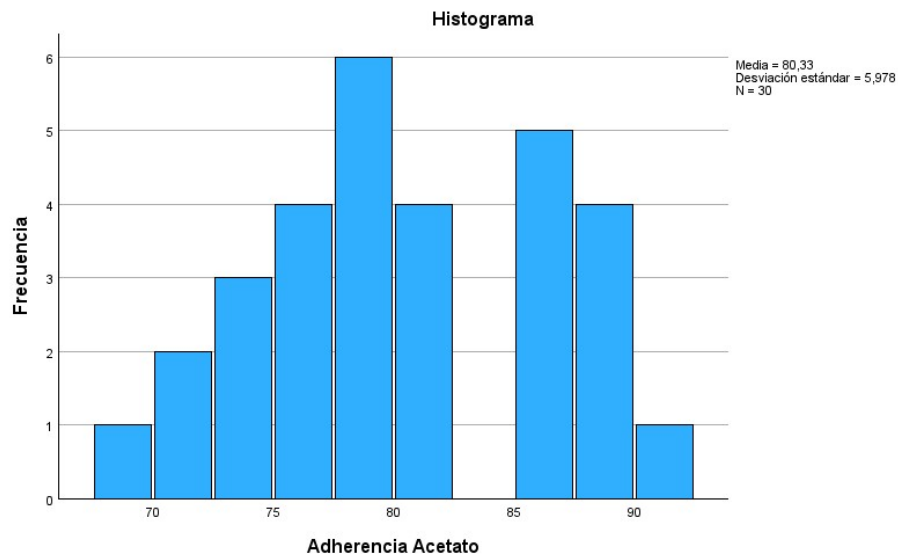


Figura 4. 28. Gráfica de frecuencias para los valores obtenidos de adherencia en acetato (Autor)

La gráfica de distribución de frecuencias obtenida muestra que los valores se encuentran en un rango de 70 a 92, con una mayor concentración en los valores entre 76 y 88. Esta gráfica también refleja la no presentación de frecuencias en una sección, esto indica la ausencia de datos en estos intervalos mostrados, el motivo pueden ser factores debido a variaciones en los datos adquiridos o a la naturaleza de la muestra que se analizó.

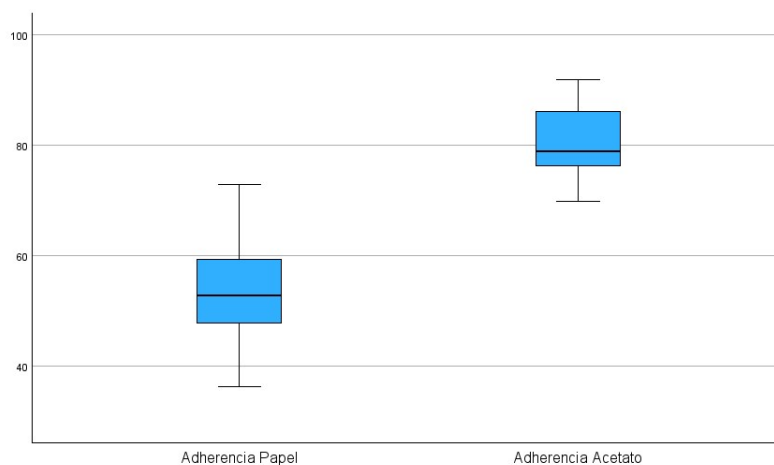


Figura 4. 29. Gráfica de cajas para los valores obtenidos de adherencia en acetato (Autor)

En la siguiente figura podemos describir la comparación que existe en la adherencia sobre papel y acetato mediante un gráfico de cajas. Se observa que la adherencia en acetato presenta valores medianos más altos, esto nos indica una mayor y más constante adherencia.

4.9 Prueba de hipótesis

- Adherencia. -

Hipótesis nula: No existe diferencia significativa en la adherencia media entre papel y acetato.

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2$$

Hipótesis alternativa: Existe una diferencia significativa en la adherencia media entre papel y acetato.

$$H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$$

Una vez establecido con el valor de sig. (P-valor) en la tabla podemos concluir que:

Tabla 4. 14. Descripción de resultados

	Estadístico	Shapiro-Wilk	
		gl	Sig.
Adherencia Papel	,974	30	,644
Adherencia Acetato	,961	30	,337

Dado que $P\text{-valor} > 0.05$, se **rechaza la hipótesis nula (H0)** con mucha confianza.

Después de los datos obtenidos, observamos que las diferencias en la adherencia entre los dos sustratos poseen valores significativamente de analizar. Esto resuelve que la lámina de acetato obtiene una mejor adherencia y más estable que el papel, validando el análisis técnico y estadístico.

Tabla 4. 15. Análisis estadístico.

4.9.2 Estadísticas de grupo

	TADH	N	Media	Desv. estándar	Media de error estándar
t	DHP	30	53,75	9,249	1,689
	ADHA	30	80,33	5,978	1,091

Se demuestra que la lámina de acetato posee una adherencia significativamente mayor en comparación con el papel, debido a la menor absorción y mayor cohesión superficial de la tinta. Además, en estas pruebas no se asumen varianzas iguales.

4.9.3 Prueba de resistencia de la tinta conductiva

Esta prueba tiene como finalidad evaluar la resistencia que presenta cada una de las líneas impresas con tinta conductiva, de esta manera asegurando que se pueda transmitir corriente de manera eficiente para su aplicación. Para esto, se tomaron mediciones de resistencia eléctrica en diferentes segmentos de las líneas impresas, utilizando un multímetro digital.

Para esta prueba se analizaron en dos etapas, las etapas consistieron en la impresión de un patrón de impresión que consta de 6 líneas conductivas con un largo de 7.5 cm, el ancho de la línea es diferente en cada etapa debido a la boquilla de impresión, este patrón se imprimió 4 veces y se consideraron 20 mediciones por cada etapa.

En la primera etapa se analizó la resistencia en cada línea obteniendo un total de 20 mediciones de resistencia, para esta etapa cada línea posee una distancia de 7.5 cm de largo por 1.5 mm de ancho este valor fue obtenido de la impresión mediante una boquilla de la impresora que posee un diámetro de 0.8 mm.

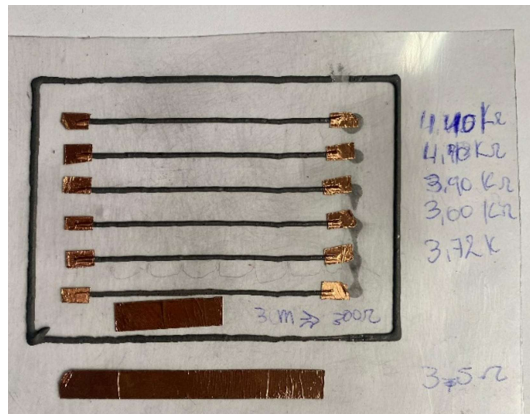


Figura 4. 30. Toma de valores de la resistencia que posee cada línea conductiva. (Autor)

En la segunda etapa se analizó la resistencia en cada línea obteniendo un total de 20 mediciones de resistencia, para esta etapa cada línea posee una distancia de 7.5 cm de largo por 2 mm de ancho este valor fue obtenido de la impresión mediante una boquilla de la impresora que posee un diámetro de 1.2 mm.

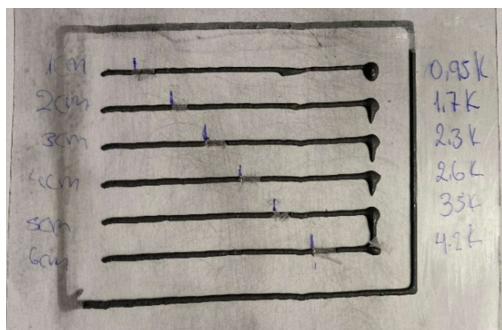


Figura 4. 31. Toma de valores de la resistencia que posee cada línea conductiva. (Autor)

Los resultados obtenidos en la primera etapa muestran valores de resistencia dentro de un rango ($3.70\text{ K}\Omega$ a $4.40\text{ K}\Omega$ por la longitud en cada línea impresa).

Para la segunda etapa con las indicaciones anteriormente descritas se pudo observar en las mediciones que existen valores de resistencia dentro de un rango ($2.35\text{ K}\Omega$ a $2.73\text{ K}\Omega$ por la longitud en cada línea impresa). lo que indica tener una resistencia menor que la etapa uno, obteniendo una buena conductividad del material. En esta etapa se observa una ligera variación en función del grosor de las líneas, además, donde las líneas de impresión más gruesas presentaron un valor de resistencia menor y considerable que en la primera etapa.

4.9.3.1 Procedimiento de la prueba

- Se diseñó una muestra computarizada con dimensiones de largo y alto de la tinta.
- Se limpió y se lijo el sustrato, en este caso acetato para eliminar residuos que pudieran afectar la medición y tener una mejor adherencia de la tinta en el sustrato.
- Se utilizó un multímetro digital, se colocó la perilla en resistencia para poder hacer las mediciones pertinentes.
- Se colocaron las puntas de prueba del multímetro en los extremos de cada línea impresa.
- Para medir con mayor exactitud los valores de resistencia las puntas del multímetro deben estar firmes para evitar interferencias en la medición.
- Se registraron los valores de resistencia obtenidos en cada medición.
- Se repitió la medición para las 20 muestras obtenidas.
- Se calcularon varios datos estadísticos para sus pruebas pertinentes.

