



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

“IMPRESORA BRAILLE DE BAJO COSTO DE RELIEVES”

Trabajo de grado previo a la obtención de título de Ingeniero en Mecatrónica

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible.

Autor:

Evelyn Teresa Tuquerres Tuquerrez

Director:

PhD. Brizeida Nohemí Gámez Aparicio

Asesor:

PhD. David Alberto Ojeda Peña

Ibarra, octubre 2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1752314276		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Tuquerres Tuquerrez Evelyn Teresa		
DIRECCIÓN:	Av. El Retorno y Los Arupos 31-208		
EMAIL:	ettuquerrest@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	---	TELÉFONO MÓVIL:	0939057493

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Impresora Braille de bajo costo de relieves”
AUTOR (ES):	Tuquerres Tuquerrez Evelyn Teresa
FECHA: DD/MM/AAAA	24/10/2024
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	PhD. Brizeida Nohemí Gámez Aparicio

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 24 días del mes de octubre de 2024

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Evelyn Teresa Tuquerres Tuquerrez



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Evelyn Teresa Tuquerres Tuquerrez, con cédula de identidad Nro. 1752314276, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 24 días del mes de octubre de 2024.

EI AUTOR

Firma: 

Nombre: Evelyn Teresa Tuquerres Tuquerrez



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

Ibarra, 24 de octubre de 2024

PhD. Brizeida Nohemí Gámez Aparicio

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

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

PhD. Brizeida Nohemí Gámez Aparicio

C.C.: 1758387383



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

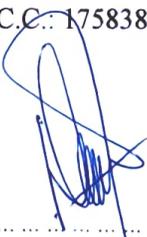
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “IMPRESORA BRAILLE DE BAJO COSTO DE RELIEVES” elaborado por Evelyn Teresa Tuquerres Tuquerrez , previo a la obtención del título de INGENIERO EN MECATRÓNICA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f).....


PhD. Brizeida Nohemí Gámez Aparicio

C.C.: 1758387383

(f).....


PhD. David Alberto Ojeda Peña

C.C.: 1757898489

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. A la Virgen del Quinche, por su constante protección y amparo, iluminando mi vida con su amor maternal.

A mi querida hermana María Belén, que ahora está en el cielo junto a mis ángeles más queridos. Sé que, desde allí, has sido mi ángel guardián, acompañándome en cada logro y en cada desafío. Y a mis padres María Tuquerrez y Edwin Tuquerres, por todo su esfuerzo, sacrificio y amor incondicional. Gracias por ser mi inspiración, por creer en mí cuando más lo necesitaba y por enseñarme el valor del trabajo duro y la perseverancia. A mi hermana Milagritos que a su corta edad siempre ha estado ahí en cada momento brindándome su apoyo. Todo esto es también para ustedes.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a la realización de esta tesis.

A mi directora de tesis, PhD. Brizeida Nohemí Gámez Aparicio, por su invaluable orientación, paciencia infinita y conocimiento que me guiaron durante todo el proceso de investigación. Al PhD. David Alberto Ojeda Peña por su constante cariño y apoyo a lo largo de mi vida universitaria.

Y sobre todo en especial a ustedes mamá y papá, por su constante apoyo, comprensión y paciencia a lo largo de este camino, su trabajo, esfuerzo y sacrificio a lo largo de todos estos años ha dado resultado viviré eternamente agradecida.

A mis tíos Héctor, Mónica, Marisol y Néstor por brindarme su apoyo cuando los necesite.

A mi novio Alejandro Chiguano, por su inmensa paciencia y amor al haber estado a mi lado en cada paso de este camino, por compartir conmigo no solo clases y proyectos, sino también sueños, desafíos y momentos de aprendizaje.

A mi compañero Alex Campues, quien fue una de las amistades más valiosas que me regalo este camino. Las interminables horas que compartimos trabajando juntos hicieron de este recorrido algo mucho más llevadero y significativo. Tu amistad ha sido un pilar en esta etapa de mi vida.

A todos los mencionados y aquellos que de alguna manera estuvieron presentes en este proceso, mi más profundo agradecimiento. Sin su ayuda, esta tesis no habría sido posible.

RESUMEN

La falta de material didáctico accesible para personas con discapacidad visual representa una barrera significativa en su proceso educativo. Este proyecto se centró en abordar dicha problemática mediante el desarrollo de una impresora Braille capaz de recrear relieves, facilitando la creación de textos dicho formato. El objetivo principal fue desarrollar un sistema que, utilizando materiales accesibles y técnicas de fabricación eficientes, permitiera generar relieves táctiles de alta calidad de manera precisa y económica. Para llevar a cabo este proyecto, se utilizó el modelo de cascada evolutiva. Este enfoque permitió una planificación estructurada, facilitando la identificación de los parámetros clave para la adherencia de polímeros, como TPU, PETG y PLA, a superficies de papel bond. Los resultados demostraron la factibilidad técnica del dispositivo, combinando la restauración de elementos en desuso con la fabricación de nuevas piezas, lo que resultó en un costo de desarrollo total de 150 USD. Las pruebas funcionales confirmaron la capacidad del dispositivo para producir relieves táctiles precisos, los cuales fueron validados por la instructora de la Asociación de No Videntes de Imbabura (ANVI), institución a la cual está destinado el equipo. El dispositivo desarrollado no solo proporciona una solución económica, sino que también tiene el potencial de mejorar significativamente la accesibilidad a materiales educativos para personas con discapacidad visual, contribuyendo a la inclusión y accesibilidad en diversos entornos.

Palabras clave: Impresora Braille, relieve, accesibilidad, diseño mecatrónico, bajo costo, normativas, personas con discapacidad visual, validación, materiales.

ABSTRACT

The lack of accessible didactic material for visually impaired people represents a significant barrier in their educational process. This project focused on addressing this problem through the development of a Braille printer capable of recreating reliefs, facilitating the creation of texts in this format. The main objective was to develop a system that, using accessible materials and efficient manufacturing techniques, could generate high quality tactile reliefs accurately and economically. To carry out this project, the evolutionary waterfall model was used. This approach allowed for structured planning, facilitating the identification of key parameters for the adhesion of polymers, such as TPU, PETG and PLA, to bond paper surfaces. The results demonstrated the technical feasibility of the device, combining the restoration of disused elements with the fabrication of new parts, resulting in a total development cost of 150 USD. Functional tests confirmed the device's ability to produce accurate tactile reliefs, which were validated by the instructor of the Asociación de No Videntes de Imbabura (ANVI), the institution for which the equipment is intended. The developed device not only provides an economical solution, but also has the potential to significantly improve accessibility to educational materials for the visually impaired, contributing to inclusion and accessibility in diverse environments.

Keywords: Braille printer, relief, accessibility, mechatronic design, low cost, regulations, visually impaired people, validation, materials.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	II
2. CONSTANCIAS.....	III
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.....	IV
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR.....	V
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR.....	VI
DEDICATORIA	VII
AGRADECIMIENTO.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT	X
ÍNDICE DE CONTENIDOS	XI
ÍNDICE DE FIGURASS.....	XV
ÍNDICE DE TABLAS	XXIII
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	24
1.1. Planteamiento del Problema.....	24
1.2. Objetivos	27
1.2.1. Objetivo General	27
1.2.2. Objetivos Específicos.....	27
1.3. Justificación.....	28

XI

1.4. Alcance.....	29
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	30
2.1. Antecedentes	30
2.2. Fundamentos Teóricos	36
2.2.1. Normativa Braille.....	37
2.2.1.1. Directrices para un correcto diseño de los caracteres braille	37
2.2.1.2. Parámetros dimensionales	38
2.2.1.3. Proporcionalidad.....	39
2.2.1.4. Flexibilidad en el uso de los parámetros	40
• Dependiendo del material:	40
2.2.2. Modelos de impresoras Braille de relieve.....	41
2.2.3. Tecnologías de impresión Braille.....	42
2.2.3.1. Punzón.....	42
2.2.3.2. Impresión UV	43
2.2.3.3. Impresión 3D.....	45
2.2.4. Software de traducción Braille.....	46
2.2.4.1. BrailleTranslator.....	47
2.2.4.2. BrailleBlaster.....	48
2.2.4.3. RoboBraille.....	49
2.2.4.4. OpenL	50

2.2.4.5. Sybl.....	51
2.2.4.6. dCode.....	52
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	53
3.1. Modelo de Investigación	53
3.1.1. Metodología de Desarrollo	53
3.2. Diseño de Investigación	54
3.2.1. Fase 1: Determinación de los requerimientos de la impresora Braille.	54
3.2.2. Fase 2: Diseño del mecanismo para recrear el relieve.	54
3.2.3. Fase 3: Implementación el sistema mecatrónico de la impresora Braille. ...	56
3.2.4. Fase 4: Validación de la impresora mediante pruebas de funcionamiento. .	56
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
4.1. Especificaciones del sistema a diseñar	58
4.2. Planteamiento de alternativas de solución	60
4.2.1. Propuesta de solución numérica 1	60
4.2.2. Propuesta de solución número 2.....	61
4.3. Estudio comparativo entre las propuestas de solución.....	63
4.4. Solución seleccionada	64
4.5. Especificaciones de la solución seleccionada	64
4.5.1. Sistema Base.....	67
4.5.2. Sistema de nivelación de cama.....	68

4.5.3. Sistema Estructural del eje Y e Z	71
4.5.4. Sistema de Extrusión	74
4.5.5. Sistema de ventilación.....	77
4.5.6. Sistema Calefactor.....	78
4.6. Funcionamiento del dispositivo	79
4.7. Construcción y Ensamblaje.....	79
4.7.1. Análisis previo.....	79
4.7.2. Construcción de la impresora	81
4.7.3. Proceso de ensamblaje de la impresora	87
4.8. Pruebas de funcionamiento	105
4.8.1 Prueba Nro. 1: Determinación de la adherencia.....	105
4.8.1.1. Resultados obtenidos con el polímero TPU	109
4.8.1.2. Resultados obtenidos con el polimero PETG.....	111
4.8.1.3. Resultados obtenidos con el polimero PLA	113
CONCLUSIONES	116
RECOMENDACIONES	117
Referencias.....	118
ANEXOS.....	124

ÍNDICE DE FIGURASS

Fig. 1.1 Registro nacional de personas con discapacidad a nivel Nacional.....	25
Fig.1.2 Registro de personas con discapacidad en la provincia de Imbabura.....	26
Fig.1.3. Entrevista con la presidenta de ANVI- Ibarra.	26
Fig.2.1. Entrevista con la presidenta de ANVI- Ibarra.	37
Fig.2.2 Tarjetas Braille con técnicas de impresión 3D.	41
Fig. 2.3 Punzón y regleta Braille.	43
Fig. 2.4 Impresión de señalética Braille con tecnología UV.	45
Fig. 2.5 Fichas Braille Impresas con extrusión de Polímero.	46
Fig. 2.6 Software Braille Translator.org.	48
Fig. 2.7 Software BrailleBlaster.....	49
Fig. 2.8 Software RoboBraille.org.....	50
Fig. 2.9 Software OpenL.....	51
Fig. 2.10 Software Symbl.	51
Fig. 2.11 Software dCode.	52
Fig.4.1 Propuesta de solución número 1.....	60
Fig.4.2 Propuesta de solución número 2.....	62
Fig. 4.3 Vista Isométrica de la solución seleccionada. (a) Vista isométrica ensamblada, (b) Vista isométrica en explosión, (c) Sistema base, (d) Sistema de nivelación de cama, (e) Sistema de extrusión, (f) Sistema calefactor.	65
Fig. 4.4 Ensamble del sistema base.	67
Fig. 4.5 Base principal en chapa metálica.....	67
Fig. 4.6 Tapa de la chapa metálica.....	68

Fig. 4.7 Vista inferior del sistema de nivelación de cama.	68
Fig. 4.8 Cama térmica.	69
Fig. 4.9 Tensor de la cama térmica.	69
Fig. 4.10 Ruedas de nivelación.	70
Fig. 4.11 Placa de soporte para la cama térmica.	70
Fig. 4.12 Cojinetes para traslación.	70
Fig. 4.13 Sistema estructural-Eje Y e Z.	71
Fig. 4.14 Polea GT2.	71
Fig. 4.15 Soporte plástico superior del eje Z.	72
Fig. 4.16 Protección estructural eje Y.	72
Fig. 4.17 Placa de sujeción eje Y.	72
Fig. 4.18 Perfil del eje Z.	73
Fig. 4.19 Tornillos sin fin eje Z.	73
Fig. 4.20 Acople para los tornillos sin fin eje Z.	73
Fig. 4.21 Perfil eje Y.	74
Fig. 4.22 Ensamble del sistema de extrusión.	74
Fig. 4.23 Extrusor comercial.	75
Fig. 4.24 Soporte para el motor del eje X.	75
Fig. 4.25 Poles GT2 del eje X.	76
Fig. 4.26 Ensamble de agarradera del eje X.	76
Fig. 4.27 Perfil del eje X.	76
Fig. 4.28 Sistema de ventilación.	77
Fig. 4.29 Disipador de calor.	77

Fig. 4.30 Ventilador.....	78
Fig. 4.31 Rejilla de protección del ventilador.....	78
Fig. 4.32 Calefactor.....	78
Fig. 4.33 Diagrama de flujo del dispositivo.....	79
Fig. 4.34 Estado inicial de la máquina.....	80
Fig. 4.35 Repuestos. (a) Sensor dañado, (b) Sensor nuevo, (c) Tarjeta dañada, (d) Tarjeta nueva, (e) Calefactor dañado, (f) Calefactor nuevo, (g) Ventilador dañado, (h) Ventilador nuevo.	82
Fig.4.36 Componentes de la cama térmica. (a) Cama, (b) Base de soporte de la cama térmica, (c) Tuercas nivel de cama, (d) Resortes de apoyo para nivelación de cama.	83
Fig.4.37 Componentes estructurales. (a) Perfiles eje Z, (b) Perfil eje Y, (c) Tornillos sin fin, (d) Perfil eje X.....	84
Fig.4.38 Motores de la máquina. (a) Motores eje Z, (b) Motor eje Y, (c)Motor de filamento, (d) Motor eje X.	84
Fig.4.39 Componentes electrónicos. (a) Ship de los motores, (b) Shield controlador, (c) Pantalla LCD, (d) Drives.	85
Fig. 4.40 Componentes del Extrusor. (a) Ventilador de extrusor, (b) Extrusor termistor y niquelina, (c) Gatillo de filamento, (d) Rueda dentada.....	86
Fig. 4.41 Componentes Eje X. (a) Base sosten eje x, (b) Base del carrito de extrusion, (c) Guías de las bandas dentadas.....	86
Fig. 4.42 Piezas complementarias. (a) Tornillos, (b) Base del carrete, (c) Guias de rotacion del eje Z, (d) Prisioneros del tornillo sin fin.	87

Fig. 4.43 Conexiones Eléctricas, (a) Conexión de la pantalla. (b) Instalación de drivers, (c) Conexión del motor del eje Z, (d) Conexión de la fuente, (e) Conexión a tierra, (f) Conexión del ventilador.	88
Fig. 4.44 Ensamble del eje Y, (a) Perfil eje Y, (b) Montaje del motor eje Y. (c) Tornillo hexagonal interno 8.9, (d) Colocación en la guía del eje Y, (e) Tornillo hexagonal interno 12.9, (f) Eje y montado correctamente.....	89
Fig. 4.45 Ensamble de la base de la cama térmica. (a) Montaje de la base, (b) Colocación de la correa dentro del riel, (c) Colocación de la correa, (d) Sujeción de la protección del perfil eje Y, (e) Tornillos, (f) Correa tensada, (g) Cojinetes de la cama, (h) Ajuste para eliminar vibraciones.	90
Fig. 4.46 Ensamble del sistema de nivelación. (a) Colocación de tensores en cama térmica (resortes), (b) Posicionamiento de cama térmica, (c) Ruedas de ajuste, (d) Ensamble correcto. ..	91
Fig. 4.47 Instalación del sensor del eje Y.	92
Fig. 4.48 Ensamblaje de los perfiles del eje Z. (a) Montaje de los perfiles del eje Z en base plástica, (b) Verificación del estado de excéntricas, (c) Inserción de Agarraderas del eje X, (d) Montaje de base de sujeción para el perfil del eje X.	93
Fig. 4.49 Ensamblaje de guías de rotación. (a) Rodela, (b) Inserción de rodela en la base de sujeción, (c) Inserción de guía en base de sujeción, (d) Inserción de tornillo sin fin.	94
Fig. 4.50 Ensamble de perfiles del eje Z en estructura base. (a) Montaje de los perfiles del eje Z, (b) Inserción del motor del eje Z, (c) Pernos hexagonales internos, (d) Perfiles sujetos... ..	95
Fig. 4.51 Ajuste de tornillos sin fin. (a) Inserción de prisioneros, (b) Ajuste de prisioneros, (c) Conexión de cable de comunicación del motor del eje Z, (d) Ensamble final en ambos perfiles.	96

Fig. 4.52 Ensamblaje de correa. (a)Polea TG2, (b)Inserción de correa, (c)Tensión de correa, (d)Ajuste de prisioneros.....	97
Fig. 4.53 Ensamble del porta filamento. (a)Sujeción de estructura plástica con tornillos. (b) Sujeción de la parte izquierda, (c)Sujeción de la parte derecha, (d) Sujeción de la parte interna, (e)Ensamble final, (f)Conexión del sensor de filamento.	98
Fig. 4.54 Ensamble interno del extrusor. (a)Inserción de motor, (b)Base del carrito, (c) Montaje de la rueda dentada, (d)Rodamiento del gatillo, (e)Tornillo de ajuste de flujo, (f)Gatillo, (g)Termistor, resistencia y niquelina, (h)Guía sin concavidades, (i) Disipador térmico.	99
Fig. 4.55 Ensamble externo del extrusor. (a)Montaje del ventilador, (b) Sujeción de rejilla con tornillos, (c)Montaje de protección de ventilador, (d) Extrusor completamente ensamblado.	100
Fig. 4.56 Ensamble del perfil del eje X. (a) Instalación de sujetadores, (b) Montaje de motor del eje X, (c) Colocación de ship de motores sobre placa base, (d) Conexión del motor, (e) Fijación del perfil del eje X al soporte mediante pernos, (f) Ensamblaje completo del perfil del eje X. .	101
Fig. 4.57 Montaje del carrito del extrusor. (a)Cojinetes, (b)-(c) Montaje del carrito.....	102
Fig. 4.58 Montaje de la correa en el eje X. (a)Colocación de la correa, (b) Placa base y polea, (c) Sujeción de polea en el perfil X, (d) Tensar correa.	103
Fig. 4.59 Conexiones eléctricas del extrusor (a)Conexión con la tarjeta de comunicación, (b)Conexión del motor de extrusor, (c)Conexión de ventilador y tarjeta del extrusor.	104
Fig. 4.60 Corte de las hojas de papel Bond.....	106
Fig. 4.61 Inserción de Polímero.....	106
Fig. 4.62 Configuración de impresora.	107
Fig. 4.63 Proceso de impresión.....	107