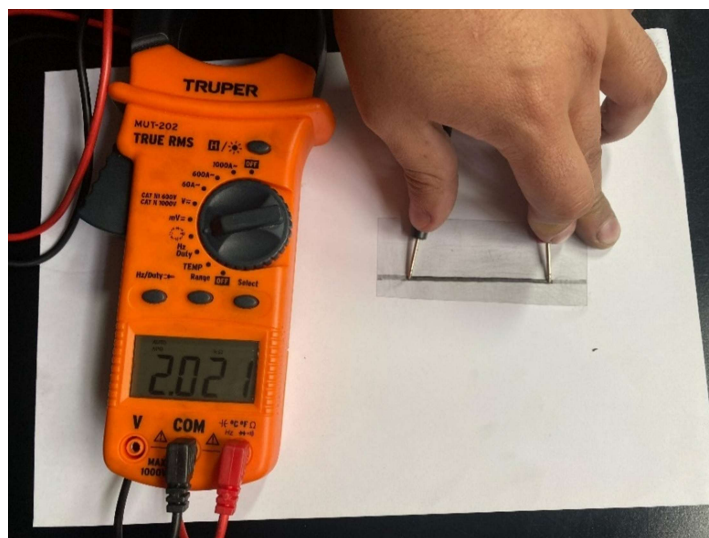


Figura 4. 32. Medición de resistencia de la impresión (Autor)

Tabla 4. 16. Prueba de resistividad.

Prueba de Resistencia		
	Boquilla 0.8 mm	Boquilla 1.2 mm
Item	Resistencia1 KΩ	Resistencia2 KΩ
1	4.4	2.39
2	4.28	2.56
3	3.92	2.73
4	3.76	2.28
5	3.72	2.47
6	4.25	2.65
7	4.14	2.51
8	4.08	2.48
9	3.96	2.62
10	3.71	2.71
11	3.88	2.43
12	4.06	2.46
13	4.24	2.65
14	4.32	2.7
15	3.81	2.39
16	3.95	2.44
17	3.75	2.65
18	4.15	2.61
19	4.33	2.51
20	4.29	2.47

A continuación, se obtendrán los datos estadísticos y graficas correspondientes de los datos obtenidos:

Tabla 4. 17. Resumen de resultados.

4.10 Resumen de procesamiento de casos

	Válido		Casos Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Item	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
Resistencia $K\Omega$	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
Resistencia $K\Omega$	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%

Tabla 4. 18. Tabla de valores descriptivos.

4.10.2 Valores descriptivos

			Estadístico
Boquilla 8mm Resistencia $1K\Omega$	Media		4,0500
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,9427
		Límite superior	4,1573
	Mediana		4,0700
	Varianza		,053
	Desv. estándar		,22937
Boquilla 1.2 mm Resistencia $K\Omega$	Media		2,5355
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,4772
		Límite superior	2,5938
	Mediana		2,5100
	Varianza		,015
	Desv. estándar		,12450

En la tabla anterior se pueden observar para cada etapa sus valores estadísticos como son media, límite inferior y superior, mediana, desviación estándar y varianza, a través de estos datos podemos realizar un análisis estadístico.

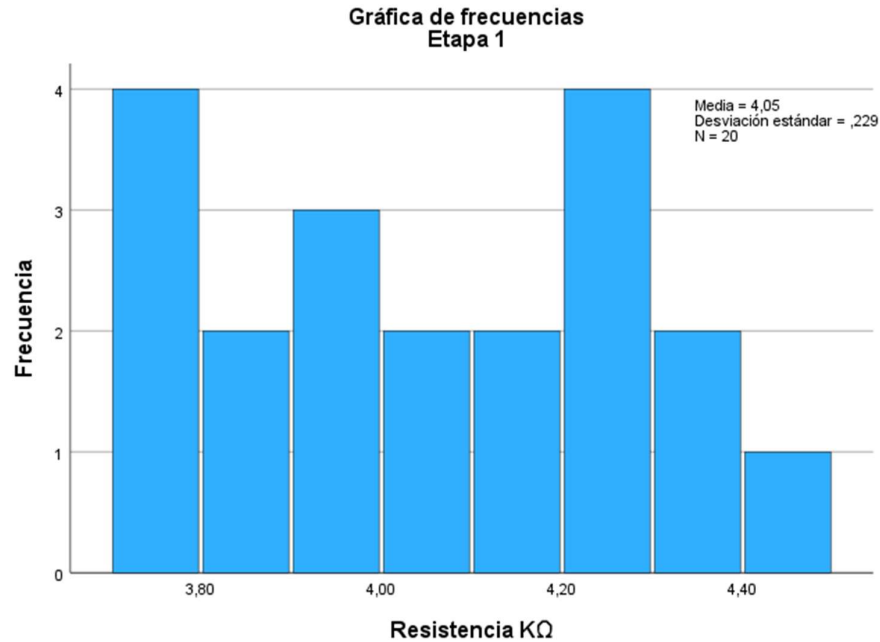


Figura 4. 33. Gráfica de Frecuencias de los datos adquiridos de la etapa 1. (Autor)

La siguiente grafica de frecuencias nos muestran una distribución equilibrada en su gráfica y comportamiento de los datos, con la mayoría de los valores muy cercanos al promedio de estos valores. Se observa que no se encontraron repeticiones exactas, esto nos puede indicar diversidad en las mediciones. Por lo refleja que los resultados fueron consistentes y no se alejaron mucho entre sí.

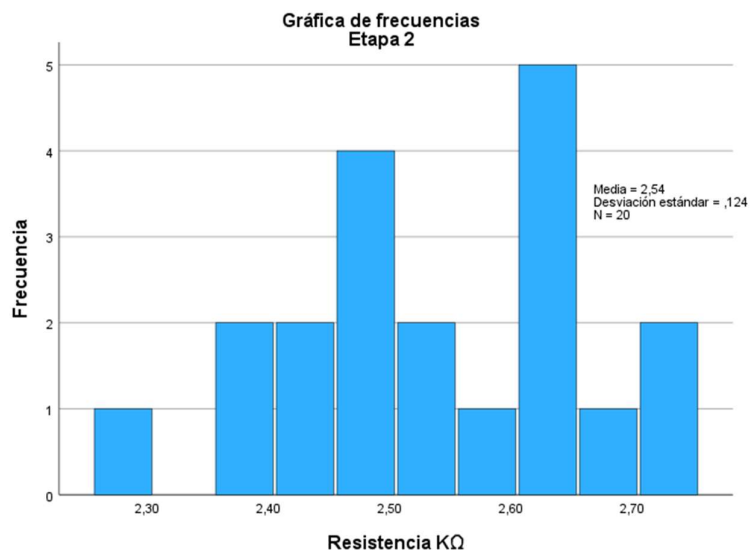


Figura 4. 34. Gráfica de Frecuencias de los datos adquiridos de la etapa 2. (Autor)

Los valores analizados que se muestran en la gráfica de frecuencias, nos presentan una distribución que podemos decir es centrada, es decir la mayoría de los datos obtenidos están cercanos al valor promedio. Existe una ligera repetición en uno de los valores y se observa una ligera recurrencia en ciertos valores. Se argumenta que los datos fueron consistentes y uniformes en general.

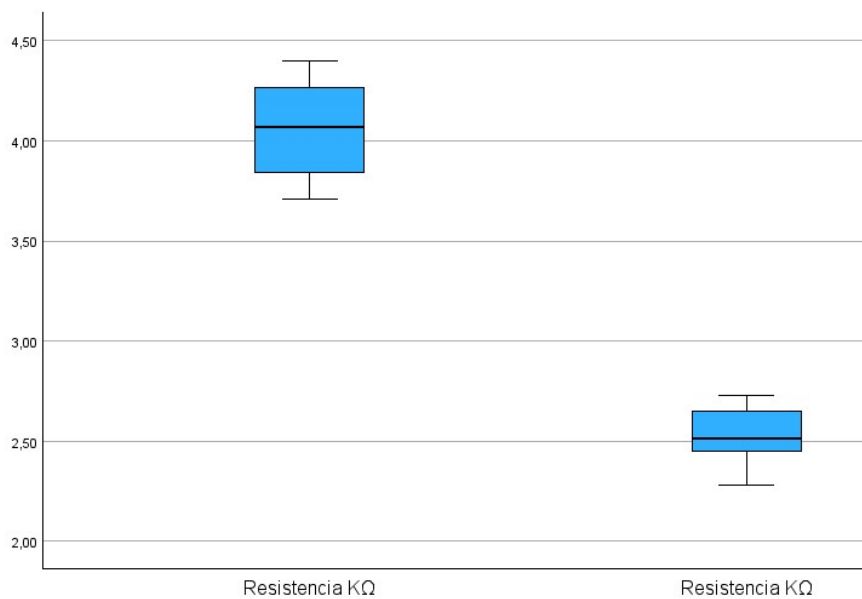


Figura 4. 35. Gráfica de Frecuencias de los datos adquiridos de la etapa 2. (Autor)

En la siguiente figura, se observa la comparación de la resistencia medida en dos grupos la primera corresponde a la primera etapa con un ancho de línea de 1.5 mm y la segunda etapa con un ancho de 2mm, a través de un gráfico de cajas, se observa que las resistencias del grupo 1 presentan valores más altos, mientras que el grupo 2 muestra valores más bajos y mayor homogeneidad, indicando una menor variabilidad en las mediciones.

Prueba T-Student

	RESISTENCIA	Media	Desv. estándar	Media de error estándar
VALORE	R1	4,0500	,22937	,05129
	R2	2,5355	,12450	,02784

			Si		Superio
			g.	Inferior	r
VAL ORES	Se varianzas iguales	asumen	,0 01	1,3963 6	1,63264
	No se varianzas iguales	asumen		1,3952 0	1,63380

4.10.3 Prueba de funcionalidad

Para la Prueba de Funcionalidad, se evaluará la capacidad de la impresora 3D de tintas conductivas para fabricar un circuito básico, este circuito consta de una resistencia de $1.1\text{ K}\Omega$ y un led, estos están conectados en serie. Esta prueba analizará la viabilidad de imprimir PCBs funcionales con esta tecnología, verificando la conductividad, integridad estructural y eficiencia del proceso.



Figura 4. 36. Funcionalidad de un circuito. (Autor)

4.10.3.1 Procedimiento

- Realizar el prototipo computarizado utilizando los medios correspondientes.
- Cargar la jeringa con tinta conductiva en nuestra impresora.
- Preparar el sustrato flexible, para esto limpiamos y lijamos el acetato para una mayor adherencia de la tinta.
- Establecer un tiempo de secado de la tinta conductiva.

- Agregar cinta de cobre en cada terminal de nuestra pista, esto nos permitirá soldar los componentes electrónicos.
- Soldamos los componentes electrónicos, cables de alimentación, resistencia y un led.
- Toma de valores correspondientes como: voltaje, resistencia y corriente.

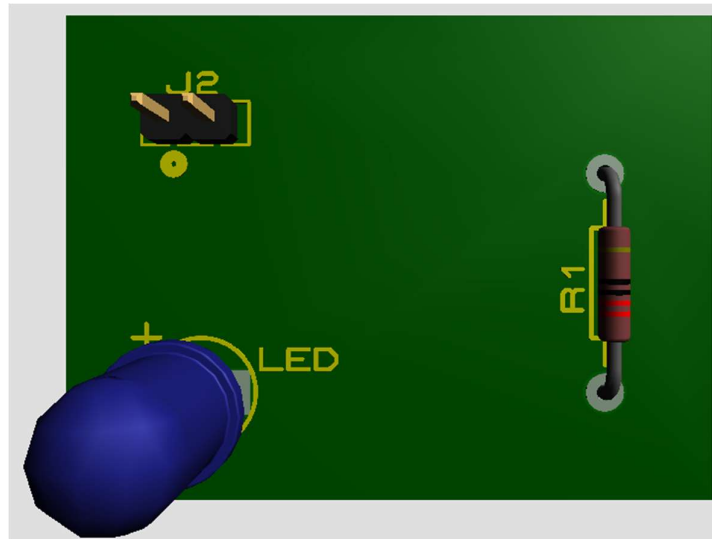


Figura 4. 37. Esquemático de la implementación del circuito. (Autor)

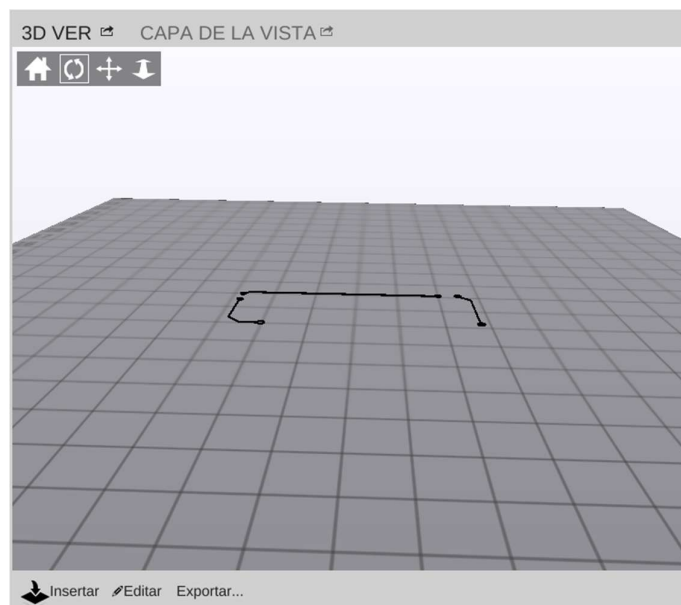


Figura 4. 38. Esquemático desde el software de impresión. (Autor)

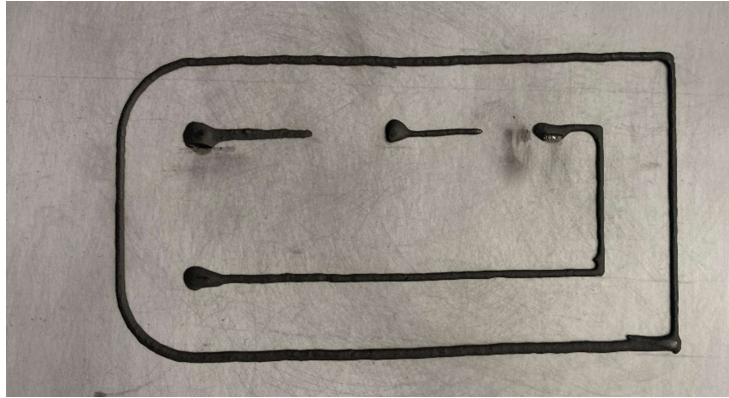


Figura 4. 39. Impresión con tinta conductiva del circuito. (Autor)



Figura 4. 40. Funcionamiento del circuito impreso con tintas conductivas. (Autor)

Para la prueba de funcionalidad una vez implementado el circuito y puesto en funcionamiento se procedieron a tomar medidas de referencia como voltaje, resistencia y corriente del circuito, también se analizará con el modelo computacional creado y se observará los valores que cambia uno con respecto al otro.

4.10.4 Modelo computacional

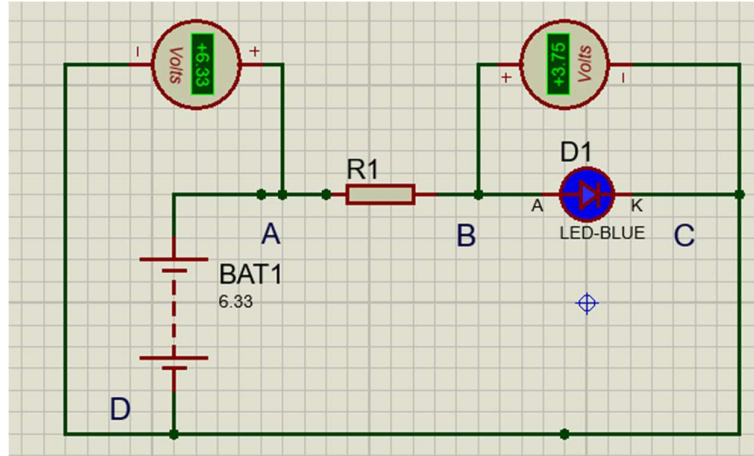


Figura 4. 41. Modelo computacional. (Autor)

4.10.5 Resultado

En nuestro estudio también se tomaron las mediciones de voltaje en el punto A y en el punto B como se muestra en la figura 4.14, las medidas obtenidas de voltaje son:

$$V_A = 6.33 \text{ V}$$

$$V_B = 3.15 \text{ V}$$

También se tomaron medidas de resistencia en los mismos puntos, teniendo como resultado:

$$R_A = 1.4 \text{ K}\Omega$$

$$R_B = 1.98 \text{ K}\Omega$$

$$R_C = 3.2 \text{ K}\Omega$$

$$R_D = 3.9 \text{ K}\Omega$$

Se puede calcular mediante la ley de Ohm la corriente que pasa por el circuito, esto se calcula de la siguiente manera:

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{V_B - V_A}{R}$$

$$I = \frac{6.33 - 3.55}{1.1} = \frac{2.78}{1.1} = 2.5 \text{ mA}$$

Análisis de frecuencia del circuito

Como es mi caso, es la implementación de un circuito simple de encendido de LED con una batería o fuente DC (corriente directa) para este caso no hay frecuencia, porque el circuito opera en corriente continua. Es decir, el LED simplemente está encendido de forma constante mientras tenga alimentación.

Cuando se fabrica una PCB con tinta conductiva, la tinta funciona igual que las pistas de cobre de una placa normal, como principal funcionamiento es conducir electricidad por las pistas.

La frecuencia a la que trabaja el circuito depende completamente del diseño del circuito y sus componentes, no de la tinta.

Para la fabricación de circuitos impresos que pueden ser; alarmas, osciladores con 555 y microcontroladores, la frecuencia máxima que puede soportar la tinta conductiva depende principalmente de estos tres factores:

Resistencia del material. –

La tinta comercial Bare Conductive, tiene mucha más resistencia que el cobre (a menudo entre 10–1000 Ω/cm), lo que genera pérdidas resistivas a medida que subes la frecuencia.

Geometría de las pistas. –

Las pistas largas y delgadas actúan como resistencias, y a frecuencias altas empiezan a comportarse como inductancias y capacitores, lo que distorsiona o bloquea señales rápidas.