Fig. 4.64 Prueba de lectura y adherencia.	108
Fig. 4.65 Repetición de pruebas.....	108
Fig. 4.66 Pruebas TPU, (a) Prueba 1, (b) Prueba 2, (c) Prueba 3, (d) Prueba 4, (e) Prueba 5, (f) Prueba 6, (g) Prueba 7.....	110
Fig. 4.67 Prueba PETG (a) Prueba 1, (b) Prueba 2, (c) Prueba 3, (d) Prueba 4, (e) Prueba 5, (f) Prueba 6, (g) Prueba 7.....	112
Fig. 4.68 Pruebas PLA (a) Prueba 1, (b) Prueba 2, (c) Prueba 3, (d) Prueba 4, (e) Prueba 5.	114
Fig. Anexo A.1 Traductor Braille.....	124
Fig. Anexo A.2 Selección de idioma en el traductor Braille.	125
Fig. Anexo A.3 Recuadro donde se ingresa el texto al traductor Braille.	125
Fig. Anexo A.4 Casillero para realizar la traducción.	126
Fig. Anexo A.5 Tipos de documento que proporciona el traductor.	126
Fig. Anexo A.6 Archivo .png que proporciona el traductor.....	127
Fig. Anexo A.7 Imagen que proporciona el traductor Braille.	127
Fig. Anexo A.8 Opción dentro de SolidWorks para recrear el plano.....	128
Fig. Anexo A.9 Selección de la ventanilla para recrear el croquis.....	128
Fig. Anexo A.10 Selección de ventanilla para que se desplegué los diferentes croquis.	128
Fig. Anexo A.11 Croquis alzado desplazado.....	129
Fig. Anexo A.12 Selección de opción para crear rectángulos.....	129
Fig. Anexo A.13 Desplace del rectángulo dentro del plano.	130
Fig. Anexo A.14 Selección de cota inteligente para dimensionar el rectángulo.	130
Fig. Anexo A.15 Ingreso de la dimensión requerida para el rectángulo en mm.	130

Fig. Anexo A.16 Se selecciona la opción para crear un rectángulo.	131
Fig. Anexo A.17 Se desplaza el nuevo rectángulo dentro del principal.....	131
Fig. Anexo A.18 Delimitación de las dimensiones de la celda Braille. (a) Selección de cota inteligente, (b) Cota horizontal, (c) Cota vertical.	132
Fig. Anexo A.19 Selección de línea constructiva.....	132
Fig. Anexo A.20 Trazo de líneas guía para la celda.	133
Fig. Anexo A.21 Acotación de distancias de líneas guía para la celda Braille. (a) Selección de cota inteligente, (b) Cota vertical, (c) Cota horizontal, (d) Cota media.	134
Fig. Anexo A.22 Creación de circunferencias. (a) Selección de circunferencia, (b) Desplazamiento de las circunferencias en las intersecciones de las líneas de construcción.	134
Fig. Anexo A.23 Acotación de circunferencias. (a) Selección de cota inteligente, (b) Delimitación del diámetro, (c) Circunferencias acotadas.	135
Fig. Anexo A.24 Creación de matrices. (a) Selección de matriz lineal, (b) Selección de elementos con los que se crea la matriz.	135
Fig. Anexo A.25 Delimitación de parámetros para crear la matriz.	136
Fig. Anexo A.26 Salir del plano.	137
Fig. Anexo A.27 Seleccionar la opción de extruir saliente/base.	137
Fig. Anexo A.28 Ingreso de imagen guía.	137
Fig. Anexo A.29 Selección de circunferencias a extruir.	138
Fig. Anexo A.30 Guardado de documento en archivo.stl.....	138
Fig. Anexo A.31 Confirmación de modo de guardar.	139
Fig. Anexo A.32 Software para impresión 3D.	139
Fig. Anexo A.33 Configuración de software.....	140

Fig. Anexo A.34 Abrir documentos del computador.	140
Fig. Anexo A.35 Selección del documento a imprimir.	141
Fig. Anexo A.36 Caracteres Braille colocados.	141
Fig. Anexo A.37 Flechas para desplazarse a la posición deseada.	142
Fig. Anexo A.38 Caracteres posicionados.	142
Fig. Anexo A.39 Segmentación.	143
Fig. Anexo A.40 Guardar en unidad extraíble.	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Parámetros de escritura Braille estandarizados a nivel Mundial.	39
Tabla 2.2 Costos comerciales de Impresoras Braille.	42
Tabla 4.1 Denominación de piezas de la propuesta número 1.	61
Tabla 4.2 Denominación de piezas de la propuesta número 2.	62
Tabla 4.3 Comparaciones entre solución de propuesta 1 y solución de propuesta 2.	63
Tabla 4.4 Denominación de piezas de la solución seleccionada.	66
Tabla 4.5 Inventario de piezas del dispositivo realizado en el análisis previo.	81
Tabla 4.6 Resultados obtenidos con el filamento TPU.	110
Tabla 4.7 Resultados obtenidos con el filamento PETG.	112
Tabla 4.8 Resultados obtenidos con el filamento PLA.	114
Tabla 4.9 Parámetros ideales para cada polímero.	115

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En la parte introductoria de este trabajo se presenta la problemática y la propuesta de solución de manera clara y precisa que se desarrollará en el transcurso del proyecto.

1.1.Planteamiento del Problema

En el contexto académico actual, los estudiantes no videntes deben enfrentarse a problemas tales como, las restricciones en su movilidad que ocasionan que no realicen actividad física con regularidad. Las complicaciones en la lectura y escritura provocan un retraso académico y el posterior deseo de no continuar aprendiendo. La falta de desarrollo en sus habilidades sociales desarrolla una conducta que refleja timidez y baja autoestima. Lo anterior, se refleja en su rendimiento intelectual; y el inconveniente del aprendizaje por imitación, que es algo que se complica al no contar con la información completa del mundo que los rodea, llevando a que el aprendizaje sea lento y no puedan desarrollar totalmente sus habilidades [1].

El sistema de escritura Braille ha permitido a los estudiantes no videntes la posibilidad comunicarse de forma escrita, brindando posibilidades de inclusión, a los estudiantes con esta condición, en las actividades. Para realizar lectura y escritura, un estudiante no vidente debe hacer uso del lenguaje Braille, el cual tiene como requisitos para su dominio, el desarrollo de capacidades motrices para comprender, percibir, asociar, analizar y poner en marcha la captación de la información plasmada; permitiendo comunicarse e introducirse en áreas académicas que permitan incrementar su conocimiento [2].

Según los datos presentados por el CONADIS (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades) para septiembre de 2021, se puede apreciar que existe un total de 54.397 personas con discapacidad visual en todo el país. Destacando un porcentaje de 6,98% de niños y jóvenes no

videntes en edades de entre 13 a 24 años, años en los cuales realizan su desarrollo académico y personal [3].

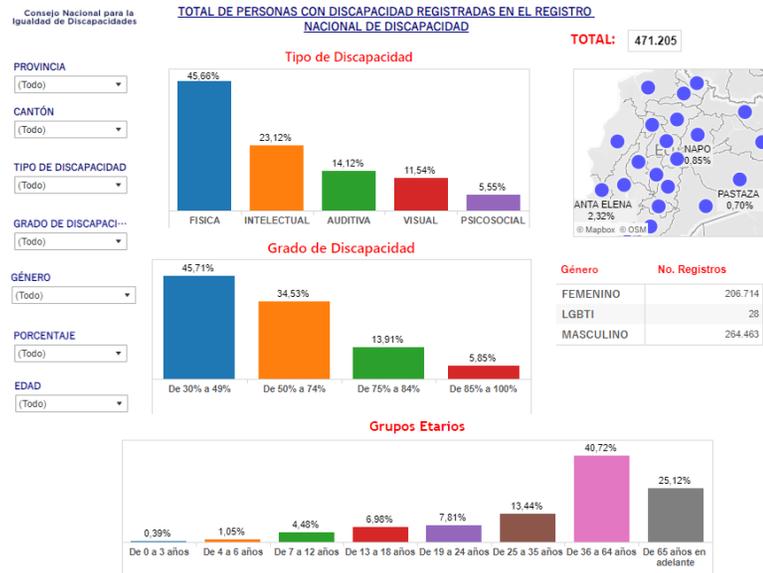


Fig. 1.1 Registro nacional de personas con discapacidad a nivel Nacional.

Dentro de la provincia de Imbabura se encuentra una población de 13.421 personas en donde 1.337 personas tienen discapacidad visual. Siendo un 7.19% de niños y jóvenes no videntes en edades de 13 a 24 años [3].

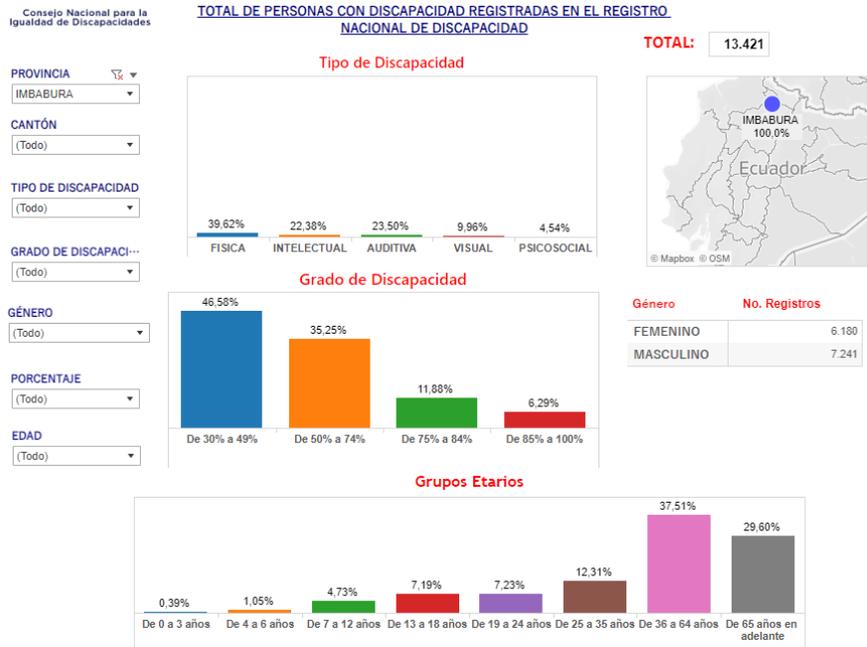


Fig.1.2 Registro de personas con discapacidad en la provincia de Imbabura.

La Asociación de no videntes Imbabura cuenta con 37 estudiantes los cuales carecen de material de apoyo para sus diferentes niveles de aprendizaje, por lo que requieren de apoyo de instituciones externas para adquirir material didáctico para las clases. Siendo estos muy costosos por lo cual es difícil las donaciones externas, consecuencia de esto las clases dictadas se tornan repetitivas [4].



Fig.1.3. Entrevista con la presidenta de ANVI- Ibarra.

En el mercado existen modelos de impresoras Braille con diferentes especificaciones, que rodean un precio de \$3721,92 y \$2965,11. Lo cual las hace bastante inaccesible debido a que influye el tema de importación ya que no se encuentran a nivel nacional [5].

Debido a que el material didáctico, como cuentos, tarjetas y pequeños libros, es producido internamente por los miembros del Centro Pedagógico ANVI, hay una falta de variedad en el material escrito en lenguaje Braille que pueda motivar a los estudiantes a aprender más. Esto ha llevado a que los estudiantes, especialmente los más jóvenes, se agoten o distraigan con mayor facilidad. Este problema no puede ser resuelto actualmente debido a la dificultad de acceso al material, que puede ser costoso, difícil de encontrar en el mercado o incluso tener que ser importado de otros países. Dado lo anterior, se propone el desarrollo de una impresora Braille de bajo costo.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar una Impresora Braille para recrear relieve sobre el material.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar los requerimientos de la impresora Braille mediante normativa.
- Diseñar el mecanismo para recrear el relieve.
- Implementar el sistema mecatrónico de la impresora Braille.
- Validar la impresora mediante pruebas de funcionamiento.

1.3. Justificación

En el ámbito educativo, el desarrollo de la impresora Braille permitirá obtener material didáctico para ser utilizado en el Centro de Desarrollo Social y Económico “Santo Domingo” (Asociación de No Videntes de Imbabura), ubicado en la ciudad de Ibarra; por tanto, contribuiría con el desarrollo de las actividades necesarias para el aprendizaje de los estudiantes no videntes. De esta manera se beneficiarían alrededor de 37 estudiantes. Así mismo, a medida que se aumente el material didáctico en la institución, los estudiantes dispondrán de mayores herramientas para su aprendizaje.

En el aspecto económico, se estaría proporcionando una impresora Braille de bajo costo, ya que, en la actualidad, el costo de estos equipos disponibles en el mercado se encuentra alrededor de los USD \$3721,92 y \$2965,11 [6].

Por otra parte, no están disponibles en el país por lo que hay que considerar que un eventual mantenimiento también representaría un costo significativo.

En el campo de la investigación se estaría continuando con el desarrollo de dispositivos, en la carrera de ingeniería mecatrónica y a su vez cumpliendo con la misión de la Universidad Técnica del Norte, empleando tecnología local, y que puedan dar lugar a investigaciones futuras.

Finalmente es importante destacar que el proyecto tendrá un gran impacto social, beneficiando a la comunidad de no videntes de la provincia de Imbabura, al abordar la necesidad de proporcionar información a los profesores responsables de enseñar a estudiantes no videntes. Esto contribuirá al desarrollo académico de los niños, niñas y jóvenes en la provincia y, por lo tanto, ayudará a mejorar su calidad de vida.

1.4.Alcance

La investigación tiene como objetivo el diseño, construcción y pruebas de funcionamiento de un prototipo de impresora capaz de plasmar los caracteres deseados del lenguaje Braille, así como el contorno de gráficos unitarios en relieve sobre el material.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

El análisis de los antecedentes permite examinar trabajos relacionados, proporcionando una primera visión del proyecto. De estos se extraen los aspectos más relevantes, que son sintetizados en la nueva propuesta. En este sentido, se presentan trabajos relacionados a la impresora de relieve para obtener caracteres Braille.

Se presenta una investigación orientada al análisis de las dificultades que afrontan los estudiantes de primaria con discapacidad en un colegio de Perú, según la perspectiva de sus docentes. A través de un enfoque cualitativo, se realizaron entrevistas a todos los profesores de primaria de la institución. Los descubrimientos más significativos revelaron cinco problemas principales, relacionados con las políticas nacionales e institucionales en beneficio de las personas con discapacidad visual, los recursos disponibles, la participación de los padres en la vida del alumno, la presencia de discapacidades múltiples además de la discapacidad visual, la falta de materiales educativos adecuados, y la colaboración y especialización del docente. Estas dificultades son relevantes y pueden perjudicar el rendimiento académico de los estudiantes. [7].

Por otra parte, se han analizado las habilidades de lectura en Braille de alumnos con discapacidad visual tras una intervención pedagógica en una escuela técnica de Bogotá (Colombia). Para ello se seleccionaron alumnos no videntes que cursaban educación primaria y secundaria, durante los años 2017-2018. La investigación, de carácter cualitativo se fundamenta en epistemologías del sur, adaptó el Test de Análisis de Lectura y Escritura (TALE) al formato braille. Se emplearon herramientas como la observación participante, diarios de campo y una actividad didáctica llamada "Lectura Braille". La metodología incluyó

diversas fases, tales como preparación, reflexión, planificación, trabajo de campo y ejecución. Tras la intervención, se observaron avances significativos en el uso y manejo del sistema braille en el entorno educativo [8].

Adicionalmente, se desarrolló una impresora 3D, basándose en información obtenida a través de entrevistas con docentes especializados. En este caso, se evaluaron diversos diseños similares utilizando una matriz de selección. Posteriormente, se calcularon las cargas de diseño para los ejes guía y de soporte mediante análisis estático y una interfaz gráfica de usuario (GUI) creada en Matlab®. Tras obtener los diámetros de las barras, se definieron parámetros como la velocidad, tasa de deposición, resolución, y la potencia tanto de los motores como de la máquina en general. Así mismo, se diseñaron la estructura principal, las piezas de soporte y el armazón. Posteriormente, se efectuaron simulaciones de las cargas aplicadas a las barras y la estructura externa en SolidWorks® para afinar detalles relacionados con la geometría y los materiales. Para finalizar, se optó por el software de control, se configuró el firmware y se escogieron los componentes de los subsistemas de movimiento, extrusión y mesa de trabajo de la impresora.[9].

También se han llevado a cabo estudios basados en los insumos tiflotécnicos son herramientas diseñadas para facilitar el aprendizaje de personas con discapacidad visual, permitiéndoles interactuar con su entorno y la tecnología. A lo largo del tiempo, se han desarrollado diversos métodos y sistemas, entre los cuales destaca el Código Braille. Este código se basa en un sistema de símbolos compuesto por 6 puntos, que, al ser palpados, permiten al usuario identificar las letras del alfabeto. Gracias al avance tecnológico, se ha creado una impresora capaz de recrear caracteres Braille, que funciona mediante un sistema de percusión desplazado a lo largo de los ejes X e Y, formando los puntos en relieve. La

información proviene de una computadora, que convierte los caracteres ASCII a Braille antes de enviarlos a la impresora. La interacción de usuario está diseñada para ser accesible y de fácil utilidad por personas no videntes, compuesto por dos botones principales: uno para cargar archivos .txt y otro para imprimir el documento. Al poner en marcha la impresora, se pueden imprimir números, letras, vocales, y signos, en un espacio que permite 24 caracteres por línea y 23 líneas por página. El proceso de impresión toma aproximadamente 23 minutos, con una velocidad de 1 minuto por línea, lo que demuestra el buen funcionamiento del dispositivo [10].