Interferencia electromagnética (EMI). –

A frecuencias muy altas (MHz), las pistas empiezan a emitir o captar ruido, empeorando el desempeño.

4.11 Análisis de resultados

Las pruebas realizadas en la impresora 3D de tintas conductivas tienen como objetivo evaluar la precisión de diseños impresos, repetibilidad de patrones, adherencia de la tinta en distintos sustratos, resistencia de la tinta conductiva y la funcionalidad de un circuito implementado mediante la impresora 3D con extrusor directo para tintas conductivas. Se analizaron estadísticamente los datos obtenidos en cada una de las pruebas para validar el desempeño del sistema de impresión y su aplicabilidad en la fabricación de circuitos impresos. De estas pruebas se puede dar como resultados los siguientes aspectos de cada una de ellas

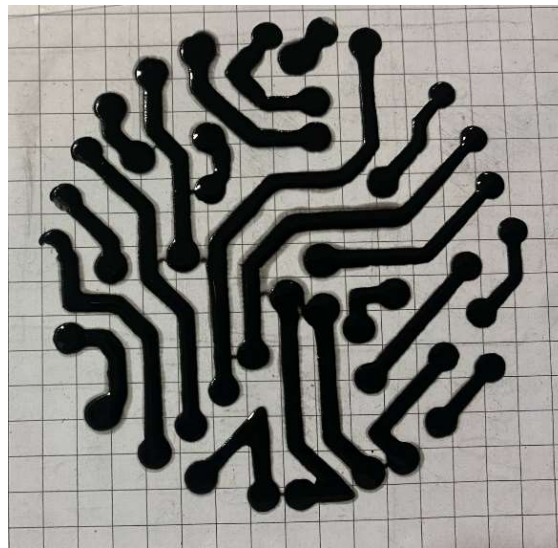


Figura 4. 42. Impresión en acetato de circuito PCB (Autor)

4.11.2 Análisis de la Prueba de Dimensiones

Esta prueba evaluó la capacidad de la impresora 3D para imprimir líneas con grosores de 1 mm, 2 mm, 3 mm y 4 mm sobre un sustrato de acetato. Se realizaron 30 mediciones con un calibrador digital de alta precisión para verificar la fidelidad de la impresión con respecto al diseño digital.

4.11.2.1 Resultados de la prueba de dimensionamiento

La media de las mediciones se mantiene muy cercana a los valores nominales, lo que indica que la impresora logra una alta precisión dimensional. La desviación estándar obtenida para cada dimensión se encuentra en un rango menor a 0.01 mm, lo que evidencia una baja variabilidad en el proceso de impresión. También se observó que la precisión no depende del grosor de la línea, ya que no hay una tendencia significativa en la desviación estándar conforme aumenta el tamaño del trazo.

La impresora 3D demostró ser capaz de imprimir líneas con una precisión dentro de un margen de error de ± 0.06 mm con una boquilla de diámetro 0,4 mm y un margen de error de ± 0.1244 utilizando una boquilla de 0.8 mm, lo cual es adecuado para la fabricación de circuitos impresos. Además, la baja variabilidad en la impresión sugiere que el sistema es confiable en la replicación de dimensiones.

4.11.3 Análisis de la Prueba de Repetibilidad

Esta prueba evaluó la capacidad de la impresora para replicar el mismo patrón de impresión en 30 repeticiones, asegurando la uniformidad de las dimensiones a lo largo del tiempo. Se imprimieron líneas de 30 mm, 50 mm, 60 mm, 80 mm y 90 mm, y se midieron sus dimensiones reales.

4.11.3.1 Resultados

Las mediciones obtenidas presentan una media cercana a los valores nominales, confirmando que la impresora mantiene una alta fidelidad dimensional en cada repetición. La desviación estándar varía entre 0.02 mm y 0.09 mm, clasificando la precisión de la impresión como Excelente o Buena dependiendo de la longitud evaluada. Por otro lado, se identificó que factores como la calibración de la boquilla y la densidad de la tinta afectan la repetibilidad, aunque en general el desempeño fue consistente.

El análisis de repetibilidad indica que la impresora tiene un alto grado de estabilidad y precisión en la reproducción de patrones de impresión. La variabilidad observada está dentro de los parámetros aceptables para aplicaciones electrónicas.

4.11.4 Análisis de la Prueba de Material

Esta prueba evaluó la adherencia de la tinta conductiva en dos tipos de sustratos: papel y lámina de acetato. Se realizaron 30 mediciones de adherencia utilizando un método de raspado mecánico y se midió la cantidad de tinta removida en una escala de 0 a 100.

4.11.4.1 Resultados de material

La lámina de acetato presentó una media de adherencia de 80.33%, clasificándola como Alta. El papel obtuvo una media de adherencia de 53.75%, clasificándola como Baja debido a su porosidad. La desviación estándar en el papel fue 9.24, lo que indica una mayor variabilidad en la adherencia debido a la absorción irregular de la tinta.

La lámina de acetato es un mejor sustrato para la impresión de circuitos conductivos debido a su mayor cohesión superficial y menor variabilidad en la adherencia. Por otro lado, el papel no garantiza una adherencia estable, lo que podría afectar la durabilidad de los circuitos impresos. Además se comprobó mediante un análisis estadístico T-Student que el acetato es un mejor sustrato.

4.11.5 Análisis de la Prueba de resistencia de la tinta conductiva

Se evaluó la conductividad de las líneas impresas con tinta conductiva, para tomar estas mediciones se dividió en dos etapas, la primera se realizaron impresiones con una boquilla de diámetro 0.8 mm, la segunda etapa con una boquilla de 1.2 mm, dando como resultado para cada etapa un ancho diferente para las líneas impresas, en esta etapa se midieron valores de resistencias en 20 muestras cada una con una longitud de 7.5 cm, para estas mediciones se utilizó un multímetro digital.

4.11.5.1 Resultados

Mediante la comprobación de las pruebas se puede comprobar que mientras más gruesa es la línea conductora a base de tinta posee valores menores de resistencia, por lo tanto, esto demuestra que mientras más delgada y larga la línea conductiva posee valores de resistencia muy elevados.

4.11.6 Análisis de Resultados de la Prueba de Funcionalidad

Esta prueba tiene como finalidad y objetivo evaluar el desempeño y la capacidad de la impresora 3D de tintas conductoras para fabricar las líneas de un circuito básico para la elaboración del mismo, este es el caso un circuito básico conectando sus componentes en serie para encender un LED. Este parámetro permite determinar si el proceso de impresión es viable, reproducible y confiable para la fabricación de PCBs flexibles.

4.11.6.1 Resultados

Para validar el desempeño del circuito impreso, se realizaron mediciones de resistencia en las pistas y caída de tensión, lo que permitió determinar la calidad de la conducción eléctrica del material impreso. Se realizaron mediciones como tensión, resistencia y corriente del circuito, obteniendo los siguientes resultados clave:

Es muy importante para la impresión utilizar la boquilla de 1.2 mm para obtener una línea conductiva de 2 mm de ancho lo cual posee menores valores de resistencia y hace que un circuito sea más funcional, además para la implementación práctica es muy importante y necesaria la colocación de cinta de cobre en los terminales en donde deben ir los componentes electrónicos, es por eso que resulta compleja la implementación y muy cuidadosa debido a que se pueden romper la pista del circuito. Es por eso que se recomienda que la implementación de circuitos mediante la impresora 3D no tengan un grado alto de complejidad debido a la implementación final, también al momento del diseño las líneas tengan una distancia de 3 a 4 mm de impresión para que estas no se vean afectadas por contactos entre líneas conductoras.

4.11.7 Resumen de los análisis de pruebas

Tabla 4. 19. Tabla de análisis de resultados

Prueba	Objetivo	Resultados Clave	Conclusión
Dimensiones	Evaluar la precisión dimensional de las líneas impresas.	Precisión dentro de ± 0.06 mm, baja variabilidad.	La impresora mantiene una alta precisión dimensional.

Repetibilidad	Determinar la capacidad de la impresora para repetir diseños de manera consistente.	Desviación estándar confiable. Se pueden realizar impresiones confiables y repetibles	Alta estabilidad y consistencia en la repetición de patrones.
Adherencia de la Tinta	Analizar la adherencia de la tinta en papel y acetato.	Mayor adherencia en acetato, menor en papel.	El acetato es el sustrato más adecuado para impresión de PCBs.
Resistencia de la tinta	Evaluar, medir y tomar valores de resistencia de las líneas impresas.	Se realizó en dos etapas, cada una con una boquilla de diferente diámetro	Si posee un menor ancho de la línea conductiva existe más resistencia.
Funcionalidad del Circuito	Verificar la operatividad del circuito impreso en condiciones reales mediante un circuito básico.	Caída de tensión, valores de resistencia y corriente. Lo que resulta adecuado para PCBs de baja potencia.	El proceso es viable, existe un grado de complejidad en la fabricación de PCBs funcionales.