Asimismo, con la finalidad de ofrecer apoyo a instituciones con recursos limitados, se ha desarrollado el diseño y construcción de una impresora Braille de bajo costo, que asegure la correcta representación de los caracteres del lenguaje Braille y sea fácil de usar. Para ello, se evaluaron las alternativas disponibles en el mercado, se plantearon tres propuestas de diseño, y se analizaron conforme a los criterios y restricciones definidos en el estudio. Este análisis facilitó la elección de la propuesta adecuada que satisfaga los requisitos del usuario. Se reutilizó la estructura de una máquina electrónica cortadora que había alcanzado el final de su vida útil, y se integró un sistema de control numérico para accionar los distintos componentes. Además, se adaptó el mecanismo para la transformación de texto a Código G. Finalmente, se consiguió una impresora Braille que cumple con su función al igual que otras opciones comerciales, pero con un proceso de diseño optimizado que facilitó su construcción. El dispositivo no solo es fácil de utilizar, sino que también sigue los parámetros establecidos para el lenguaje Braille. Estas especificaciones fueron verificadas y aprobadas por el personal docente de la Asociación de No Videntes de Imbabura [11].

Otro modelo de referencia, basado en el diseño y desarrollo de una impresora Braille digital de bajo costo fue desarrollado en Argentina. El principal reto fue el elevado precio de

las impresoras Braille, junto con la poca comercialización en el país, restringía la obtención de estos equipos a una gran parte de la población más vulnerable del sistema social en Argentina. Este proyecto se basó en los criterios de ingeniería Gandhiana, que comenzó con el reciclaje de impresoras de inyección de tinta. El objetivo fue diseñar, desarrollar y producir localmente una impresora Braille asequible, utilizando principalmente componentes de producción nacional. Es así que, se diseñó y construyó un sistema electromecánico y electrónico que adaptaba impresoras de inyección de tinta, permitiendo reciclar impresoras obsoletas. Utilizando impresoras convencionales y empleando habilidades técnicas, se adaptaron los elementos necesarios para imprimir en el formato del sistema Braille. Además, se elaboró un software de control para facilitar el uso sencillo y accesible de la impresora. También se adaptó el hardware mediante técnicas de impresión 3D y termoformado, creando una cubierta que contiene toda la impresora [12].

Considerando variables de carácter económico, las impresoras Braille mercantes restringen el acceso a la información y la comunicación de las personas con discapacidad visual que dependen del Braille, a causa de su eminente precio y limitada disponibilidad en el mercado. Por tanto, se planteó la creación de una impresora Braille modular de bajo costo. Para ello, se abordaron los detalles técnicos y nociones primordiales del sistema Braille, así como los conocimientos necesarios para el desarrollo e implementación del prototipo desde las perspectivas lógica, electrónica y mecánica. En el ensamblaje del modelo se empleó un método similar a un rompecabezas. El dispositivo es capaz de imprimir caracteres Braille en papel tamaño A4, manejando la herramienta de monitoreo serial de Arduino para la entrega de datos. La aprobación del dispositivo se llevó a cabo mediante un estudio para evaluar la calidad de impresión. Los resultados mostraron un gran asentimiento del prototipo [13].

Desarrollos adicionales de impresoras Braille capaces no solo de generar texto en el lenguaje y de imprimir imágenes en relieve, respetando las reglas sugeridas y los signos especiales del idioma español fue presentada. El dispositivo se basa en la estructura de un robot cartesiano, con movimientos a lo largo de los ejes "X" y "Y", mientras que el sistema de perforación opera en el eje "Z". Los movimientos son controlados por motores paso a paso, los cuales proporcionan la precisión necesaria para recrear el lenguaje Braille. Estos motores están gestionados por una placa Raspberry Pi 4 B, que se encarga de controlar los motores a través de controladores específicos. La tarjeta descifra los caracteres de texto y los transforma a Braille, además de resaltar los elementos clave de las imágenes. La programación, realizada en Python, admite ingresar datos mediante un teclado y utilizar archivos con extensión .txt, y soporta formatos de imagen como jpg, png y jpeg. El principal propósito del proyecto fue la producción de materiales educativos para usuarios con discapacidad visual, creando mapas, fotografías y libros en relieve [14].

Estudios adicionales sobre la relevancia de los materiales de apoyo en la lectura para personas discapacidad visual severa se presentan con base a las técnicas y productos que la ONCE ha desarrollado en este campo. En los años 80, las canciones se producían manualmente, recortando piezas con tijeras y pintando formas, utilizando materiales sencillos con texturas variadas. Sin embargo, la incorporación de tecnologías como la impresión ultravioleta y tridimensional condescendió expandir y diversificar estos productos, haciéndolos más completos y versátiles. Desde las primeras historias hasta las actuales creaciones en telas grabadas o figuras tridimensionales, cada recurso se diseña como un complemento para enriquecer la experiencia, invitando a los usuarios a disfrutar de las historias ocultas tras las palabras. Las palabras táctiles, imágenes aportan una emoción extra

a la experiencia de la lectura [15].

Directamente en un centro que atiende a personas con discapacidad visual se exploró con la impresión UV, la cual proporciona una producción altamente versátil, logrando influir en el estímulo táctil de estas personas. La investigación adopta un enfoque tanto cuantitativo como cualitativo, lo que consiente comprender el argumento particular del establecimiento en cuanto a la falta de recursos y cómo la impresión UV puede ofrecer una solución eficaz y completa [16].

Finalmente, se expone el diseño y construcción de una impresora Braille, tomando como base el rediseño de una impresora matricial obsoleta, con elementos mecánicos aún funcionales. El objetivo fue crear un sistema económico. El proceso de diseño se dividió en varias etapas. La primera consistió en el desarrollo del sistema electrónico basado en el procesador de señal digital, encargado de controlar todas las funciones del sistema. La segunda fase involucró la creación de un software avanzado utilizando el lenguaje de programación visual Delphi XE7 de Embarcadero, capaz de convertir archivos de texto en Braille y comunicarse con la unidad principal a través de una conexión USB. La tercera fase fue la adaptación del mecanismo de la impresora matricial, ensamblando un actuador eléctrico para perforar, arrastrar y controlar el movimiento del papel. Por último, se muestran ciertos resultados de los caracteres braille plasmados [17].

2.2. Fundamentos Teóricos

El creador del sistema de lectura y escritura en relieve, que revolucionó la vida de millones de personas ciegas o con discapacidad visual, fue Louis Braille. Nació el 4 de enero de 1809 en Coupvray, ciudad cercana a París. A los tres años, sufrió un accidente en el taller de talabartería de su padre, que le provocó una lesión en uno de sus ojos. La infección resultante se extendió al otro ojo, lo que le causó ceguera total.

Gracias a una beca, pudo acceder al Real Instituto para Jóvenes Ciegos en París, donde se formó como científico y músico, destacándose como un talentoso organista y violonchelista. Sin embargo, su caso era inusual, ya que la mayoría de los estudiantes ciegos en esa época eran instruidos en oficios tal como son la cestería o la zapatería para asegurar su sustento al concluir sus estudios [18].

En 1829, Braille desarrolló una técnica de notación musical basado en seis puntos, tal como se muestra en la Fig. 2.1, y publicó su primer libro en braille, titulado "Método para escribir palabras, música y canciones sencillas mediante puntos, para uso de ciegos y especialmente diseñado para ellos" [19].

Louis Braille falleció a los 43 años, en 1852, debido a la tuberculosis. Cien años después de su muerte, en 1952, sus restos fueron trasladados al Panteón de París en reconocimiento a su legado.

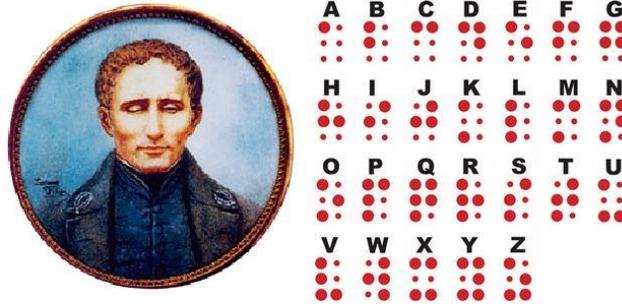


Fig.2.1. Entrevista con la presidenta de ANVI- Ibarra.

2.2.1. Normativa Braille.

En el transcurso del tiempo, se han establecido normativas determinadas para adaptar el uso del sistema Braille a diferentes idiomas. Estas reglas son esenciales para asegurar la uniformidad y accesibilidad del sistema en distintos ámbitos, tales como son la educación, la señalización pública y la publicación de documentos. En los países de habla hispana, instituciones como la Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE) y la Unión Latinoamericana de Ciegos (ULAC) han jugado un papel fundamental en la regulación y estandarización del Braille, ajustándolo a las particularidades lingüísticas y culturales del español. Estas regulaciones garantizan que el Braille siga siendo funcional, consintiendo que personas ciegas o con visión baja accedan de una manera equitativa y eficaz a la información [20].

2.2.1.1. Directrices para un correcto diseño de los caracteres braille

- **La elevación del punto:** El braille está diseñado para ser percibido a través del tacto, por lo que la altura del carácter plasmado es fundamental para que pueda ser comprendido de manera efectiva.
- **Tamaño de la celda:** Las celdas braille se leen de forma individual utilizando la yema de los dedos. Su tamaño debe ajustarse a los límites de percepción táctil, ya que un

tamaño demasiado grande o pequeño dificultaría la identificación de los caracteres.

- **Otros aspectos relevantes incluyen:** El espacio entre las líneas de celdas, la distancia entre celdas en una misma línea, el diámetro de la base del punto y la separación entre los bordes de los puntos. Aunque estas medidas pueden variar ligeramente, no deben afectar la compresión del sistema Braille.

2.2.1.2. Parámetros dimensionales

El sistema de escritura Braille puede clasificarse como un ejemplo de letra de espaciado uniforme, lo que significa que cada celda tiene el mismo tamaño, ya sea que cuente con uno, seis puntos o esté completamente vacía. Por lo tanto, el espacio que separa las palabras en Braille es simplemente una celda vacía que ocupa el mismo lugar que una con puntos.

Las dimensiones y el espaciado de los puntos en Braille están normalizados para asegurar que se pueda leer fácilmente al tacto. Estas especificaciones incluyen las medidas de los puntos en relieve que forman los caracteres y, aunque pueden variar ligeramente según las normativas de cada país, existen algunas dimensiones comunes aceptadas a nivel internacional, como las propuestas por la Organización Mundial del Braille [21]. Las cuales se evidencia en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1.Parámetros de escritura Braille estandarizados a nivel Mundial.

Parámetro	Dimensión estándar
Diámetro del punto Braille	1.5 mm
Altura del punto Braille	05 mm – 0.75 mm
Distancia entre puntos (Horizontal)	2.5 mm
Distancia entre puntos (Vertical)	2.5 mm
Distancia entre celdas Braille (Horizontal)	6 mm
Distancia entre celdas Braille (Vertical)	10 mm
Dimensión de una celda Braille	6 mm (alto) *4 mm (ancho)
Espacio entre líneas de texto	10 mm

Estos criterios son esenciales para garantizar que las personas no videntes o con baja visión puedan leer Braille de manera cómoda y eficaz. Así también, las regulaciones incluyen ajustes para diferentes materiales, como papel, plástico y metal, con el fin de garantizar que los puntos en relieve mantengan la misma claridad y legibilidad en diversas superficies [21].

2.2.1.3.Proporcionalidad

Si bien es importante tener un cierto criterio de proporcionalidad a la hora de diseñar caracteres braille para su impresión en relieve en cualquier soporte, no se pueden ofrecer valores absolutos para cada una de las posibles variaciones en alguno de los parámetros dimensionales propuestos. Como norma general, cuanto más se acerquen las dimensiones utilizadas a las propuestas como las más adecuadas por la CBE, mayor será la probabilidad de éxito [21].

Como se ha mencionado, la ampliación de fuentes gráficas escalables facilita experimentar diferentes tamaños sin disipar la proporción adecuada ni dentro de la celda ni en la correlación espacial con las otras celdas. Sin embargo, si decidimos establecer celdas braille nuevas, hay particularidades que debemos considerar:

- No es aceptable combinar una altura mínima de celda con un ancho máximo, o inversamente, ya que esto distorsionaría los caracteres braille y entorpecería su lectura.
- Menos aún es recomendable usar puntos con diámetros mayores a los estipulados adentro de una celda con extensiones mínimas.
- No se debe fusionar celdas de diferentes dimensiones en el mismo texto braille.

2.2.1.4. Flexibilidad en el uso de los parámetros

La CBE define medidas óptimas para garantizar una lectura adecuada del sistema braille, permitiendo ciertas variaciones. Aunque los valores recomendados suelen ser los más idóneos, existen factores que demandan cierta flexibilidad dentro de lo que se considera funcional y eficiente para establecer los términos proporcionales de los caracteres braille.

Condiciones a considerar:

- ***Dependiendo del material:***

El braille puede reproducirse en una variedad de materiales y mediante distintas técnicas de impresión, estampado o creación, cada una tratándolo de manera particular:

- **Mediante troquelado**, en cartón, plástico o papel, similar a cómo se aplica relieve a letras o gráficos en un envase.
- **Por moldeado** en envases, especialmente de plástico, donde el braille se integra en

el diseño del producto.

- **En vidrio**, como los puntos en la parte inferior de algunas botellas que, aunque no son braille, emplean un concepto similar.
- **Sobre superficies metálicas**, por ejemplo, botones de ascensores o barandas.
- **Utilizando técnicas de diseño e impresión 3D**, (véase la Fig. 2.2).

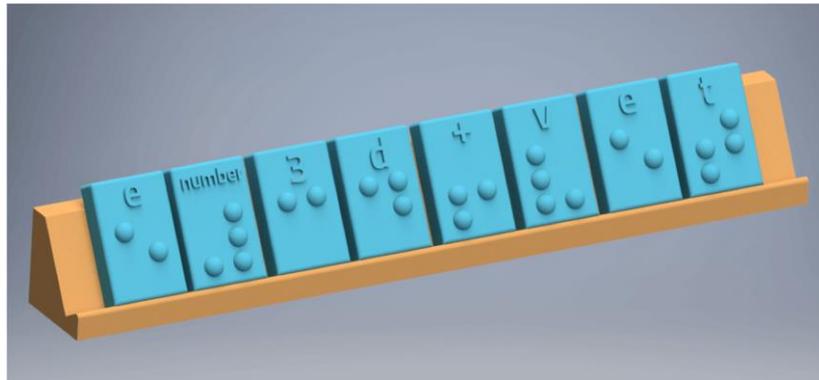


Fig.2.2 Tarjetas Braille con técnicas de impresión 3D.

Estos casos ilustran las diferencias en los resultados al incorporar braille en productos, según el tipo de material empleado. Por ejemplo, al plasmar sobre papel o cartón, el tamaño del punto braille tiende a aumentar en proporción al grosor del material, por lo que es recomendable no superar los estándares sugeridos de 1,5 mm. En función de esto, es importante considerar el material elegido y efectuar pruebas con diferentes tamaños del carácter braille hasta encontrar el que este de acorde para una buena compresión.

2.2.2. Modelos de impresoras Braille de relieve.

A continuación, se presenta diferentes modelos de impresoras Braille, junto con sus respectivas marcas y costos (observar Tabla 2.2). Esta información permite una visión sobre los

costos comerciales los cuales suelen tener un precio elevado, lo que puede representar una inversión significativa.

Tabla 2.2 Costos comerciales de Impresoras Braille.

Casa Comercial	Modelo	Costo
Humanware	PIAF	1409.27 USD
Humanware	BASIC-D V5	4577.41 USD
Humanware	EVEREST-D V5	4621.11 USD
Humanware	ROMEO 60	3714.36 USD
Humanware	JULIET	4719.43 USD
INDEX BRAILLE	BASIC-D V5	3594.19 USD
INDEX BRAILLE	EVEREST-D V5	4479.09 USD
INDEX BRAILLE	BRAILLEBOX V5	16.273,78 USD
INDEX BRAILLE	FANFOLD-D V5	16.273,78 USD
INDEX BRAILLE	BASIC-D V4	2828,80 USD

2.2.3. Tecnologías de impresión Braille.

2.2.3.1. Punzón

El punzón y la regleta Braille son herramientas manuales tradicionales utilizadas para escribir en el sistema Braille. La regleta es una plantilla rectangular con filas de celdas Braille como se observa en la Fig. 2.3, las cuales sirven como guías para colocar los puntos en relieve sobre el papel. Cada celda consta de seis espacios (dos columnas de tres) donde se puede marcar con el punzón, formando así los caracteres Braille.

El punzón es un instrumento con una punta fina que se utiliza para presionar y crear los puntos en el papel. Funciona de manera similar a una aguja o bolígrafo, pero en lugar de escribir tinta, genera una impresión en relieve en el papel, que luego puede ser leída por el tacto. Para escribir con el punzón y la regleta, se inserta una hoja de papel entre dos partes de la regleta. La parte superior tiene orificios donde se coloca el punzón, mientras que la parte inferior tiene pequeñas hendiduras que permiten que el papel se deforme y mantenga los puntos en relieve [22].

El proceso de escritura es inverso al de la lectura: el usuario debe marcar los puntos desde la parte posterior del papel, lo que significa que la escritura se realiza de derecha a izquierda para que el texto pueda leerse de izquierda a derecha. Este método es eficaz y portátil, permitiendo que las personas ciegas o con discapacidad visual escriban de forma manual y sin necesidad de dispositivos electrónicos.



Fig. 2.3 Punzón y regleta Braille.

2.2.3.2. Impresión UV

La impresión UV es una tecnología avanzada que permite crear textos y gráficos en relieve mediante la utilización de tintas especiales que se curan (o secan) rápidamente al exponerse a la

luz ultravioleta (UV). Esta técnica se ha adaptado para aplicaciones en Braille, permitiendo la creación de textos en relieve legibles para personas

Para esto la tinta UV se aplica en capas sobre diversos materiales (papel, plástico, metal, etc.) con una impresora especializada. A diferencia de la tinta convencional, no se absorbe, sino que queda en la superficie. Luego, una luz ultravioleta de alta potencia seca la tinta casi al instante, permitiendo que forme puntos en relieve. La impresora deposita la tinta con precisión para crear caracteres Braille, ajustando la altura de los puntos mediante capas adicionales para garantizar su detectabilidad al tacto.

De esta manera la impresión UV para Braille ofrece precisión en la colocación de los puntos, garantizando legibilidad y uniformidad. Los puntos en relieve son duraderos y resisten el desgaste, ideal para señalizaciones de uso prolongado. Además, es versátil, aplicable en diversos materiales, desde productos comerciales hasta señalética accesible. Su proceso automatizado y de secado rápido permite producir grandes volúmenes de manera eficiente [23].

Es por ello que, la impresión UV en Braille se utiliza en etiquetas de productos farmacéuticos, alimentarios o de consumo, señalización accesible en espacios públicos y documentos para empresas o instituciones tal como se percibe en la Fig. 2.4. Esta tecnología ofrece una solución innovadora, precisa, rápida y duradera, facilitando la accesibilidad para personas con discapacidad visual en una variedad de productos y entornos [24].



Fig. 2.4 Impresión de señalética Braille con tecnología UV.

2.2.3.3. Impresión 3D

La impresión 3D es una tecnología que permite crear objetos físicos capa por capa a partir de un diseño digital. Aplicada al lenguaje Braille, esta tecnología ofrece la posibilidad de producir textos y gráficos en relieve, que pueden ser leídos mediante el tacto por personas con discapacidad visual.

La impresión 3D aplicada al Braille sigue un proceso preciso que garantiza la creación de textos en relieve, legibles para personas con discapacidad visual. Primero, se diseña un modelo digital del texto en Braille utilizando un software de diseño asistido por computadora (CAD), respetando los estándares de tamaño y espaciado de los puntos Braille. Luego, este diseño se convierte en un archivo compatible con impresoras 3D, como un archivo STL, que es procesado por un software que procese en archivo en código G como se precia en la Fig. 2.5. Estos softwares dividen el modelo en capas e instruye a la impresora para que extruya finas capas de material, normalmente plástico como PLA o ABS, formando los puntos Braille en relieve. Estos puntos se construyen elevándose capa por capa, creando una superficie táctil que cumple con las normativas y es fácilmente legible al tacto.

La impresión 3D ofrece numerosas ventajas para la creación de textos y objetos en Braille. Su capacidad de personalización permite adaptar diseños específicos para cada usuario, ya sea en materiales educativos, señalización o etiquetas en distintos objetos. Además, la precisión de esta tecnología asegura que los puntos Braille cumplan con los estándares de legibilidad en tamaño y espaciado. La versatilidad de los materiales y las formas permite no solo imprimir Braille en superficies planas, sino también en objetos tridimensionales como mapas, modelos táctiles o figuras con descripciones en Braille, mejorando así las experiencias educativas y de orientación [25].

Entre las aplicaciones de la impresión 3D en Braille, destacan la creación de material educativo, como libros y gráficos táctiles, etiquetas accesibles para productos y entornos, y modelos táctiles utilizados en museos, escuelas o centros de orientación. Esta tecnología es una herramienta clave para la accesibilidad, ya que permite la producción rápida y económica de material en Braille, fomentando la inclusión de personas con discapacidad visual.

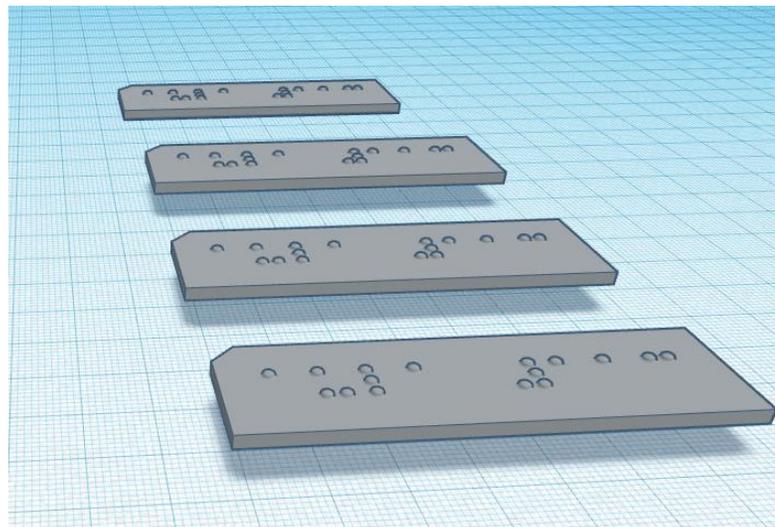


Fig. 2.5 Fichas Braille Impresas con extrusión de Polímero.

2.2.4. Software de traducción Braille.

Los softwares de traducción Braille son herramientas digitales diseñadas para convertir texto en lenguaje Braille, facilitando la accesibilidad para personas con discapacidad visual. Estos programas permiten transformar automáticamente texto en lenguaje escrito en caracteres Braille, lo que resulta esencial para la creación de documentos accesibles, material educativo y señalización en diversos entornos.

Estos softwares se han vuelto una parte clave en la accesibilidad, ya que permiten a los usuarios escribir, editar y traducir contenido en Braille de manera rápida y precisa. Además, brindan la posibilidad de personalizar la salida en función del código Braille del idioma en uso, ya que el Braille varía según el idioma o el contexto (literario, matemático, musical). A través de estos programas, la inclusión digital y educativa se vuelve más alcanzable para millones de personas en todo el mundo.

2.2.4.1. BrailleTranslator

Al acceder al sitio de traducción Braille, verás una caja de texto donde puedes ingresar el contenido que deseas traducir como se aprecia en la Fig. 2.6. Simplemente escribe o pega el texto, selecciona las opciones necesarias como el tipo de Braille (Grado 1 o Grado 2) y el idioma, y haz clic en "Translate" o "Convert". El resultado aparecerá en una caja de salida en formato Braille, que podrás copiar o descargar. Algunos sitios también permiten imprimir o generar archivos compatibles con impresoras Braille.

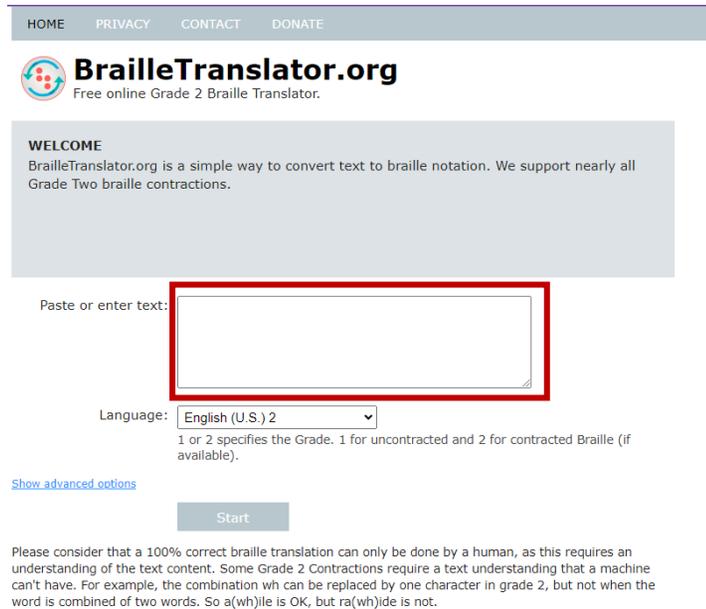


Fig. 2.6 Software Braille Translator.org.

2.2.4.2.BrailleBlaster

Una vez que abras BrailleBlaster (ver Fig. 2.7), puedes configurar las preferencias de traducción, como el tipo de Braille y el idioma, en "Preferences" o "Settings". Luego, selecciona el archivo que deseas traducir haciendo clic en "File" y "Open". BrailleBlaster admite formatos como .docx, .txt y .pdf. Tras cargar el documento, presiona "Translate" o "Convert" para iniciar la traducción a Braille, que aparecerá en una ventana separada o junto al texto original. Puedes revisar y ajustar la traducción antes de guardarla en formatos como BRF (Braille Ready Format) o BRL. Si tienes una impresora Braille, puedes imprimir directamente desde la aplicación. Además, BrailleBlaster permite modificar la disposición de las páginas y agregar anotaciones, y ofrece herramientas de accesibilidad como lupas y soporte para lectores de pantalla.

A New Choice in Braille Transcription Software

BrailleBlaster™ is a braille transcription program developed by the American Printing House for the Blind to help transcribers provide blind students with braille textbooks on the first day of class.

[Download](#) | [FAQ](#) | [Documentation](#) | [Donate](#)



Fig. 2.7 Software BrailleBlaster.

2.2.4.3. RoboBraille

En la página principal, selecciona la opción "Convert to Braille". Luego, haz clic en "Choose file" o "Browse" para subir el documento que deseas convertir, o proporciona una URL si el archivo está en línea. RoboBraille admite formatos como .doc, .pdf y .txt como se observa en la Fig. 2.8. Selecciona el idioma del documento y elige el tipo de Braille (Grado 1, Grado 2, matemático, etc.). También puedes ajustar opciones como el tamaño de papel y el formato de salida. Ingresa una dirección de correo válida y haz clic en "Submit" o "Convert". Una vez procesado, recibirás un correo con el enlace para descargar el documento Braille.

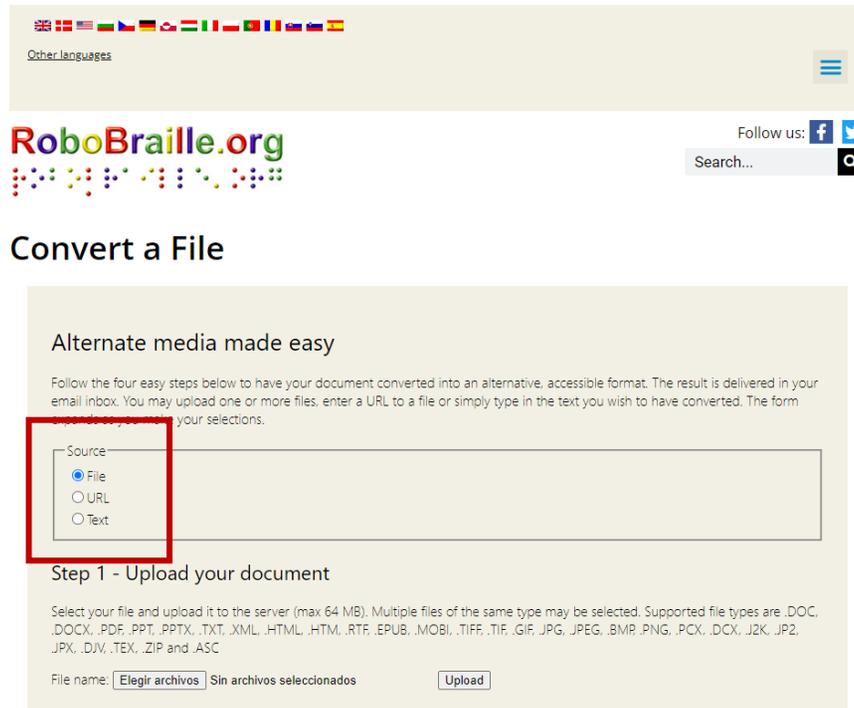


Fig. 2.8 Software RoboBraille.org.

2.2.4.4. OpenL

Para utilizar OpenL, primero descarga e instala la versión compatible con tu sistema operativo desde el sitio oficial. Una vez instalado, abre la aplicación y carga el archivo que deseas traducir a Braille haciendo clic en "Abrir archivo" o "Importar". También puedes escribir o pegar el texto manualmente como se aprecia en la Fig. 2.9. Configura el tipo de Braille (Grado 1, Grado 2, matemático, etc.) desde el menú de "Opciones". Luego, haz clic en "Traducir" para generar el texto en Braille. Revisa la traducción y ajusta si es necesario. Cuando estés satisfecho, guarda el archivo en formato BRF o BRL, o imprime directamente si tienes una impresora Braille.

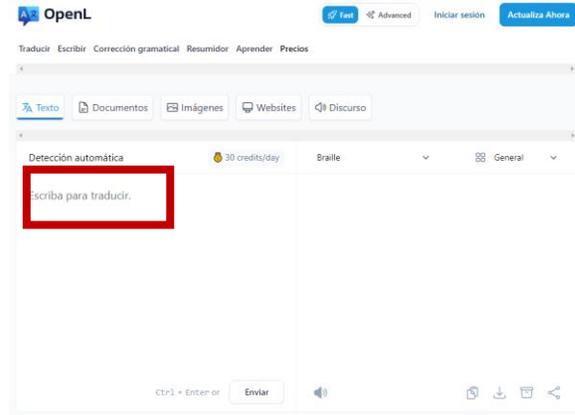


Fig. 2.9 Software OpenL.

2.2.4.5.Symbal

Descarga e instala Braille Symbal desde su sitio oficial según tu sistema operativo. Una vez instalado, abre la aplicación y carga el documento a traducir a Braille usando "Cargar archivo" o "Importar". También puedes escribir o pegar el texto directamente. Configura las preferencias de traducción en "Opciones" o "Configuración", eligiendo el tipo de Braille y el idioma del documento (ver Fig. 2.10). Luego, haz clic en "Traducir" para generar el texto en Braille. Revisa y ajusta la traducción si es necesario. Cuando estés conforme, guarda el archivo en formato BRF o BRL, o imprime directamente si tienes una impresora Braille.



Fig. 2.10 Software Symbal.

2.2.4.6.dCode

Para utilizar el traductor Braille de dCode, accede al sitio web oficial de dCode, sin necesidad de descargar ningún programa (ver Fig. 2.11). En la página principal, selecciona la herramienta "Braille Translator" o encuéntrala mediante la barra de búsqueda. Luego, escribe o pega el texto que deseas traducir en la caja de texto disponible. A continuación, ajusta las opciones de traducción, como el tipo de Braille (Grado 1 o Grado 2), y haz clic en "Convert" o "Traducir" para procesar el texto. El resultado aparecerá en la misma página, donde podrás revisarlo, copiarlo o descargarlo para utilizarlo en otros documentos o aplicaciones Braille. Para impresión, copia el texto y utilízalo con una impresora Braille o exporta el archivo a otro software compatible.

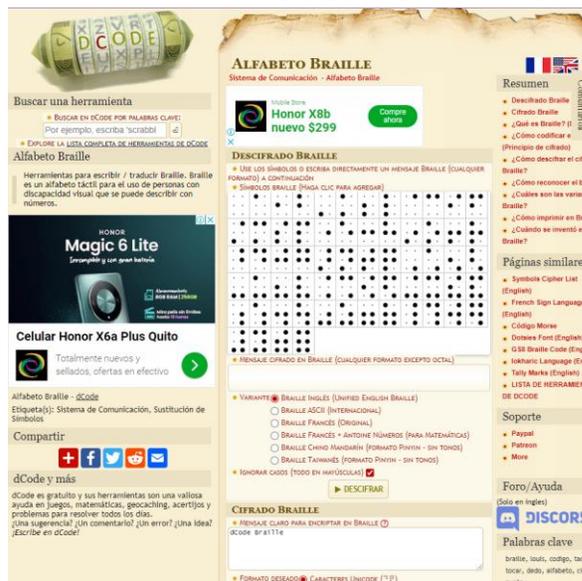


Fig. 2.11 Software dCode.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

Este apartado ofrece una descripción exhaustiva de la metodología utilizada en el desarrollo de una impresora Braille diseñada para generar relieves sobre papel bond.

3.1. Modelo de Investigación

El presente trabajo de titulación se enmarca dentro de una investigación aplicada, ya que su objetivo es ofrecer una solución a un problema identificado [26]: la creación de una impresora Braille de bajo costo capaz de generar relieves. Además, la investigación es de tipo documental, ya que se recopila información de diversas fuentes como libros, revistas, artículos científicos y periódicos [27]. También se incluye una investigación de campo, lo que implica la visita a la Asociación de No Videntes de Imbabura "Santo Domingo" para recolectar datos y realizar entrevistas o encuestas [28].

Por otro lado, la investigación es de carácter descriptivo, ya que se detallan las variables del objeto de estudio y, si es necesario, se establecen las dimensiones del contexto [29]. Finalmente, es de tipo experimental, pues a través de la intervención consciente del investigador, se comprueba el funcionamiento del dispositivo mediante pruebas [30].

3.1.1. Metodología de Desarrollo

En cuanto a la metodología de investigación, es fundamental aludir y aplicar una orientación de desarrollo como el modelo de cascada evolutiva, el cual se compone de cuatro fases consecutivas que refieren las etapas y actividades necesarias para ejecutar el proyecto. Estas fases incluyen: análisis de requerimientos, diseño, implementación y pruebas [31]. Estas etapas requieren la realización de actividades que deben completarse antes de avanzar a la siguiente fase.

3.2. Diseño de Investigación

Tomando en cuenta lo expuesto previamente, es posible organizar las etapas según los objetivos establecidos y las actividades correspondientes para cada proceso.

3.2.1. Fase 1: Determinación de los requerimientos de la impresora Braille.

Actividad 1: Búsqueda de información acerca de la normativa Braille.

Se realiza la investigación en la página web de La Comisión Braille Española (CBE) (colocar la dirección); ya que es el órgano que ostenta la máxima autoridad en España para la fijación de normas de uso y desarrollo del sistema Braille de la lectoescritura/cecografía. Así mismo, es el órgano que regula la simbología, el relieve y color aplicable a las láminas o cualquier otro producto utilizable en el diseño de la impresora.