4.12 Costos de la implementación

El costo total para la implementación del sistema de extrusión directa en una impresora 3D cartesiana asciende a **\$1.168,00**, distribuido en dos categorías principales: Componentes eléctricos y electrónicos: Incluye tarjeta RUMBA Plus, motores paso a paso, drivers, finales de carrera, pantalla LCD, fuente de poder, estructura de aluminio, piezas impresas en 3D, kit de ejes y otros, con un subtotal de \$846.00. Materiales comprende tinta conductiva, material base y otros insumos necesarios, con un subtotal de \$232.00.

Cada uno de estos elementos necesarios anteriormente nombrados reflejan su importancia para la construcción y operación del sistema, tenemos como prioridad su funcionalidad y calidad en los componentes seleccionados.

4.12.2 Costos directos

Estos representan la mayor parte del presupuesto, ya que incluyen los componentes esenciales para la construcción y funcionamiento del sistema:

Tabla 4. 20. Costos directos

DESCRIPCIÓN	Cant.	Precio	Valor total
		Unitario	
		(\$)	(\$)
COMPONENTES ELECTRICOS Y ELECTRONICOS			
TARJETA RUMBA PLUS	1	\$ 65,00	\$ 65,00
MOTORES PASO A PASO	4	\$ 35,00	\$ 140,00
DRIVES DE MOTORES	4	\$ 6,00	\$ 24,00
FINALES DE CARRERA	3	\$ 3,00	\$ 9,00
PANTALLA LCD	1	\$ 20,00	\$ 20,00
FUENTE DE PODER 12V	1	\$ 25,00	\$ 25,00
ESTRUCTURA DE ALUMINIO	1	\$ 80,00	\$ 80,00
IMPRESIONES 3D DEL EXTRUSOR	2	\$ 80,00	\$ 160,00
KIT DE EJES	1	\$ 100,00	\$ 100,00
OTROS	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Subtotal 1			\$ 846,00
MATERIALES			
TINTA CONDUCTIVA	3	\$ 54,00	\$ 162,00
MATERIAL BASE	10	\$ 2,00	\$ 20,00
OTROS	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Subtotal 2			\$ 232,00

TOTAL	\$ 1.078,00
--------------	--------------------

4.12.3 Costos indirectos

Estos comprenden los gastos complementarios, necesarios para la logística y operación del proyecto:

Tabla 4. 21. Costos indirectos.

DESCRIPCIÓN	COSTOS
Varios	40.00
Transporte	50.00
TOTAL	\$90

4.12.4 Costo total

Tabla 4. 22. Costos totales.

DESCRIPCIÓN	COSTOS
Costos directos.	\$ 1.078,00
Costos indirectos	\$90
TOTAL	\$ 1.168,00

4.13 Discusión

El presente trabajo de estudio demuestra que la implementación y elaboración de una impresora 3D de tintas conductivas es viable y eficiente para la fabricación de PCBs flexibles y circuitos electrónicos de baja potencia y de baja complejidad. A través de las distintas pruebas realizadas, se comprobó que la impresora mantiene una alta precisión dimensional, con un margen de error de ± 0.06 mm en la impresión del ancho de las líneas conductivas utilizando la boquilla de 0.4 mm y una variabilidad de sus medidas de ± 0.12644 cuando se utiliza la boquilla de 0.8 mm. Esto sugiere que el sistema de extrusión implementado es adecuado para la manufactura de circuitos impresos con alta fidelidad respecto al diseño original, lo que es un aspecto clave en la industria electrónica y de telecomunicaciones.

En términos mediante la prueba repetibilidad, los resultados obtenidos indican que la impresora logra una consistencia estable para la elaboración y producción de patrones conductores. Sin embargo, se identificaron factores fundamentales como el manejo de densidad de la tinta, calibración de la boquilla del extrusor y cama de impresión, calibración, son factores que pueden afectar la extrusión y la deposición del material. Para trabajos futuros y mejoramiento del sistema, se recomienda implementar un sistema de control automático en donde trabaje la extrusión adecuadamente con el tipo de densidad que contenga la tinta, de esta manera optimizar la cantidad de tinta dispensada y reducir las pequeñas diferencias encontradas entre las mediciones.

La prueba de adherencia nos indica que la lámina de acetato es el sustrato más adecuado en este estudio para la impresión de circuitos, es fundamental indicar para que el acetato tenga una mejor adherencia debemos previamente limpiarlo y lijarlo. Para estudios futuros, se sugiere explorar y trabajar con diferentes sustratos como polímeros o materiales híbridos que mejoren la adherencia de la tinta y optimizar la conductividad de las pistas.

En cuanto a la prueba de resistencia que presenta la tinta, se encontró que los valores de resistencia de las líneas conductivas están dentro de los rangos esperados, lo que valida la funcionalidad de la tinta utilizada en circuitos electrónicos. No obstante, se observó una ligera variabilidad en la resistencia en función del grosor de las líneas, lo que sugiere que la uniformidad en la impresión aún puede ser mejorada. Sería recomendable realizar investigaciones adicionales sobre la composición química de la tinta conductiva, para desarrollar una formulación optimizada que garantice una conductividad aún más estable y uniforme.

Finalmente, la prueba de funcionalidad, en la cual se imprimió un patrón de un circuito básico con sus componentes conectados en serie para encender un LED, confirmando que la impresora 3D es capaz de producir estos patrones para posteriormente ensamblarlo y obtener el circuito deseado. Sin embargo, para ampliar la aplicación de este método en la industria, es fundamental mejorar el sistema de extrusión para la impresión mediante mecanismos más complejos y automatizados de esta manera permitir el desarrollo de circuitos con un grado alto de complejidad.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El análisis del estado del arte permitió abordar las diferentes tecnologías relacionadas con la impresión 3D de tintas conductivas, destacando características esenciales y requerimientos técnicos muy importantes para su implementación. Se estudiaron diferentes tipos de extrusores existentes en el mercado, desde sistemas de extrusión directa por jeringa hasta extrusores especializados, así como las características y métodos de aplicación de las tintas conductivas. La investigación realizada mostró que la impresión por extrusión directa puede considerarse una de las metodologías más convenientes y menos robusta en la implementación para alcanzar un control adecuado en la deposición de la tinta conductiva, debido al control que uno posee sobre la impresora. También se plantearon los problemas que se derivan de la densidad y de la resistividad que poseen las tintas, esto obligó a perfeccionar los criterios de selección. Se enfocó además en el análisis de la impresión en 3D, como el caso de estudio, y la posibilidad que poseen estas máquinas para ser adaptadas y modificadas. A partir de este estudio, se plantearon los principios en diseño del sistema de extrusor, cumpliendo con las condiciones establecidas de fabricación, confiable y eficaz para la implementación de circuitos impresos (PCBs).

Los procesos de diseño y optimización para el hardware de la impresora 3D permitieron la personalización deseada de la máquina para los requisitos específicos de un sistema de extrusión directa para tinta conductiva. Componentes principales como el sistema de alimentación, cama de impresión, velocidad de extrusión, temperatura y velocidad de los motores jugaron un rol principal al ser modificados para permitir una deposición controlable de material, de esta forma se adoptó un enfoque riguroso en el diseño del extrusor. Se realizaron mejoras significativas para mejorar la precisión al momento de depositar la tinta y eliminar preocupaciones de desajuste con la adhesión de la tinta en el sustrato. Se modificaron los sistemas de control de velocidad de los motores de la impresora para un rendimiento óptimo. Como resultado, mediante la configuración del hardware logrado, se produjo impresiones para placas de circuitos impresos de baja complejidad con resolución y conductividad aceptables.

El sistema desarrollado permitió la elaboración de circuitos impresos (PCBs) de baja complejidad, validando su funcionamiento. Mediante el control de los componentes se

verificó la precisión y repetibilidad en la impresión de patrones y la validación del método de fabricación de dispositivos electrónicos personalizados de baja complejidad.

En comparación con equipos existentes en el mercado y con métodos tradicionales para la fabricación de PCBs, el sistema mostró una reducción en costos de fabricación, y un sistema innovador para la elaboración de circuitos impresos que los métodos comúnmente utilizados. Además de no ser un equipo robusto, posee un menor impacto ambiental y la posibilidad de optimización resaltan su potencial como alternativa sostenible en la industria electrónica.

5.2 RECOMENDACIONES

- Optimización del extrusor y control de impresión. Es recomendable continuar con el perfeccionamiento de la impresora 3 D para tintas conductoras y el diseño del extrusor, con el objetivo principal de lograr una deposición más idónea de la tinta conductiva. Es por eso que se pueden considerar modificaciones en el sistema de presión del extrusor como el tamaño de la boquilla. De igual manera tener un control más preciso de los parámetros relacionados con la impresión, como son las velocidades de desplazamiento, lo que permitiría mejorar significativamente la calidad final de los circuitos producidos.
- Mejora en la adherencia y secado de la tinta. Investigar nuevas tendencias y formulaciones de tinta conductiva y otros tipos de sustratos con sus respectivos tratamientos previos a mejorar la adherencia y estabilidad de la tinta para la fabricación de circuitos impresos. También se recomienda evaluar sistemas de calor controlado, para acelerar el secado y evitar deformaciones de la tinta y del sustrato en las trazas realizadas.
- Análisis de escalabilidad y viabilidad comercial. Para profundizar el impacto de este sistema implementado, se crucial realizar estudios sobre la escalabilidad del proceso y su integración en la industria. Identificar su viabilidad comercial, costos de producción, utilización de mejores componentes de fabricación, de esta manera identificar posibles aplicaciones en sectores como la electrónica flexible que permitirá potenciar el uso y verificar su rentabilidad.