Actividad 2: Búsqueda de información acerca de mecanismos para recrear relieve, tecnologías de impresoras y software de traducción braille.

Se investiga acerca de los mecanismos existentes para la elaboración de relieves sobre una superficie, las impresoras Braille disponibles en el mercado, así como sus costos y funcionamiento. Además, se revisan los softwares de traducción braille con los que se podría trabajar.

Actividad 3: Entrevistas a personas con discapacidad visual.

Se realiza la entrevista con la señorita Nohemí Trejo, encargada de la Fundación de No Videntes Imbabura (ANVI), y con los docentes de esta dependencia el encargado del área tecnológica.

3.2.2. Fase 2: Diseño del mecanismo para recrear el relieve.

Basado en los parámetros obtenidos de la fase 1 es posible realizar las actividades que corresponden al diseño.

Actividad 1: Búsqueda de información acerca de los mecanismos utilizados en impresoras de relieve en lenguaje Braille existentes.

Se analiza el funcionamiento de las impresoras existentes braille, específicamente del mecanismo que utiliza para plasmar este lenguaje.

Actividad 2: Determinación de requerimientos del dispositivo.

Con base en las entrevistas realizadas con los directivos de ANVI, docentes y personal técnico se determinan los parámetros necesarios para la solución de la problemática presentada.

Actividad 3: Planteamiento de alternativas de solución.

Una vez conocido los requerimientos del dispositivo se proponen las posibles soluciones para el desarrollo del modelo.

Actividad 4: Selección de la mejor solución.

Se realiza un análisis de alternativas para seleccionar la propuesta más conveniente con base en los criterios y restricciones consideradas para el diseño.

Actividad 5: Modelado de la estructura del dispositivo y del accionamiento.

Se plantea el diseño 3D de la estructura de la impresora empleando un software de modelado. Así mismo, se representan cada uno de los componentes que conformar el sistema de accionamiento, con el cual se va a plasmar el lenguaje braille en la hoja.

Actividad 6: Selección de materiales.

Se plantean opciones de los materiales que conformen la estructura. Se especifica un grupo de posibles materiales para cada uno de los componentes de la impresora, analizando la disponibilidad en el mercado costo proceso de fabricación y diseño por resistencia.

3.2.3. Fase 3: Implementación el sistema mecatrónico de la impresora Braille.

Actividad 1: Construcción de estructura.

Se fabrica la estructura externa de la impresora y se adquieren los componentes de sistema interno.

Actividad 2: Transcripción de oraciones en el sistema Braille para prueba de impresión.

Con la ayuda de los softwares de traducción Braille se transcribe un texto previo a la elaboración del archivo. SLDPRT en el software SolidWorks, donde se transforma en archivo. STL para generar el código G.

Actividad 3: Pruebas de funcionamiento de la impresora.

Se carga el archivo con el código G en la impresora y se imprime la primera prueba, para comprobar el correcto funcionamiento previo a la sujeción de componentes.

Actividad 4: Sujeción de componentes electrónicos y ensamble de la impresora.

Una vez comprobado el correcto funcionamiento de la impresora, con base en los requerimientos preestablecidos se sujetan de forma definitiva componentes y la estructura interna de la impresora.

3.2.4. Fase 4: Validación de la impresora mediante pruebas de funcionamiento.

La última fase se centra en poner a prueba el trabajo realizado. En esta etapa se verifica el funcionamiento de la impresora y se realizan las modificaciones en caso de ser necesarias.

Actividad 1: Diseño de pruebas de lectura.

Se realiza la traducción de diferentes textos a lenguaje Braille para desarrollar el código G necesario para imprimir los diferentes textos.

Actividad 2: Ejecución de pruebas de lectura con estudiantes de ANVI.

Se realizan pruebas de lectura con estudiantes de la Asociación de No Videntes Imbabura y se verifica el correcto funcionamiento de la impresora.

Actividad 3: Presentación del documento final escrito.

Se presenta el documento escrito al tutor de tesis.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presenta el diseño de cada uno de los componentes de la impresora, así como los procesos de construcción y pruebas del dispositivo. Se definen los parámetros para plantear la mejor solución y el procedimiento para seleccionar la mejor alternativa. A partir de la solución se explican detalladamente cada uno de los elementos a emplear, así como la función que cumplen en el dispositivo. El dimensionamiento y la selección de cada elemento y materiales se sustenta en criterios técnicos y en el cálculo analítica. Se verifica el funcionamiento de la impresora a través de pruebas bajo diversas condiciones, realizando correcciones y ajustes finales para asegurar su total operatividad.

4.1. Especificaciones del sistema a diseñar

En la elaboración de un proyecto es de gran importancia contar con un orden a seguir que conforma el proceso de diseño. Para el desarrollo de la estructura se tiene como objetivo plasmar relieves mediante impresión de polímeros, para ello se presentan dos alternativas de solución, las cuales serán evaluadas mediante un estudio comparativo.

En la elaboración de un proyecto se busca priorizar la perfección en todos los ámbitos, aunque no siempre se logre, se debe tomar en cuenta que existen requerimientos que prevalecen ante los demás siendo estos en los que más se debe enfocar para cumplir con los requerimientos principales y enfocar los recursos en ello. Para lo cual se plantea características que ayudan a llegar a una conclusión sobre el diseño a realizarse.

Función. – Es la característica principal del sistema, la funcionalidad debe ser provechosa ya que es de gran importancia desarrollar material en lenguaje Braille para beneficio de los estudiantes con discapacidad visual.

Eficiencia. –El dispositivo está diseñado para la adherencia de un polímero específico a papel bond, de esta forma la impresora debe ofrecer fiabilidad para que los usuarios puedan comprender las lecturas sin encontrar altercados.

Precisión. – Al trabajar con personas con discapacidad visual los caracteres plasmados deben ser de alta calidad, completamente claros y definidos con respecto a sus dimensiones.

Estética. – El dispositivo debe ser de medidas proporcionalmente distribuidas haciendo que sea armoniosa con el entorno.

Peso. – Se requiere el menor peso posible para facilitar su movilidad o transporte.

Mantenimiento. – El dispositivo debe ser producido con elementos disponibles en el mercado y ser intercambiados en el caso de ser necesario.

Seguridad. – Al ser un dispositivo que estará en un ambiente con personas con discapacidad visual requiere que todas sus partes electrónicas se encuentren protegidas y la carcasa sea de un material plástico. Así mismo el material de impresión no debe ser tóxico.

Costo. –Se requiere que el costo sea asequible ya que va destinada a instituciones públicas de bajos recursos.

4.2.Planteamiento de alternativas de solución

4.2.1. Propuesta de solución numérica 1

Para la solución propuesta se encuentra el ingreso para cargar el archivo .stl (9) para seleccionar en la pantalla (6) el archivo que se desea imprimir. Se establece la temperatura adecuada para la cama (7). Posteriormente, se accionará el motor del eje X (9), Z (8), e Y (5) para establecer la profundidad a la que se encuentra la cama. mediante un sensor de distancia. Este movimiento se realizará a través de los rodamientos de tornillo sin fin (2) que se mantienen gracias a los perfiles (3), (4) para ambos ejes. Una vez establecidos dichos parámetros, el extrusor (10) calentará el filamento que se encuentra en la porta filamento (1) y comunicará al circuito de conexión del motor del extrusor para que siga avanzando el material conforme se vaya realizando la impresión. En la Fig. 4.1 se muestra un esquema de la solución propuesta.

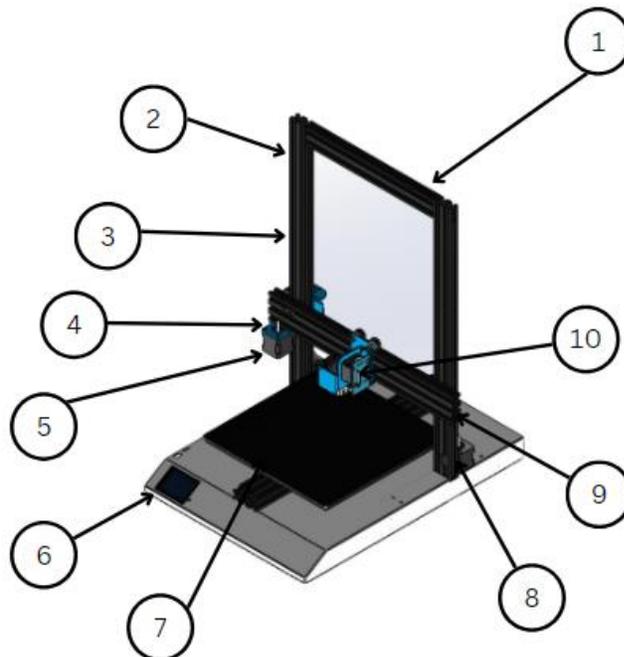


Fig.4.1 Propuesta de solución número 1.

Tabla 4.1 Denominación de piezas de la propuesta número 1.

Nro.	Denominación	Cantidad
1	Perfil soporte eje Y	1
2	Rodamiento para tornillos sin fin	2
3	Perfil eje Z	2
4	Circuito de conexión motor de extrusor	1
5	Motor paso a paso eje Y	1
6	Pantalla touch de manejo	1
7	Cama térmica	1
8	Motor eje Z	1
9	Motor eje X	1
10	Extrusor	1

4.2.2. Propuesta de solución número 2

Para la solución propuesta se cuenta con rodillos de presión (8) que trabajan mediante la caja de transmisión, que se encuentra en la estructura de soporte (6), la cual absorbe las hojas donde se imprimirán los caracteres. Posterior al ingreso de la hoja los motores del eje X (1) y Z(2), se accionarán para establecer la profundidad a la que se encuentra la cama (4) mediante un sensor de distancia, este movimiento se realizará a través de los rodamientos de tornillo sin fin (3) que se mantienen gracias a la estructura general (7). Una vez establecida la profundidad, el extrusor (5) calentará el polímero y realizará la impresión. En la Fig. 4.2 se muestra un esquema de la solución propuesta.

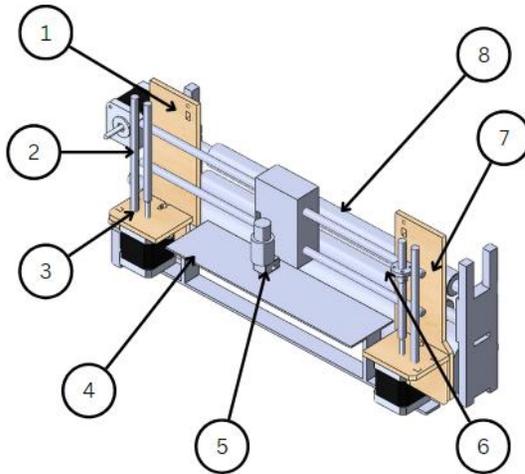


Fig.4.2 Propuesta de solución número 2.

Tabla 4.2 Denominación de piezas de la propuesta número 2.

Nro.	Denominación	Cantidad
1	Estructura eje X	1
2	Mecanismo tornillo sin fin eje Z	2
3	Rodamiento para tornillo sin fin	2
4	Cama térmica	1
5	Extrusor	1
6	Mecanismo de presión de rodillos	1
7	Estructura de soporte general	1
8	Rodillos de presión	2

4.3. Estudio comparativo entre las propuestas de solución

En la tabla 4.3 se presenta un estudio comparativo entre las propuestas de solución 1 y 2, evaluadas en función de los criterios establecidos para el diseño del sistema. Estos criterios permiten analizar y contrastar el desempeño, eficiencia y viabilidad de ambas propuestas, proporcionando una base sólida para seleccionar la opción más adecuada para el proyecto.

Tabla 4.3 Comparaciones entre solución de propuesta 1 y solución de propuesta 2.

	Propuesta 1	Propuesta 2
Función	En respecto a su funcionalidad cumple con su objetivo principal.	Con respecto a la funcionalidad cumple con el objetivo.
Mantenimiento	De fácil mantenimiento debido a su existencia de repuesto en el mercado.	Complejo mantenimiento debido a la escasez de piezas del rodillo.
Peso	Peso moderado.	Peso bastante considerable debido a la presencia de los rodillos de presión.
Precisión	Al momento de plasmar el carácter Braille se cuenta con alta precisión debido a la claridad del carácter.	Se encuentra inconvenientes por el movimiento que se genera en el avance de la hoja mediante los rodillos de presión.
Costo	El costo es alrededor de 200 USD	El costo bordea los 350 USD
Eficiencia	Se considera eficiente debido a la alta adherencia que se puede generar cuando el papel se encuentra estático.	Baja eficiencia debido al movimiento que se genera en el papel mediante que este avanza no permitiendo la adherir del polímero.

Estético	El dispositivo es estético debido a su estructura organizada	Se presenta un tamaño considerable.
Seguridad	Sus componentes electrónicos se encuentran cubiertos garantizando la seguridad.	Sus componentes se encuentran cubiertos mediante con una carcasa.

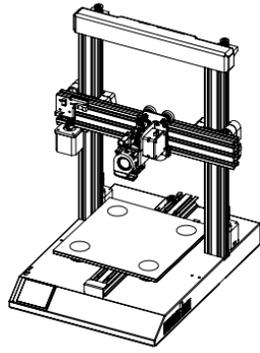
4.4. Solución seleccionada

Considerado la problemática y tomando los criterios y restricciones requeridos para el dispositivo, se encuentra como la opción más viable la propuesta número 1; ya que cubre con todas las necesidades planteadas.

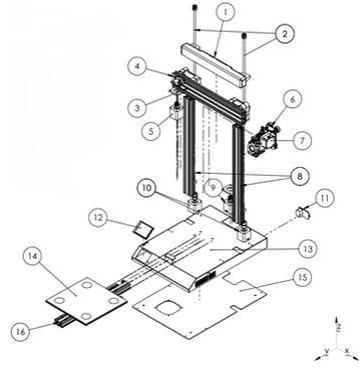
4.5. Especificaciones de la solución seleccionada

El dispositivo está diseñado específicamente para plasmar caracteres Braille en papel bond; está compuesta por una serie de componentes como se muestra en la Fig. 4.3(b), que trabajan en conjunto para extruir el polímero y plasmar el carácter Braille. Entre sus características principales están sus dimensiones las cuales son 430 mm de largo, 390 mm de ancho y 510 mm de alto; con un peso de 8.9 kg.

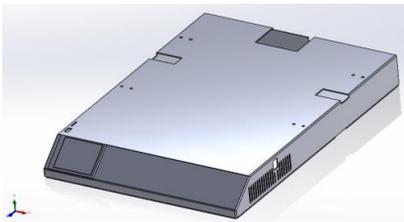
A continuación, se detalla sus especificaciones técnicas.



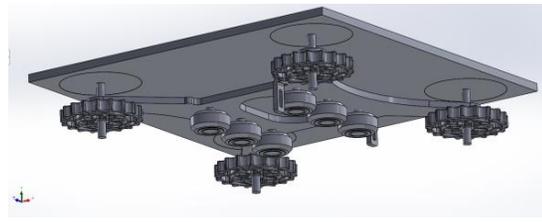
(a)



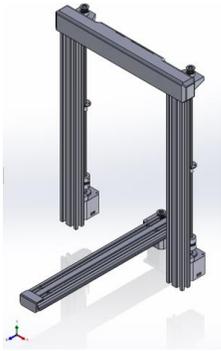
(b)



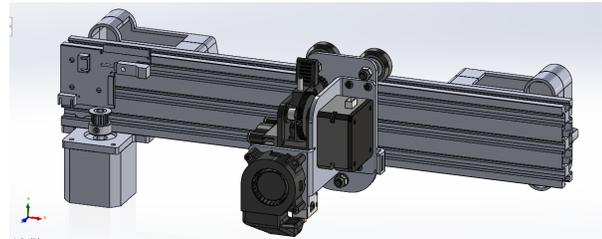
(c)



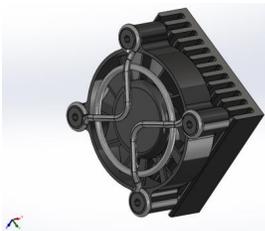
(d)



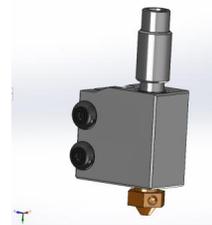
(d)



(e)



(e)



(f)

Fig. 4.3 Vista Isométrica de la solución seleccionada. (a) Vista isométrica ensamblada, (b) Vista isométrica en explosión, (c) Sistema base, (d) Sistema de nivelación de cama, (e) Sistema de extrusión, (f) Sistema calefactor.

En la tabla 4.4 se presentan los principales elementos o piezas de la máquina, detallando el tipo de material con el que están fabricados, así como la cantidad de piezas idénticas que se encuentran en el ensamblaje. Esta información es clave para comprender la composición y distribución de los componentes en el diseño de la máquina.

Tabla 4.4 Denominación de piezas de la solución seleccionada.

Nro.	Denominación	Material	Cantidad
1	Soporte plástico superior	PETG	1
2	Tornillos sin fin	Acero inoxidable	2
3	Perfil del eje X	Aluminio	1
4	Acople de motor Z	Acero galvanizado	1
5	Motor paso a paso eje X	Acero	2
6	Extrusor	PETG	1
7	Motor paso a paso de extrusor	Acero	1
8	Perfil del eje Z	Aluminio	2
9	Motor paso a paso eje Y	Acero	1
10	Motor paso a paso eje Z	Acero	2
11	Módulo de entrada de fuente alterna con protección		1
12	Pantalla HDMI		1
13	Base principal	Aleación de acero	1
14	Cama térmica	Fibra de vidrio	1
15	Tapa de la chapa metálica	Aleación de acero	1
16	Perfil del eje Y	Aluminio	1

4.5.1. Sistema Base

El sistema base del dispositivo funciona como soporte para todos los componentes (ver Fig.4.4). Está diseñado para garantizar la operación eficiente de los demás sistemas; siendo capaz de soportar las cargas y vibraciones generadas durante la marcha del equipo. Además, juega un papel clave en la precisión del dispositivo, asegurando que se mantenga una plataforma nivelada y sin desviaciones. Los elementos que componen este sistema son: Base principal y tapa de chapa metálica.

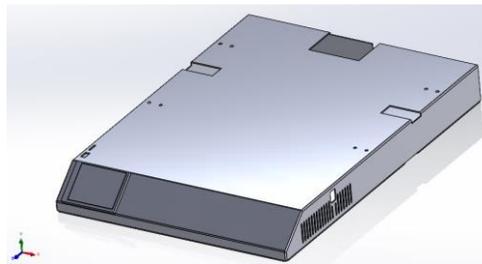


Fig. 4.4 Ensamble del sistema base.

Base Principal. – Esta chapa metálica de acero de 3mm de espesor, cumple la función de cubrir el sistema electrónico, sirve de base para la sujeción de dichos elementos y la vez soporta la cama térmica y el sistema estructural de la impresora. Su forma es rectangular de 430 mm * 390 mm y cuenta con perforaciones, como se observar en la Fig. 4.5, donde se colocan tanto tornillos como piezas del sistema estructural.

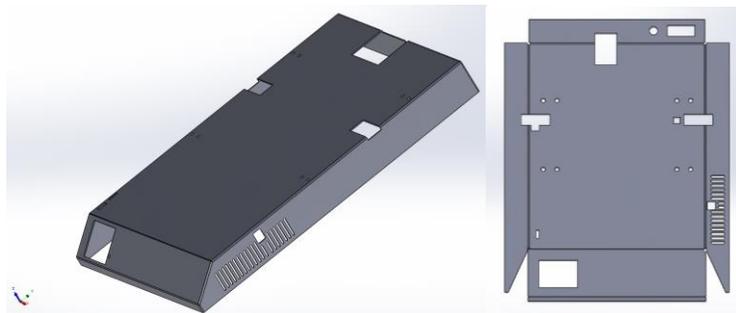


Fig. 4.5 Base principal en chapa metálica.

Tapa de la chapa metálica. – Cumple con la función de cerrar por completo el interior de la base donde se encuentran los dispositivos electrónicos. Es una chapa metálica de 3mm de acero de forma rectangular que cuenta con perforaciones para colocar los tornillos de sujeción y una perforación en la cual se sostiene el ventilador de los componentes de la máquina, como se muestra en la Fig. 4.6.

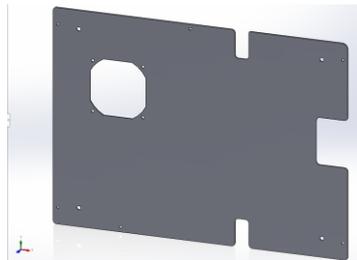


Fig. 4.6 Tapa de la chapa metálica.

4.5.2. Sistema de nivelación de cama

Este sistema es fundamental para asegurar que la superficie de impresión esté completamente alineada y nivelada en relación con el cabezal de extrusión.

Así también permite ajustar la altura y el plano de la cama de impresión de acuerdo con los que se muestra en la Fig. 4.7, garantizando que el polímero se deposite de manera uniforme, en cada capa del proceso, para evitar problemas como la falta de adherencia del material. Este sistema se compone de la cama térmica, 4 tensores, 4 ejes, 4 ruedas de nivelación, 1 placa de soporte y 6 cojinetes.

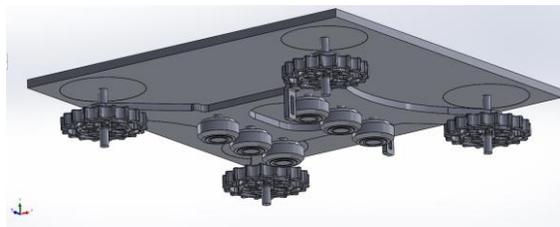


Fig. 4.7 Vista inferior del sistema de nivelación de cama.

Cama térmica. – Este elemento es un soporte de vidrio-cerámica de forma rectangular con dimensiones de 220 mm *220 mm (ver Fig. 4.8), Sobre este elemento se realiza la impresión. La cama se ajusta a la temperatura deseada para la adherencia del material a imprimir.

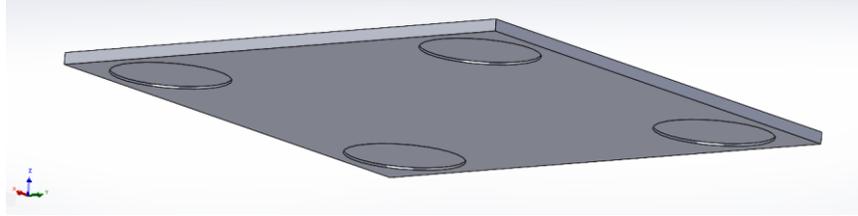


Fig. 4.8 Cama térmica.

Tensores. – Se trata de resortes metálicos de compresión, de forma espiral como se observa en la Fig. 4.9, se colocan en los ejes que se encuentran en las 4 esquinas de la cama térmica siendo estos los encargados de brindar mejor fijación y estabilidad para nivelación de cama.

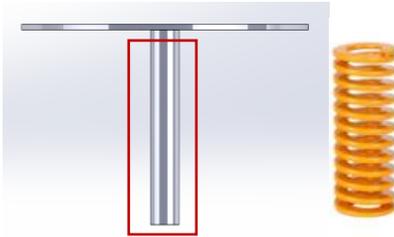


Fig. 4.9 Tensor de la cama térmica.

Ruedas de nivelación. – Estas ruedas plásticas que se aprecian en la Fig. 4.10, se encuentran en la parte inferior de la cama, encajando en los acoples que se encuentra en las cuatro esquinas de la misma (ver Fig. 4.9), presionan los tensores para así nivelarla de manera eficiente; ya que es de suma importancia para una impresión de alta precisión.

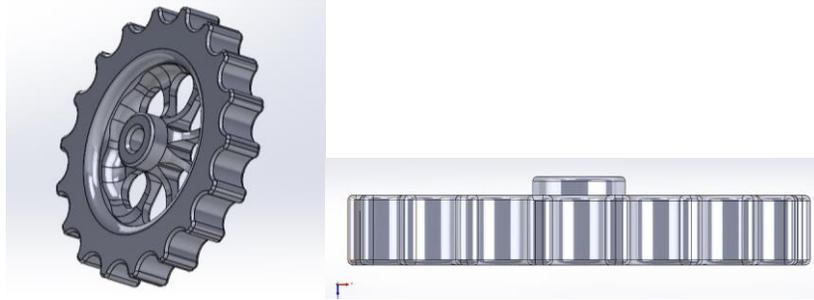


Fig. 4.10 Ruedas de nivelación.

Placa de soporte. – Esta placa de aluminio es la encargada de movilizar la cama a lo largo del eje Y con ayuda de los cojinetes. Su forma, como se puede apreciar en la Fig. 4.11, permite encajar la cama cuadrada sobre ella.

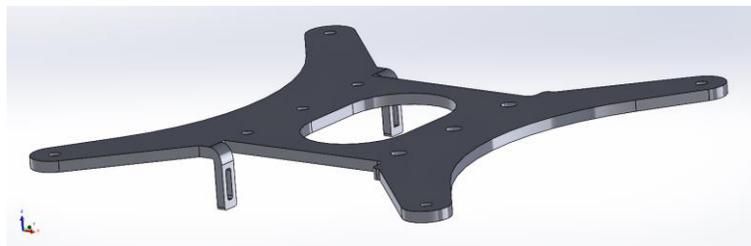


Fig. 4.11 Placa de soporte para la cama térmica.

Cojinetes de la cama. – Los cojinetes son los encargados en guiar a la placa de soporte por la correa de la estructura del eje Y, al ser de caucho y tener forma circular como se observa en la Fig. 4.12, son de gran ayuda al momento de desplazarse por la correa de manera precisa.

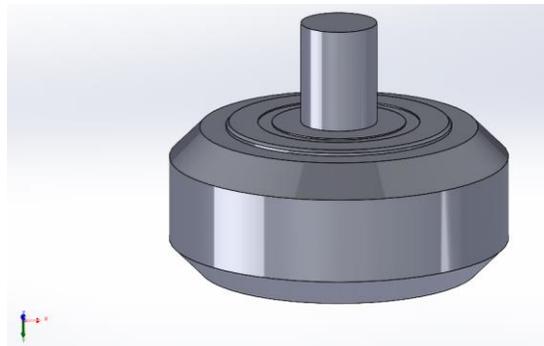


Fig. 4.12 Cojinetes para traslación.

4.5.3. Sistema Estructural del eje Y e Z

El sistema estructural del eje Y y Z es el encargado de brindar soporte y estabilidad al movimiento del cabezal de impresión en los ejes verticales y horizontales tal como se percibe en la Fig. 4.13, asimismo asegura que los desplazamientos sean precisos, suaves y controlados, garantizando la rigidez necesaria para minimizar vibraciones durante el proceso de impresión, lo cual es esencial para obtener un trabajo eficiente. Este sistema este compuesto por: 4 poleas GT2, 1 soporte plástico superior, 1 tope de protección, 1 placa de sujeción, 2 perfiles del eje Z, 2 tornillos sin fin, 2 acoples de motor y 1 perfil del eje Y.

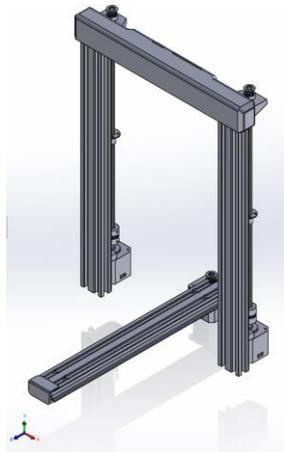


Fig. 4.13 Sistema estructural-Eje Y e Z.

Poleas GT2. – Estos elementos son de aluminio, cuentan con 16 dientes y un diámetro interno de 5 mm como se muestra en la Fig. 4.14, los cuales se colocan para tensar la correa del eje Y, y la correa del eje Z.

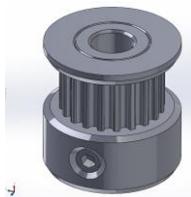


Fig. 4.14 Polea GT2.

Soporte plástico superior. – Esta pieza plástica (PLA) se emplea para sujetar las estructuras del eje Z y sirve de base para colocar el porta filamento; su forma rectangular como se puede observar en la Fig. 4.15, y encaja a la perfección con los elementos antes mencionados.

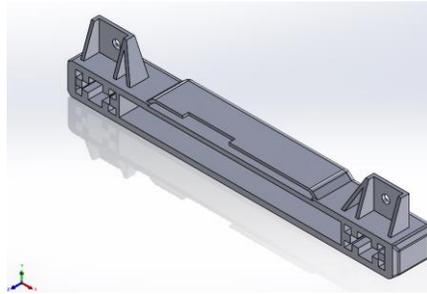


Fig. 4.15 Soporte plástico superior del eje Z.

Tope de protección (Estructura del eje Y). – Esta pieza rectangular de plástico (PLA) (ver Fig. 4.16), se emplea para protección del usuario y evitar cortes por filos en los extremos.

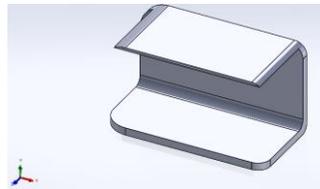


Fig. 4.16 Protección estructural eje Y.

Placa de sujeción eje Y. – Esta placa metálica se emplea para la sujeción de la polea y servo motor del eje Y. Es de forma rectangular y contiene con las perforaciones necesarias para que encajen los elementos como se evidencia en la Fig. 4.17.

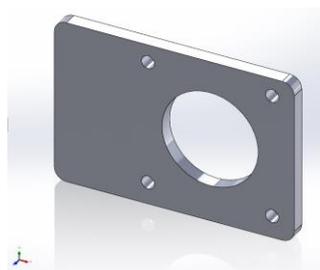


Fig. 4.17 Placa de sujeción eje Y.

Perfil del eje Z. – Estructura de aluminio, de forma rectangular como se muestra en la Fig. 4.18, sirve de soporte de los elementos del eje Z, dicho perfil se emplea tanto en la parte derecha como en la izquierda del dispositivo.

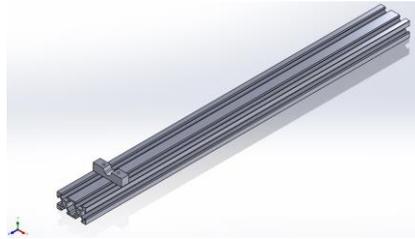


Fig. 4.18 Perfil del eje Z.

Tornillo sin fin. – Este elemento permite el movimiento del extrusor a lo largo del eje Z. Su forma alargada como se mira en la Fig. 4.19, de acero inoxidable, es imprescindible para el soporte del de la estructura del eje X. Se emplearán 2 tornillos una para cada extremo.



Fig. 4.19 Tornillos sin fin eje Z.

Acople de motor Z. – Este elemento sirve para la sujecion del tornillo sin fin (ver Fig. 4.19), encajandose en conjunto con el motor paso a paso gracias a su perforacion interna como se aprecia en la Fig. 4.20, generando el movimiento del eje Z. Para esto se emplea un acople en cada tornillo sin fin.



Fig. 4.20 Acople para los tornillos sin fin eje Z.

Perfil del eje Y. –Estructura de aluminio de forma rectangular (véase Fig. 4.21), que sirve para la traslación de los cojinetes de la cama a lo largo del eje Y.

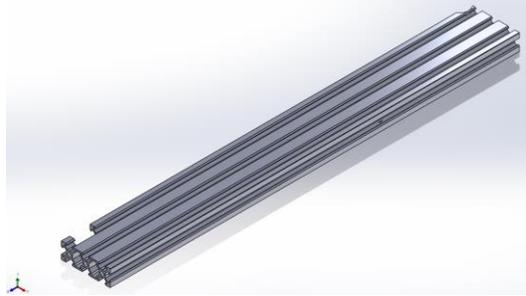


Fig. 4.21 Perfil eje Y.

4.5.4. Sistema de Extrusión

En la Fig. 4.22 se muestra el sistema clave del equipo ya que es el encargado de depositar el material fundido en capas precisas durante el proceso de impresión. Este sistema controla la alimentación del filamento, su fusión y extrusión a través de la boquilla, asegurando que el polímero se deposite de manera continua y uniforme sobre la superficie a trabajar. Los componentes que hacen parte del sistema son: 1 Extrusor, 1 soporte de motor, 2 poleas GT2, 1 pares de agarraderas y un perfil del eje X.

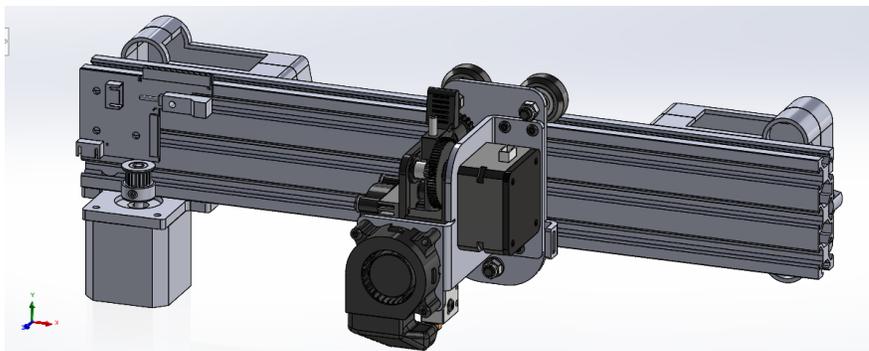


Fig. 4.22 Ensamble del sistema de extrusión.

Extrusor. – Conjunto de piezas requeridas para extruir el material a emplear en el proceso de impresión (véase en la Fig. 4.23). Se puede cambiar dependiendo a las necesidades de la impresión a realizarse, como también se puede remplazar piezas internas en el caso de ser necesario para una mejor ejecución.

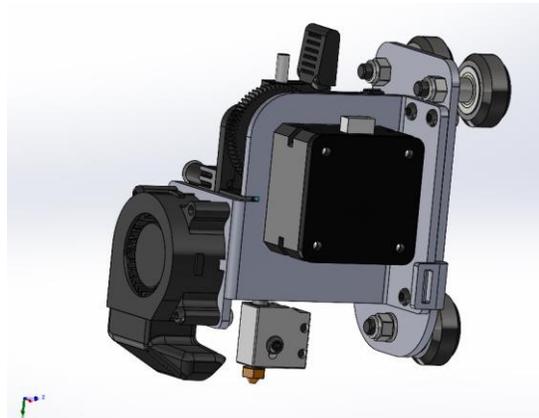


Fig. 4.23 Extrusor comercial.

Soporte de motor eje X. – Esta pieza es de material metálico de forma rectangular como se observa en la Fig. 2.24, sirve como soporte para el motor paso a paso como también para la polea GT2, cuenta con las perforaciones necesarias para el acople y sujeción de los elementos mencionados.

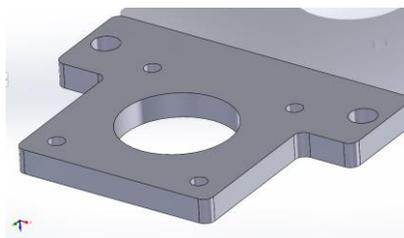


Fig. 4.24 Soporte para el motor del eje X.

Polea GT2. – Estos elementos son de aluminio, con 16 dientes y un diámetro interno de 5 mm como se aprecia en la Fig. 4.25, se emplean para movilizar de la correa a lo largo del eje X.

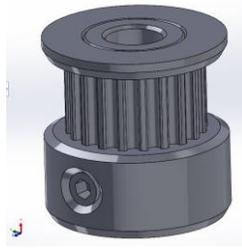


Fig. 4.25 Poles GT2 del eje X.

Ensamble Agarradera. –Estructura plástica (PETG), cumple con la función de sujetar el perfil del eje X y acoplarse al perfil del eje Z mediante las perforaciones internas con las que cuenta como se evidencia en la Fig. 4.26. La importancia de este elemento radica en garantizar la estabilidad de los ejes antes mencionados. Se emplean uno en cada extremo y se sujetan mediante tornillos.