BIBLIOGRAFIA

- [1] K. Xia *et al.*, “Electrical Conductivity and Photodetection in 3D-Printed Nanoporous Structures via Solution-Processed Functional Materials,” *Adv. Mater. Technol.*, vol. 8, no. 23, p. 2300408, 2023, doi: 10.1002/admt.202300408.
- [2] A. Boumegnane, A. Nadi, O. Cherkaoui, and M. Tahiri, “Inkjet printing of silver conductive ink on textiles for wearable electronic applications,” *Mater. Today Proc.*, vol. 58, pp. 1235–1241, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.01.469.
- [3] V. Beedasy and P. J. Smith, “Printed Electronics as Prepared by Inkjet Printing,” *Mater. Today*, p. 23, Feb. 2020.
- [4] R. Faddoul, N. Reverdy-Bruas, and A. Blayo, “Formulation and screen printing of water based conductive flake silver pastes onto green ceramic tapes for electronic applications,” *Mater. Sci. Eng. B*, vol. 177, pp. 1053–1066, Aug. 2012, doi: 10.1016/j.mseb.2012.05.015.
- [5] J. Mayo Capella, *Dispositivos microfluidicos impresos en 3D: un enfoque alternativo para una variedad de aplicaciones*. 2023. doi: 10.13140/RG.2.2.30785.74084.
- [6] J. Guadalupe, J. Valle, M. Hoyos, and R. Verdejo, “Avances en el desarrollo de materiales compuestos de silicona para impresión 3D”.
- [7] C. Zhao, J. Wang, B. Qian, and Z. Zhang, “Preparation of paper-based conductive pattern for 3D printing,” *J. Phys. Commun.*, vol. 7, no. 3, p. 035003, Mar. 2023, doi: 10.1088/2399-6528/ac060d.
- [8] E. Malone and H. Lipson, “Fab@Home: the personal desktop fabricator kit,” *Rapid Prototyp. J.*, vol. 13, no. 4, pp. 245–255, Jan. 2007, doi: 10.1108/13552540710776197.
- [9] A. A. Kazemzadeh Farizhandi, Z. z Zamani Khalajabadi, V. Krishnadoss, and I. Noshadi, “Synthesized biocompatible and conductive ink for 3D printing of flexible electronics,” *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.*, vol. 110, p. 103960, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.jmbbm.2020.103960.
- [10] Y. Huang, M. C. Leu, J. Mazumder, and A. Donmez, “Additive Manufacturing: Current State, Future Potential, Gaps and Needs, and Recommendations,” *J. Manuf. Sci. Eng.*, vol. 137, no. 014001, Feb. 2015, doi: 10.1115/1.4028725.
- [11] B. Y. Ahn *et al.*, “Planar and Three-Dimensional Printing of Conductive Inks,” *JoVE J. Vis. Exp.*, no. 58, p. e3189, Dec. 2011, doi: 10.3791/3189.
- [12] E. Jabari, F. Liravi, E. Davoodi, L. Lin, and E. Toyserkani, “High speed 3D material-jetting additive manufacturing of viscous graphene-based ink with high electrical conductivity,” *Addit. Manuf.*, vol. 35, p. 101330, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.addma.2020.101330.

- [13] M. Vazquéz Nuñez, “DESARROLLO DE POLÍMEROS CONDUCTORES PARA CIRCUITOS FABRICADOS MEDIANTE IMPRESIÓN 3D,” UNIVERSIDAD DE CORUÑA, CORUÑA, 2020.
- [14] K. P. Tamayo Barrera, “Técnicas de impresión 3D con tinta de quitosano,” Universidad Central del Ecuador, Quito, 2022.
- [15] J. G. Odremán R, “Impresión 3D en la Industria: Un acercamiento a la tecnología y su influencia en la Industria Petrolera,” *Univ. Cienc. Tecnol.*, vol. 18, no. 73, pp. 166–180, Dec. 2014.
- [16] M. del C. García Fernández, *Estudio experimental in vitro de la fiabilidad de distintas técnicas de impresión en implantología*. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones, 2010. Accessed: Jun. 05, 2024. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.14352/47504>
- [17] C. Fonda, “Guía Práctica para tu Primera Impresión 3D,” p. 56, 2014.
- [18] D. Aguinsaca, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA 3D TIPO CARTESIANA PARA LA ELABORACIÓN DE PLACAS ELECTRÓNICAS TIPO SMD,” p. 169, 2017.
- [19] F. M. Acevedo Vallejo, “Estudio sobre la aplicación de las tecnologías de fabricación aditiva al sector aeronáutico y espacial. Impresión 3D,” Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, Sevilla, 2016. [Online]. Available: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/60376/fichero/PFC+FMAV+53594781C.pdf>
- [20] J. N. D. López, “Retos De La Cadena De Suministro Con La Inclusión De La Tecnología De Impresión 3d - Fabricación Aditiva Am,” *Cuad. Latinoam. Adm.*, vol. XIV, no. 27, 2018, Accessed: Jun. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/4096/409658132012/html/>
- [21] Valenciana, “E2.2 -- Investigación en nuevas metodologías de fabricación aditiva,” *Comunitat Valencia.*, p. 63, 2020 2019.
- [22] 3ders.org, “3ders.org - 3D printer and 3D printing news.” Accessed: Jun. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.3ders.org/>
- [23] A. Llamba, “SISTEMA DE IMPRESIÓN PARA EL DEPÓSITO DE SEMICONDUCTORES ORGÁNICOS EMBEBIDOS EN MATERIALES POLIMÉRICOS,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato, 2018.
- [24] 3dsystems, “Our Story | 3D Systems.” Accessed: Jun. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.3dsystems.com/our-story>
- [25] F. Acuña, D. Rivas, S. Chancusi, and P. Navarrete, “Diseño y Construcción de una Impresora 3D Auto- replicable Controlada Inalámbicamente para el Prototipado de

Piezas Plásticas, mediante Software Libre”. (“Diseño DE Impresora 3D-V2 Finalizado - Studocu”)

- [26] W. Ji Chen, “DISEÑO DE UN EXTRUSOR PARA IMPRIMIR CHOCOLATE,” UNIVERSIDAD POLITECTICA DE CATALUNYA, Barcelona, 2017.
- [27] C. Chua and K. F. Leong, *3D Printing and additive manufacturing: Principles and applications (with companion media pack) - fourth edition of rapid prototyping*. 2014, p. 518. doi: 10.1142/9008.
- [28] Filament2print.com, “El hotend. Funcionamiento y rendimiento térmico.” Accessed: Jun. 05, 2024. [Online]. Available: https://filament2print.com/es/blog/142_hotend-funcionamiento-rendimiento-termico.html
- [29] alciro.org, “Estructura de aluminio impresora alciro-3D, Impresora alciro-3D printer , alciro - Projects, alciro.org.” Accessed: Jun. 05, 2024. [Online]. Available: http://www.alciro.org/alciro/impresora-3D-printer_34/estructura-de-aluminio-alciro-3D-printer_580.htm
- [30] B. Berman, “3-D printing: The new industrial revolution,” *Bus. Horiz.*, vol. 55, no. 2, pp. 155–162, Mar. 2012, doi: 10.1016/j.bushor.2011.11.003.
- [31] pritonic.com, “Camas De Vidrio, Tantas Opciones.” Accessed: Jun. 05, 2024. [Online]. Available: <https://pritonic.com/page/camas-de-vidrio-tantas-opciones/>
- [32] Interempresas.net, “Una impresora 3D con parámetros industriales,” Interempresas. Accessed: Jun. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/120548-Una-impresora-3D-con-parametros-industriales.html>
- [33] I. Gibson, D. Rosen, and B. Stucker, “Applications for Additive Manufacture,” in *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*, I. Gibson, D. Rosen, and B. Stucker, Eds., New York, NY: Springer, 2015, pp. 451–474. doi: 10.1007/978-1-4939-2113-3_19.
- [34] Impresorad3d.com, “Placa de control Geetech para extrusor dual | Impresora D3D.” Accessed: Jun. 05, 2024. [Online]. Available: <https://impresorad3d.com/producto/placa-de-control-geetech-para-extrusor-dual/>
- [35] J. Rocha, L. O. Orzari, D. A. Gouveia Araújo, P. R. Oliveira, and Cristiane, “Development of conductive inks for electrochemical sensors and biosensors,” *Microchem. J.*, vol. 164, p. 105998, May 2021, doi: 10.1016/j.microc.2021.105998.
- [36] G. Cummins, “Inkjet printing of conductive materials: A review,” *Circuit World*, vol. 38, pp. 193–213, Nov. 2012, doi: 10.1108/03056121211280413.
- [37] D. S. Saidina, N. Eawwiboonthanakit, M. Mariatti, S. Fontana, and C. Hérold, “Recent Development of Graphene-Based Ink and Other Conductive Material-Based Inks for