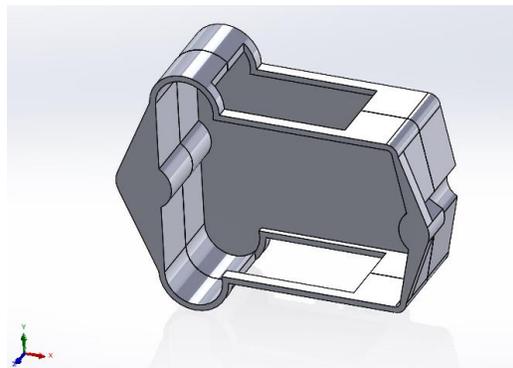


Fig. 4.26 Ensamble de agarradera del eje X.

Perfil del Eje X (3). – En la Fig. 4.27 se muestra el perfil de aluminio que sirve de soporte para que los cojinetes se guíen con ayuda de la banda a lo largo del eje X con el extrusor.

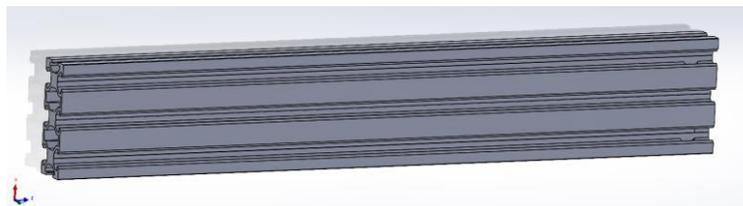


Fig. 4.27 Perfil del eje X.

4.5.5. Sistema de ventilación

En la Fig. 4.28 se muestra un componente esencial para garantizar el correcto funcionamiento del dispositivo, ya que se encarga de disipar el calor generado durante su operación. Un flujo de aire adecuado es crucial para evitar sobrecalentamientos que podrían afectar el rendimiento y prolongando la vida útil de los componentes electrónicos. Dentro de este sistema se cuenta con 1 disipador de calor, 1 ventilador y 1 rejilla de protección.

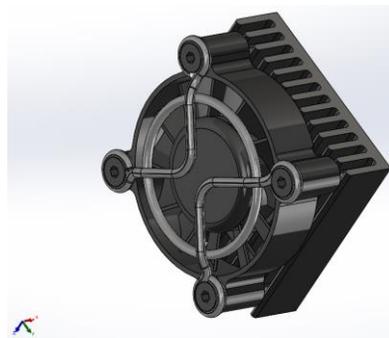


Fig. 4.28 Sistema de ventilación.

Disipador de calor: Este componente está diseñado para aumentar el área de superficie a través de la cual se disipa el calor, su forma rectangular y las gradas con las que cuenta como se muestra en la Fig. 4.29 actúan mejorando la eficiencia del sistema de enfriamiento.

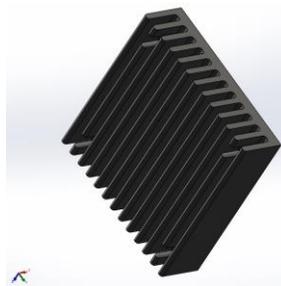


Fig. 4.29 Disipador de calor.

Ventilador: Es un componente fundamental para disipar el calor generado durante el proceso de impresión. Se observa con su cableado rojo y negro para la conexión eléctrica (ver Fig. 4.30).

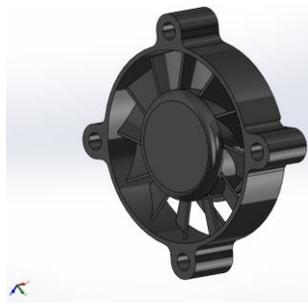


Fig. 4.30 Ventilador.

Rejilla de protección: El componente que se aprecia en la Fig. 4.31, se coloca sobre el ventilador. Su función es evitar que objetos o dedos entren en contacto con las aspas del ventilador en funcionamiento, brindando seguridad al usuario y al equipo.



Fig. 4.31 Rejilla de protección del ventilador.

4.5.6. Sistema Calefactor

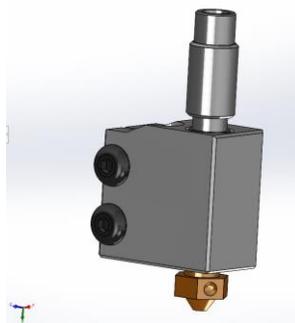


Fig. 4.32 Calefactor.

Bloque calefactor: El bloque metálico que se muestra en la Fig. 4.32 aloja el cartucho calefactor y el termistor, que son esenciales para calentar y mantener la temperatura del hotend.

4.6. Funcionamiento del dispositivo

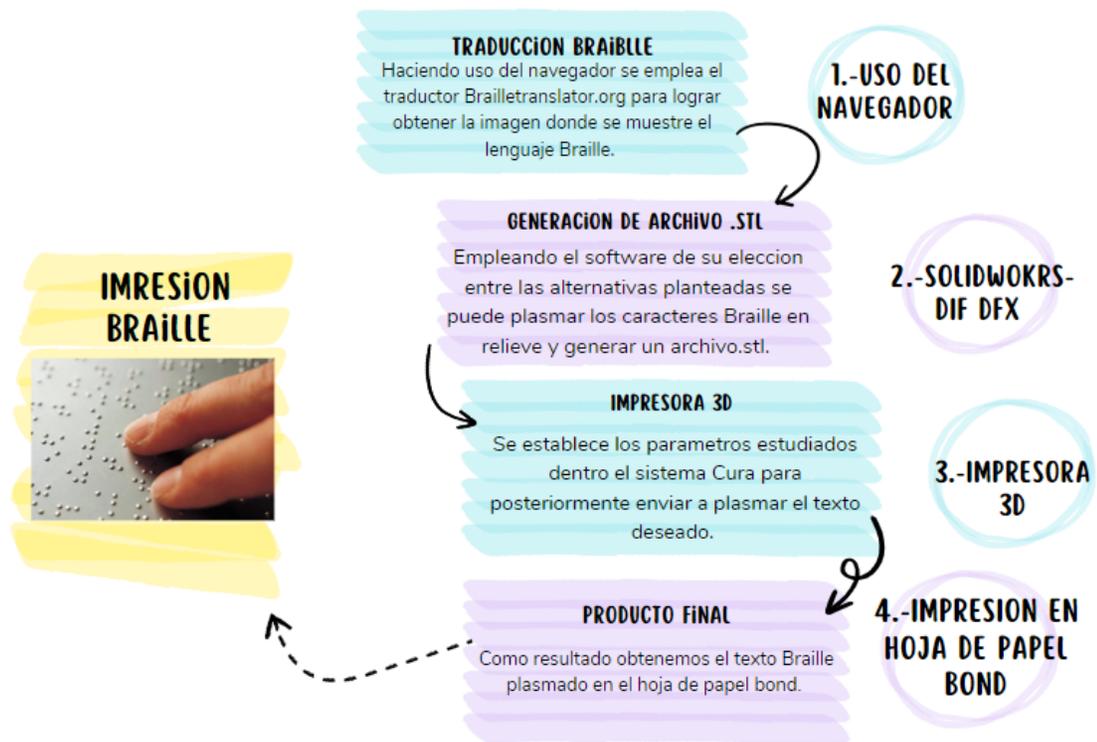


Fig. 4.33 Diagrama de flujo del dispositivo.

El manual de uso completo se encuentra disponible en el Anexo 1. En dicha sección se pueden obtener detalles sobre el funcionamiento, instrucciones y recomendaciones importantes relacionadas con el uso adecuado del dispositivo.

4.7.Construcción y Ensamblaje

El proceso de construcción y ensamblaje de la máquina se llevó a cabo siguiendo una secuencia detallada para asegurar la correcta integración de todos sus componentes.

4.7.1. Análisis previo

Antes de proceder a la restauración de la máquina, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo de su estado actual. Durante esta evaluación se identificaron varios problemas afectaron

su funcionamiento y rendimiento. Entre los principales hallazgos destacan fallos en los sistemas mecánicos y eléctricos, así como la falta de mantenimiento adecuado que contribuyó al deterioro general como se constata en la Fig. 4.34.



Fig. 4.34 Estado inicial de la máquina.

Se observó que varios de los sistemas críticos, como el sistema eléctrico y mecánico, presentan daños significativos que comprometen la operación de la máquina. Además, algunas piezas clave han superado su vida útil.

Este análisis preliminar ha permitido establecer las áreas prioritarias que requieren atención durante el proceso de restauración, con el objetivo de devolver la máquina a un estado operativo óptimo. La restauración incluye la sustitución de componentes desgastados, la recalibración de sistemas y la implementación de mejoras que aseguren la fiabilidad y el desempeño de la máquina a largo plazo.

En la tabla 4.5 se presenta una clasificación detallada de las piezas del equipo, divididas en tres categorías: piezas recuperadas, piezas diseñadas y piezas inservibles. Las piezas recuperadas corresponden a aquellos componentes que, tras su evaluación, han sido considerados aptos para su reutilización en el dispositivo. Las piezas diseñadas incluyen los nuevos elementos que han sido creados específicamente para el proyecto. Finalmente, las piezas inservibles son aquellas que, debido a su desgaste o mal estado, no pueden ser utilizadas nuevamente y requieren ser reemplazadas.

Tabla 4.5 Inventario de piezas del dispositivo realizado en el análisis previo.

Piezas Recuperadas	Piezas diseñadas	Piezas Inservibles
Perfiles del eje X	Tope protector del eje Y	Sensores
Perfiles del eje Y e Z	Protección de la tarjeta Ship	Tarjeta principal
Tornillos sin fin	Protección del perfil eje X	Calefactor
Porta filamento		Ventilador
Motores		2 drives
Pantalla		
Cama térmica		
Tornillos de sujeción		
Base y tapa en chapa metálica		

4.7.2. Construcción de la impresora

En la Fig 4.35, las imágenes etiquetadas como (4.35-a), (4.35-c), (4.35-e) y (4.35-g) muestran los elementos del dispositivo que han llegado al final de su vida útil y, por lo tanto, necesitan ser reemplazados. Estos componentes han sido evaluados y se ha determinado que su funcionamiento ya no es adecuado para el rendimiento del dispositivo. En contraste, las figuras (4.35-b), (4.35-d), (4.35-f) y (4.35-h) representan los repuestos que se ensamblarán en el dispositivo. Estos nuevos componentes aseguran que el sistema funcione de manera eficiente y cumpla con las necesidades requeridas.

Pieza Original



(a)

Repuesto



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Fig. 4.35 Repuestos. (a) Sensor dañado, (b) Sensor nuevo, (c) Tarjeta dañada, (d) Tarjeta nueva, (e) Calefactor dañado, (f) Calefactor nuevo, (g) Ventilador dañado, (h) Ventilador nuevo.

- **Componentes de la cama.**



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.4.36 Componentes de la cama térmica. (a) Cama, (b) Base de soporte de la cama térmica, (c) Tuercas nivel de cama, (d) Resortes de apoyo para nivelación de cama.

- **Componentes estructurales.**



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.4.37 Componentes estructurales. (a) Perfiles eje Z, (b) Perfil eje Y, (c) Tornillos sin fin, (d) Perfil eje X.

• **Motores de la máquina.**



(a)



(b)



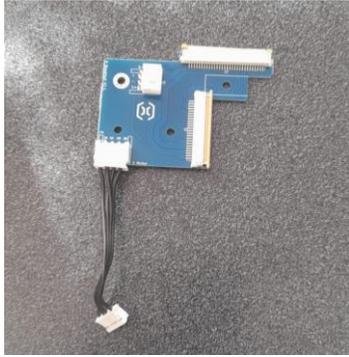
(c)



(d)

Fig.4.38 Motores de la máquina. (a) Motores eje Z, (b) Motor eje Y, (c) Motor de filamento, (d) Motor eje X.

- **Componentes electronicos**



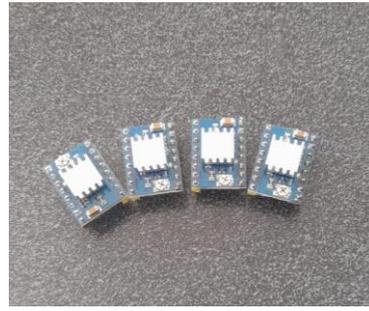
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.4.39 Componentes electrónicos. (a) Ship de los motores, (b) Shield controlador, (c) Pantalla LCD, (d) Drives.

- **Componentes del extrusor**



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4.40 Componentes del Extrusor. (a) Ventilador de extrusor, (b) Extrusor termistor y niquelina, (c) Gatillo de filamento, (d) Rueda dentada.

• **Componentes eje x**



(a)



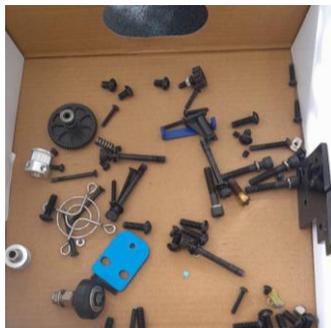
(b)



(c)

Fig. 4.41 Componentes Eje X. (a) Base sosten eje x, (b) Base del carrito de extrusion, (c) Guías de las bandas dentadas.

Piezas complementarias



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4.42 Piezas complementarias. (a) Tornillos, (b) Base del carrete, (c) Guías de rotación del eje Z, (d) Prisioneros del tornillo sin fin.

4.7.3. *Proceso de ensamblaje de la impresora*

Conexiones del sistema eléctrico

1. Se realiza la conexión de la pantalla al sistema, como se muestra en la Fig. 4.43 (a).
2. Se instalan los drivers en la tarjeta madre, como se aprecia en la Fig. 4.43 (b), asegurando una integración adecuada para el control de los componentes.
3. Se procede a conectar el motor del eje Z, (ver Fig. 4.43 (c)), garantizando su funcionalidad.
4. Se realiza la conexión de la fuente de alimentación, como se observa en la Fig. 4.43 (d).
5. Se realiza la conexión a tierra (ver Fig. 4.43 (e)), para garantizar la seguridad eléctrica del sistema.
6. Finalmente, se realiza la conexión del ventilador, tal como se evidencia en la Fig. 4.43 (f), fundamental para mantener una correcta ventilación y evitar el sobrecalentamiento durante el funcionamiento.



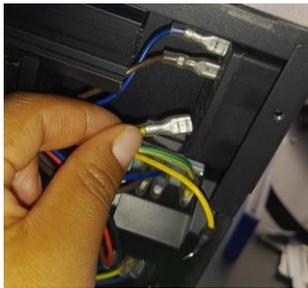
(a)



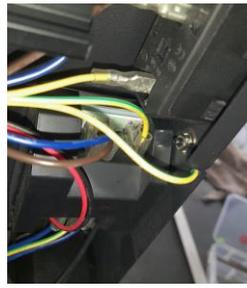
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 4.43 Conexiones Eléctricas, (a) Conexión de la pantalla. (b) Instalación de drivers, (c) Conexión del motor del eje Z, (d) Conexión de la fuente, (e) Conexión a tierra, (f) Conexión del ventilador.

Ensamble del eje Y

Seguidamente se instala la guía del eje Y en la carcasa de la base, asegurándose de que quede correctamente alineada para un funcionamiento óptimo.

1. Se procede al montaje del motor del eje Y, como se aprecia en la Fig. 4.44 (b).
2. Se utiliza tornillos de hexágono interior de alta resistencia 12.9, (véase Fig. 4.44 (c)), quienes brindan la sujeción y estabilidad necesarias para soportar las cargas del sistema.
3. Una vez fijado el motor, este se coloca con precisión en la base de chapa metálica, como se muestra en la Fig. 4.44 (d), garantizando un ajuste adecuado.

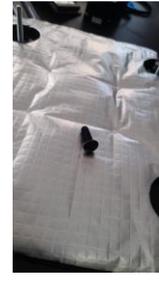
4. Finalmente, el tornillo de sujeción, (ver Fig. 4.44 (e)), asegura el eje Y a la base, completando el proceso de ensamblaje con el eje montado de manera correcta, como se evidencia en la Fig. 4.44 (f).



(a)



(b)



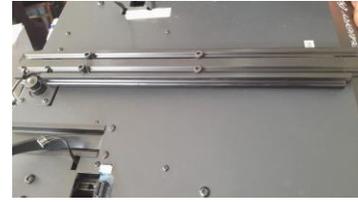
(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 4.44 Ensamble del eje Y, (a) Perfil eje Y, (b) Montaje del motor eje Y. (c) Tornillo hexagonal interno 8.9, (d) Colocación en la guía del eje Y, (e) Tornillo hexagonal interno 12.9, (f) Eje y montado correctamente.

Ensamble de la base de la cama térmica

A continuación, se observa en la Fig. 4.45 (a) la base de la cama instalada.

1. Se coloca la correa, como se observa en la Fig. 4.45 (b), verificando que esté correctamente alineada dentro del riel para evitar daños o atascos.
2. Se coloca la correa sobre el piñón del motor, tal como se aprecia en la Fig. 4.45 (c).
3. Se instala la protección del perfil del eje Y, (ver Fig. 4.45 (d)), y el montaje del piñón tensor correspondiente.
4. Se fijan los tornillos que se muestran en la Fig. 4.45 (e).

5. Se procede a tensar la correa, (véase Fig. 4.45 (f)), ajustando los pernos para asegurar una correcta tensión.
6. Se verifica el estado de los cojinetes de la cama para garantizar su correcto funcionamiento, como se constata en la Fig. 4.45 (g).
7. En caso de detectar vibraciones o tambaleos, se recomienda realizar un ajuste con una llave, como se contempla en la Fig. 4.45 (h), hasta eliminar completamente los movimientos indeseados.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

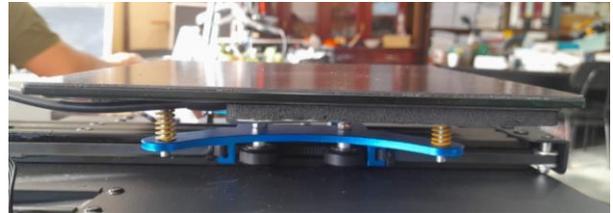
Fig. 4.45 Ensamble de la base de la cama térmica. (a) Montaje de la base, (b) Colocación de la correa dentro del riel, (c) Colocación de la correa, (d) Sujeción de la protección del perfil eje Y, (e) Tornillos, (f) Correa tensada, (g) Cojinetes de la cama, (h) Ajuste para eliminar vibraciones.