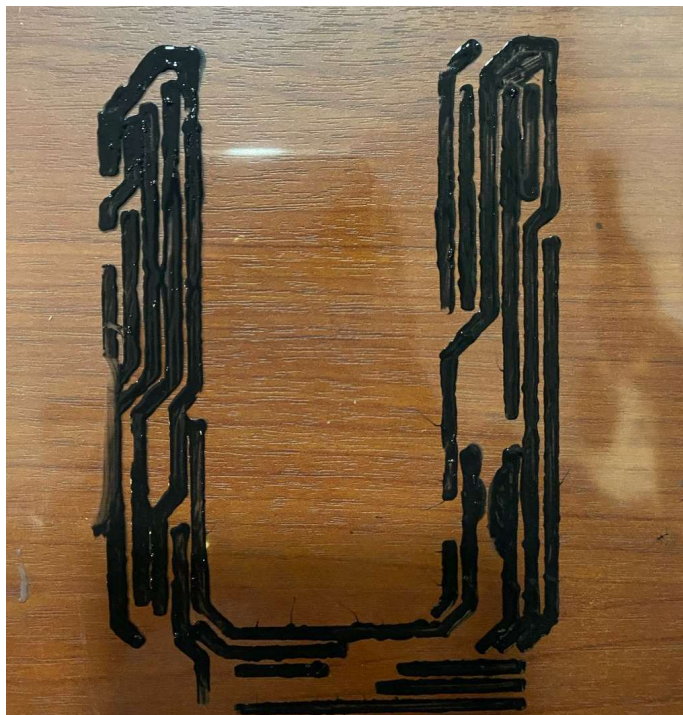
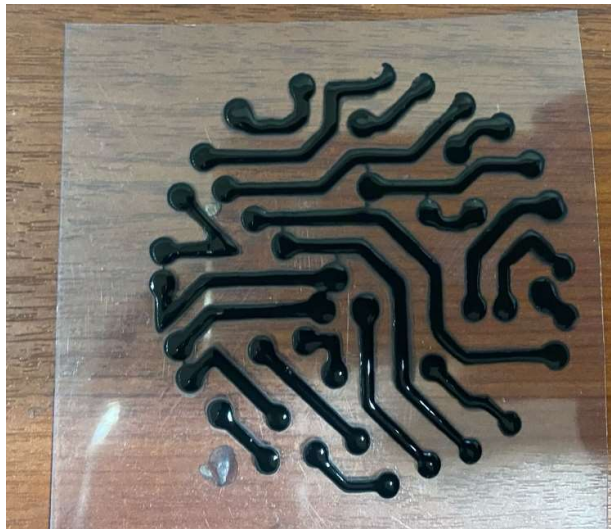
- Flexible Electronics,” *J. Electron. Mater.*, vol. 48, no. 6, pp. 3428–3450, Jun. 2019, doi: 10.1007/s11664-019-07183-w.
- [38] tiendadeelectronica.mx, “Tinta conductiva - Los secretos de un gran material para el desarrollo de ideas.” Accessed: Jun. 06, 2024. [Online]. Available: <https://tiendadeelectronica.mx/blog/tinta-conductiva/>
- [39] S. Afroj, S. Tan, A. M. Abdelkader, K. S. Novoselov, and N. Karim, “Highly Conductive, Scalable, and Machine Washable Graphene-Based E-Textiles for Multifunctional Wearable Electronic Applications,” *Adv. Funct. Mater.*, vol. 30, no. 23, p. 2000293, 2020, doi: 10.1002/adfm.202000293.
- [40] J. Alamán, R. Alicante, J. I. Peña, and C. Sánchez-Somolinos, “Inkjet Printing of Functional Materials for Optical and Photonic Applications,” *Materials*, vol. 9, no. 11, p. 910, Nov. 2016, doi: 10.3390/ma9110910.
- [41] B. Y. Ahn *et al.*, “Omnidirectional printing of flexible, stretchable, and spanning silver microelectrodes,” *Science*, vol. 323, no. 5921, pp. 1590–1593, Mar. 2009, doi: 10.1126/science.1168375.
- [42] Z. Xu *et al.*, *3D Printed Carbon Nanotubes/Poly(lactic Acid) Composite for Efficient Electromagnetic Interference Shielding*. 2023. doi: 10.20944/preprints202307.0291.v1.
- [43] A. J. Bandodkar and J. Wang, “Non-invasive wearable electrochemical sensors: a review,” *Trends Biotechnol.*, vol. 32, no. 7, pp. 363–371, Jul. 2014, doi: 10.1016/j.tibtech.2014.04.005.
- [44] S. C. Mukhopadhyay, “Wearable Sensors for Human Activity Monitoring: A Review,” *Sens. J. IEEE*, vol. 15, pp. 1321–1330, Mar. 2015, doi: 10.1109/JSEN.2014.2370945.
- [45] D. Choi, “LITHIUM-ION BATTERIES Advanced Materials and Technologies,” 2018.
- [46] J. Orozco, “Tintas conductivas, el futuro de los circuitos impresos.” Accessed: Aug. 19, 2024. [Online]. Available: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tintas-conductivas>
- [47] N. Pérez, “Metodología para la Simulación y Fabricación de Circuitos Impresos en Radiofrecuencia,” Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2018. [Online]. Available: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10406/metodologia_simulacion_fabricaci%C3%B3n_circuitos_impresos_radiofrecuencia.pdf
- [48] Z. Peterson, “Software de diseño de placas para todos los tipos de PCB,” Altium. Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <https://resources.altium.com/es/p/pcbs>
- [49] C. F. Coombs, Ed., *Printed circuits handbook*, 6. ed. in McGraw-Hill handbooks. New York, NY: McGraw-Hill Professional, 2008.

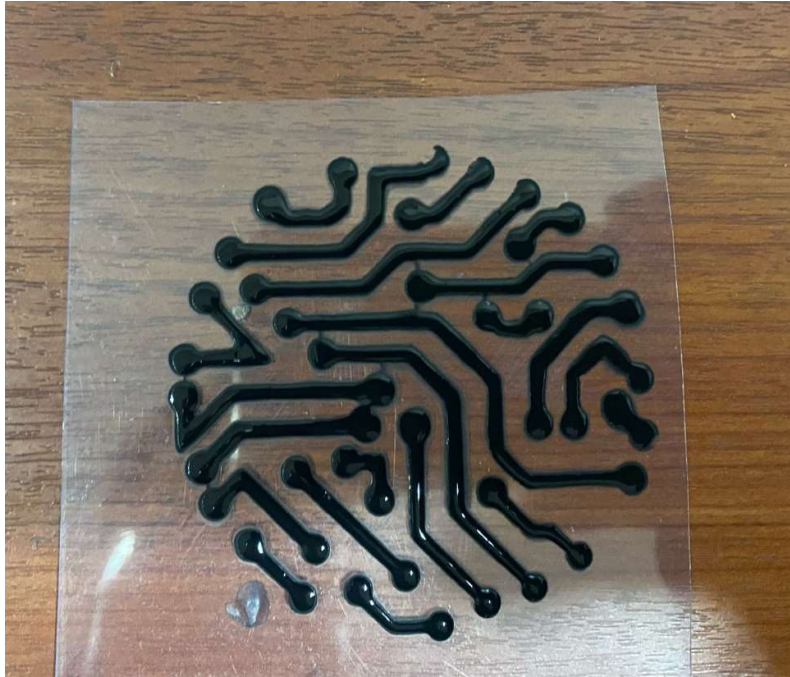
- [50] E. Blackshear *et al.*, “The evolution of build-up package technology and its design challenges,” *IBM J. Res. Dev.*, vol. 49, pp. 641–661, Aug. 2005, doi: 10.1147/rd.494.0641.
- [51] C. Bishop, *Vacuum Deposition onto Webs, Films and Foils*. 2015. Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <https://shop.elsevier.com/books/vacuum-deposition-onto-webs-films-and-foils/bishop/978-0-323-29644-1>
- [52] Redacción, “Qué son las placas de circuito impreso en 3D y las impresoras 3D de PCB - Descubrearduino.com.” Accessed: Aug. 20, 2024. [Online]. Available: <https://descubrearduino.com/que-son-las-placas-de-circuito-impreso-en-3d-y-las-impresoras-3d-de-pcb/>
- [53] Ender, “Manual del Usuario de la Impresora 3D,” 2020.
- [54] Prusa i3, “Manual de usuario bq Prusa i3 Hephestos (Español - 12 páginas).” Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.manual.ec/bq/prusa-i3-hephestos/manual?p=6>
- [55] Anet E10, “Operantion Instruction,” 2017. [Online]. Available: <https://www.china-gadgets.de/app/uploads/2017/08/Anet-E10-Operation-Instruction-1.0.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1.

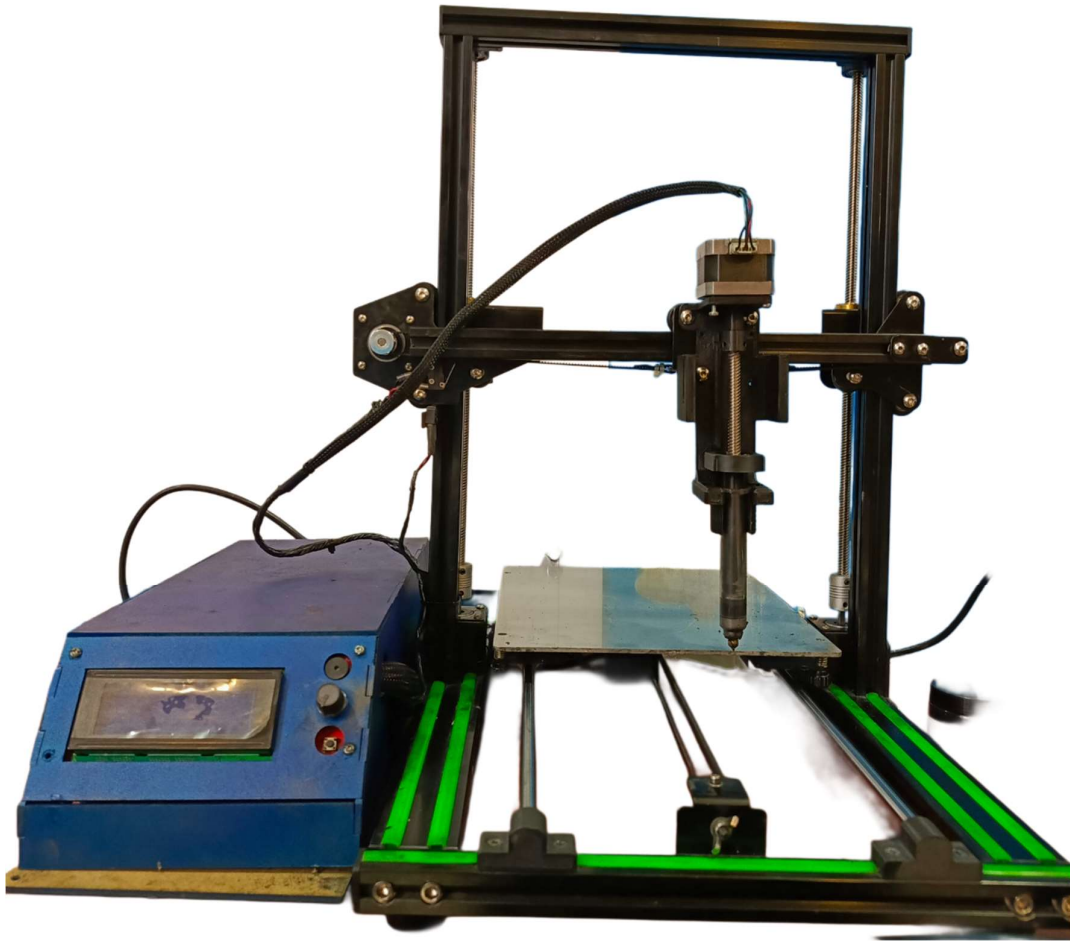
Pruebas de impresión de PCBs





ANEXO 2.

MANUAL DE OPERACIÓN DE LA IMPRESORA 3D DE TINTAS CONDUCTIVAS



1. Introducción

Este manual de operación proporciona las instrucciones necesarias para el uso adecuado de la **impresora 3D de tintas conductivas**. El objetivo es garantizar un manejo seguro y eficiente del equipo, asegurando la correcta fabricación de circuitos impresos flexibles (PCBs).

Este documento incluye recomendaciones, precauciones de seguridad, instrucciones paso a paso para la operación, mantenimiento y solución de problemas comunes.

2. Precauciones de Seguridad

Antes de operar la impresora, tenga en cuenta las siguientes precauciones:

Precaución	Descripción
Uso de guantes	Manipule la tinta conductiva con guantes para evitar contacto con la piel.
Ventilación adecuada	Trabaje en un área bien ventilada para evitar acumulación de vapores de la tinta.
Protección ocular	Use gafas de seguridad para evitar salpicaduras accidentales de la tinta.
Manipulación eléctrica	Asegúrese de que el equipo esté desconectado antes de realizar cualquier mantenimiento.
Evitar bloqueos	No obstruya la boquilla del extrusor con objetos extraños.
Superficie nivelada	Ubique la impresora sobre una superficie estable para evitar vibraciones.



3. Descripción del Equipo

La impresora 3D de tintas conductivas está equipada con los siguientes componentes clave:

Componente	Función
Extrusor tipo jeringa	Dispensador de tinta conductiva controlado por la impresora.

Componente	Función
Plataforma de impresión	Superficie donde se deposita la tinta y se forma el circuito.
Controlador RUMBA Plus	Unidad de control que gestiona los movimientos y la extrusión.
Motores paso a paso	Encargados de mover el extrusor en los ejes X, Y y Z.
Fuente de alimentación	Proporciona energía a los componentes eléctricos.
Pantalla LCD	Interfaz para la selección de parámetros de impresión.



4. Configuración

1. **Ubicación del equipo:**
 - El equipo debe encontrarse sobre una superficie muy nivelada y estable.
 - Asegúrese de que haya suficiente espacio libre a su alrededor.
2. **Instalación del software:**

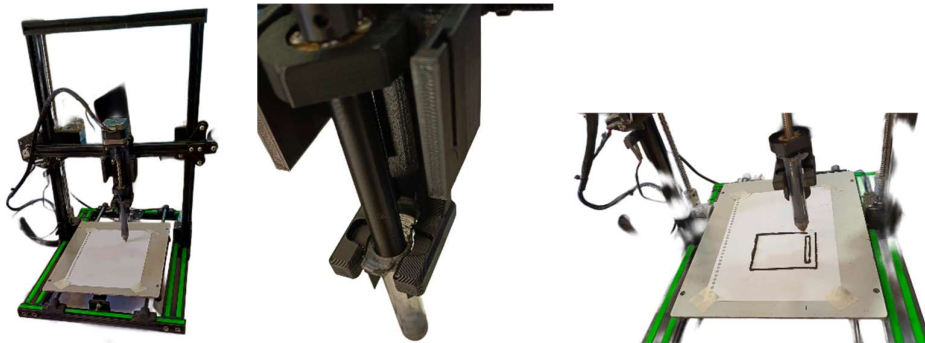
- Descargue e instale el software de control compatible (Ej. PrusaSlicer o Cura, para esta impresora es importante descargarse el software Matter Control).
- Configure los parámetros de impresión según las recomendaciones del fabricante.

3. **Carga de la tinta conductiva:**

- Agite bien el cartucho de tinta antes de usarlo.
- Cargue la tinta en la jeringa del extrusor con precaución para evitar burbujas de aire.
- Inserte la jeringa en el extrusor y ajuste firmemente.

4. **Calibración del extrusor:**

- Debemos asegurarnos que la boquilla del extrusor este correctamente alineada y calibrada sobre la cama de extrusión, la calibración se realiza manualmente.
- Realice una prueba de extrusión para verificar que la tinta fluya uniformemente.



5. **Procedimiento de Impresión**

1. **Preparación del diseño:**

- Diseñe el circuito en un software CAD.

- Exporte el diseño en formato G-code compatible con la impresora.

2. **Cargar el archivo en la impresora:**

- Para este proceso se debe transferir el archivo computacional generado a la impresora. Este proceso se puede realizar mediante USB conectado la impresora a la computadora o mediante una tarjeta SD.
- Seleccione el archivo desde la pantalla LCD.

3. **Ajuste de parámetros de impresión:**

- Configure la velocidad de impresión.
- Verifique la altura de capa y la densidad de extrusión.

4. **Inicio de la impresión:**

- Presione el botón de inicio en la interfaz de usuario.
- Supervise la impresión para garantizar una correcta deposición de la tinta.

5. **Post-procesamiento:**

- Deje secar la tinta durante al menos 24 horas en condiciones controladas.
- Verifique la conductividad del circuito impreso con un multímetro.





6. Mantenimiento y Limpieza

Para garantizar tanto un mejor rendimiento, durabilidad y eficiencia del equipo, debe seguir estos lineamientos y recomendaciones de mantenimiento:

Tarea	Frecuencia	Descripción
Limpieza del extrusor	Después de cada uso	Retirar residuos de tinta seca de todo el equipo.
Revisión de la boquilla	Antes y después de cada uso	Verifique que la boquilla no tenga obstrucciones.
Calibración del extrusor	Antes y después de cada uso	Alinear la boquilla para garantizar la precisión de las impresiones.
Inspección de cables	Antes de cada uso	Revise el estado de los cables de alimentación y control.
Cambio de tinta	Según uso	Utilice siempre tinta conductiva compatible con la impresora.

7. Solución de Problemas Comunes

Problema	Causas	Solución
No deposita tinta	Boquilla obstruida	Limpieza adecuada de la boquilla, utilizar alcohol o solventes adecuados.
Impresión dispareja	Altura de la boquilla no adecuada	Recalibre la altura del extrusor.
Conductividad deficiente	Deposición insuficiente de tinta	Asegúrese de que la tinta fluya y cree un patrón sólido y uniforme.
Pantalla LCD no enciende	No existe conexión	Verifique el cableado y reinicio de la impresora.

8. Conclusión

La correcta operación de la impresora 3D diseñada para trabajar con tintas conductivas permite llevar a cabo la fabricación de circuitos electrónicos de baja complejidad y PCBs flexibles de forma eficiente. Al seguir las indicaciones presentadas en este manual, el usuario podrá utilizar el equipo con seguridad, logrando impresiones precisas y consistentes.

Para mantener un desempeño óptimo del sistema, es fundamental aplicar un programa de mantenimiento preventivo de forma periódica. Por otro lado, como parte de futuras mejoras, se contempla el perfeccionamiento del extrusor y el desarrollo de formulaciones de tinta que ofrezcan una mayor conductividad eléctrica.