Ensamble del sistema de nivelación

1. Se instalan los resortes en la base de la cama térmica, como se muestra en la Fig. 4.46 (a), lo que permite proporcionar flexibilidad y ajuste durante su operación.
2. Una vez colocados los resortes, la cama térmica se posiciona cuidadosamente sobre la base, como se aprecia en la Fig. 4.46 (b), asegurando un montaje preciso y estable.
3. Se colocan las ruedas de ajuste en las esquinas de la cama térmica, como se observa en la Fig. 4.46 (c), permitiendo una nivelación adecuada y un control preciso de la superficie de impresión.



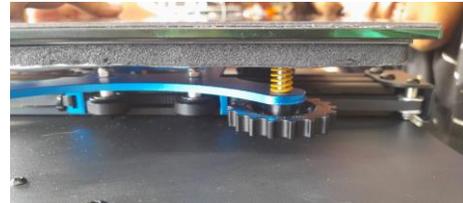
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4.46 Ensamble del sistema de nivelación. (a) Colocación de resortes en cama térmica (resortes), (b) Posicionamiento de cama térmica, (c) Ruedas de ajuste, (d) Ensamble correcto.

Instalación del sensor del eje Y

1. El sensor del eje Y se instala utilizando un perno para asegurar su correcta fijación y alineación con el sistema, como se observa en la Fig. 4.47.



Fig. 4.47 Instalación del sensor del eje Y.

Ensamble de los perfiles del eje Z

1. Se acopla el soporte plástico, como se observa en la Fig. 4.48 (a), asegurando su correcta fijación.
2. Se realiza una verificación detallada del estado de las excéntricas para garantizar un ajuste adecuado, como se muestra en la Fig. 4.48 (b).
3. Se comprueba el buen estado de los cojinetes del eje X, se procede a fijar las agarraderas, (ver Fig. 4.48 (c)), para asegurar una sujeción firme.
4. Se monta la base de sujeción para el perfil del eje X, tal como se aprecia en la Fig. 4.48 (d), completando la estructura de soporte de ambos ejes.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4.48 Ensamblaje de los perfiles del eje Z. (a) Montaje de los perfiles del eje Z en base plástica, (b) Verificación del estado de excéntricas, (c) Inserción de Agarraderas del eje X, (d) Montaje de base de sujeción para el perfil del eje X.

Ensamble de las guías de rotación

1. Se instalan las guías de rotación (ver Fig. 4.49 (a)-(c)), para el eje Z en la base de sujeción del perfil del eje X, asegurando su correcto posicionamiento para un movimiento suave y preciso.
2. Se coloca el tornillo sin fin, como se aprecia en la Fig. 4.49 (d), garantizando una fijación segura y un control adecuado del sistema.



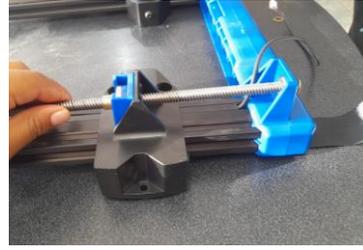
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4.49 Ensamblaje de guías de rotación. (a)Rodela, (b)Inserción de rodela en la base de sujeción, (c)Inserción de guía en lase de sujeción, (d)Inserción de tornillo sin fin.

Ensamble de los perfiles del eje Z

1. Se comienza con la fijación de los perfiles del eje Z a la carcasa de la base, como se observa en la Fig. 4.50 (a), asegurando su correcta alineación.
2. Se instala el motor del eje Z en su posición, como se observa en la Fig. 4.50 (b).
3. Se coloca de los pernos de sujeción que se observan en la Fig. 4.50 (c).
4. Se aseguran los perfiles del eje Z firmemente a la carcasa mediante los pernos, como se observa en la Fig. 4.50 (d), garantizando la estabilidad y el correcto funcionamiento del sistema.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4.50 Ensamble de perfiles del eje Z en estructura base. (a)Montaje de los perfiles del eje Z, (b)Inserción del motor del eje Z, (c)Pernos hexagonales internos, (d)Perfiles sujetos.

Ensamble de tornillos sin fin

1. Se colocan los prisioneros sobre el motor los cuales trabajaran en la sujeción del tornillo sin fin como se aprecia en la Fig. 4.51 (a).
2. Se ajustar correctamente, como se muestra en la Fig. 4.51 (b).
3. Se conectan los cables de alimentación del motor, tal como se observa en la Fig. 4.51 (c).
4. Este mismo proceso se repite en ambos perfiles del eje Z para completar el ensamblaje simétrico, como se evidencia en la Fig. 4.51 (d).



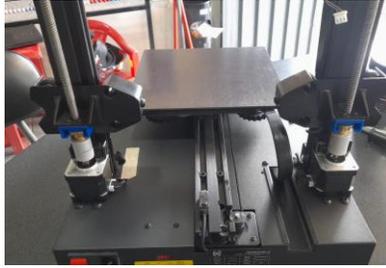
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4.51 Ajuste de tornillos sin fin. (a) Inserción de prisioneros, (b) Ajuste de prisioneros, (c) Conexión de cable de comunicación del motor del eje Z, (d) Ensamble final en ambos perfiles.

Ensamble de correa del perfil Z

1. Se coloca de la polea GT2 (ver Fig. 4.52 (a)), sobre los tornillos fin.
2. Se instala la correa, como se observa en la Fig. 4.52 (b).
3. Se procede a tensar la correa adecuadamente, como se muestra en la Fig. 4.52 (c), para garantizar un funcionamiento preciso.
4. Se ajustan los tornillos prisioneros, asegurando que la polea y la correa queden firmemente sujetas y alineadas, como se nota en Fig. 4.52 (d).



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4.52 Ensamblaje de correa. (a)Polea TG2, (b)Inserción de correa, (c)Tensión de correa, (d)Ajuste de prisioneros.

Ensamble del porta filamento

1. Se procede a montar el porta filamento sujetando el soporte superior utilizando los tornillos correspondientes, como se observa en la Fig. 4.53 (a) para asegurar una fijación firme.
2. Se ensambla el soporte de filamento como se aprecia en la Fig. 4.53 (b)-(e).
3. Se realiza la conexión del sensor de filamento, como se muestra en la Fig. 4.53 (f), garantizando su correcto funcionamiento, completando así el ensamblaje de esta sección.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

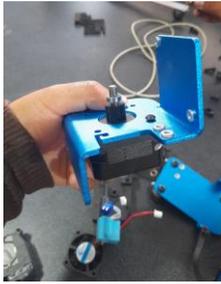


(f)

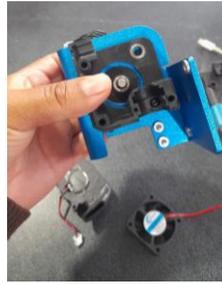
Fig. 4.53 Ensamble del porta filamento. (a) Sujeción de estructura plástica con tornillos. (b) Sujeción de la parte izquierda, (c) Sujeción de la parte derecha, (d) Sujeción de la parte interna, (e) Ensamble final, (f) Conexión del sensor de filamento.

Ensamble interno del extrusor

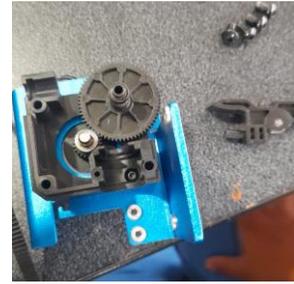
1. Se inserta el motor del extrusor a la placa base, como se aprecia en la Fig. 4.54 (a).
2. Se coloca la base del carrito, tal como se muestra en la Fig. 4.54 (b).
3. Se realiza el montaje de la rueda dentada en el motor, (ver Fig. 4.54 (c)).
4. Se coloca el rodamiento del gatillo, como se observa en la Fig. 4.54 (d), asegurando su correcto posicionamiento.
5. Se instala el tornillo de ajuste de flujo para controlar con precisión la alimentación del material, como se puede ver en la Fig. 4.54 (e).
6. En la Fig. 4.54 (f) se monta el gatillo, y se procede a colocar el termistor y la resistencia de níquelina en el extrusor, como se evidencia en la Fig. 4.54 (g).
7. Se instala la guía de filamento, asegurándose esté libre de concavidades (véase Fig. 4.54 (h)), para evitar atascos.
8. Finalmente, se coloca el disipador térmico, como se denota en la Fig. 4.54 (i), completando así el ensamblaje interno del extrusor.



(a)



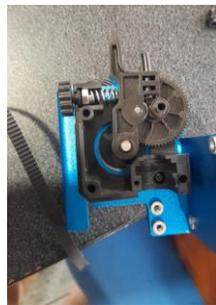
(b)



(c)



(d)



(e)



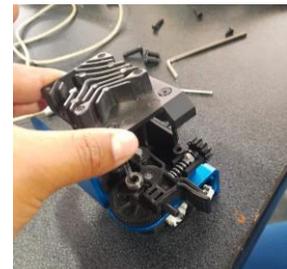
(f)



(g)



(h)



(i)

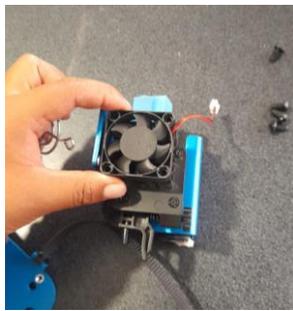
Fig. 4.54 Ensamble interno del extrusor. (a) Inserción de motor, (b) Base del carrito, (c) Montaje de la rueda dentada, (d) Rodamiento del gatillo, (e) Tornillo de ajuste de flujo, (f) Gatillo, (g) Termistor, resistencia y niquelina, (h) Guía sin concavidades, (i) Disipador térmico.

Ensamble externo del extrusor

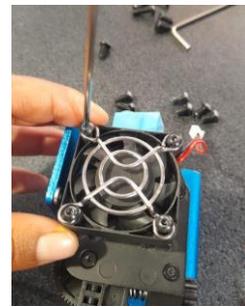
1. El montaje externo del extrusor comienza con la fijación del ventilador en su posición, como se constata en la Fig. 4.55 (a).

2. Se coloca y atornilla la rejilla del ventilador, como se observa en la Fig. 4.55 (b), para asegurar una adecuada ventilación y protección.
3. Se instala la protección del ventilador, tal como se muestra en la Fig. 4.55 (c), la cual se sujeta firmemente con pernos.

Con estos pasos completados, el carrito del extrusor queda completamente ensamblado y listo para su funcionamiento, tal como se evidencia en la Fig. 4.55 (d).



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4.55 Ensamble externo del extrusor. (a) Montaje del ventilador, (b) Sujeción de rejilla con tornillos, (c) Montaje de protección de ventilador, (d) Extrusor completamente ensamblado.

Ensamble del perfil del eje X

1. Se realiza la instalación de los sujetadores necesarios para atornillar el carro del extrusor, asegurando una fijación estable como se aprecia en la Fig. 4.56 (a).

2. Se ensambla el motor en el eje X, como se observa en la Fig. 4.56 (b), garantizando su correcta alineación.
3. Se coloca la placa base, como se muestra en la Fig. 4.56 (c), que servirá como soporte para la tarjeta de comunicación de los motores.
4. Se conecta el cable del motor, (ver Fig. 4.56 (d)), asegurando una conexión firme y adecuada.
5. Se fija la base de soporte al perfil del eje X, como se aprecia en la Fig. 4.56 (e), utilizando los pernos indicados, garantizando su estabilidad.

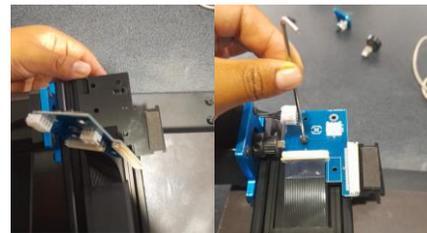
Finalmente, se completa el ensamblaje del perfil del eje X, asegurando que todos los componentes estén correctamente alineados y ajustados, como se evidencia en la Fig. 4.56 (f).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 4.56 Ensamble del perfil del eje X. (a) Instalación de sujetadores, (b) Montaje de motor del eje X, (c) Colocación de placa base, (d) Conexión del motor, (e) Fijación del perfil del eje X al soporte mediante pernos, (f) Ensamblaje completo del perfil del eje X.

Montaje del carrito con el extrusor

1. Para realizar el montaje es necesario verificación del buen estado de los cojinetes del eje x (ver Fig. 4.57-a).
2. Se instala el carrito, como se muestra en la Fig. 4.57 (b), asegurando que las excéntricas estén correctamente alineadas.
3. Finalmente, el carrito se monta sobre el perfil del eje X, (ver Fig. 4.57 (c)), garantizando una instalación precisa y alineada para un movimiento suave y preciso.



(a)



(b)



(c)

Fig. 4.57 Montaje del carrito del extrusor. (a)Cojinetes, (b)-(c) Montaje del carrito.

Instalación de la correa en el eje X

1. Se coloca la placa base junto con la polea que se muestra en la Fig. 4.58 (b) en el perfil del eje X, (ver Fig. 4.58 (c)).
2. Finalmente, la correa se coloca y se tensa correctamente, como se aprecia en la Fig. 4.58 (d), garantizando un funcionamiento óptimo y fluido del sistema.



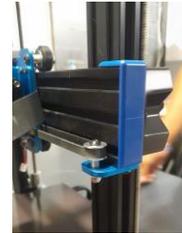
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4.58 Montaje de la correa en el eje X. (a) Colocación de la correa, (b) Placa base y polea, (c) Sujeción de polea en el perfil X, (d) Tensar correa.

Conexiones eléctricas del extrusor

1. Se realiza las conexiones del motor del extrusor a la tarjeta de comunicación, como se muestra en la Fig. 4.59 (a), asegurando que todos los cables estén correctamente alineados y firmemente conectados.
2. Para finalizar el ensamblaje de la máquina se realizan las conexiones adicionales necesarias con la tarjeta del extrusor, como se observa en la Fig. 4.59 (b)-(c), garantizando una comunicación adecuada entre los componentes y el sistema.



(a)



(b)



(c)

Fig. 4.59 Conexiones eléctricas del extrusor (a)Conexión con la tarjeta de comunicación, (b)Conexión del motor de extrusor, (c)Conexión de ventilador y tarjeta del extrusor.

4.8.Pruebas de funcionamiento

En este estudio se analiza el comportamiento de los diferentes polímeros, a distintas temperaturas, con el objetivo de encontrar los campos idóneos para la adherencia con el papel bond. Dado que el objetivo general del proyecto es generar material didáctico para personas no videntes, es fundamental que se garantice la fijación de los caracteres impresos en papel.

4.8.1 Prueba Nro. 1: Determinación de la adherencia

-Objetivo

Determinar las temperaturas óptimas que aseguran la adherencia eficaz de un polímero específico sobre superficie de papel bond.

-Materiales y Equipos:

- Computador (Generar en archivo. stl)
- Impresora Braille
- Polímeros:
 - Filamentos de Ácido Poliláctico (**PLA**)
 - Poliuretano Termoplástico (**TPU**)
 - Polietileno Tereftalato de Glicol (**PETG**)
- Memoria USB
- Hojas de papel bond (Común)

-Procedimiento experimental

A. Preparación de muestras

1.- Preparación de las hojas de papel bond a utilizar, en este caso debe ser acorde al tamaño de la cama (220 mm*220 mm), como se muestra en la Fig. 4.60.

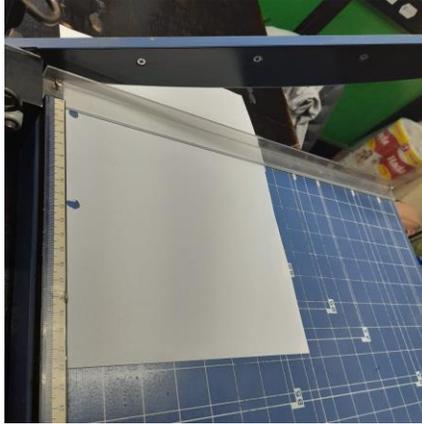


Fig. 4.60 Corte de las hojas de papel Bond.

2.- Inserción del polímero seleccionado en la impresora), (véase Fig. 4.61).



Fig. 4.61 Inserción de Polímero.

B. Configuración de impresión

1.- En la Fig. 4.62 se realiza el ajuste de los diferentes parámetros a considerar en el Programa Cura. Como son la temperatura de extrusor, la velocidad de impresión, salto, ventilación de la cama, y ancho de pared.

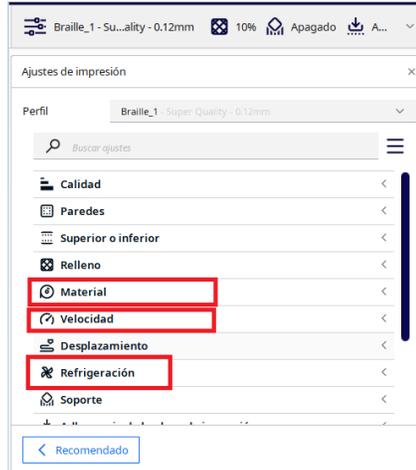


Fig. 4.62 Configuración de impresora.

C. Proceso de impresión

1.- Impresión de material sobre la superficie de papel. Esto se realiza en repetidas ocasiones con variaciones controladas hasta lograr obtener una correcta impresión con la adherencia necesaria, como se aprecia en la Fig. 4.63.



Fig. 4.63 Proceso de impresión.

D. Medición de adherencia

1.- Una vez impreso la prueba se realiza la evaluación de adherencia frotando los caracteres impresos, como se observa en la Fig. 4.64, cabe recalcar que esto se realiza cuando ya se

haya logrado controlar hilos en la impresión y los caracteres sean correctamente representados.



Fig. 4.64 Prueba de lectura y adherencia.

E. *Repetición del experimento*

1.- Este proceso se realiza de manera repetitiva (ver Fig. 4.65), reestableciendo diferentes campos que se consideran necesarios para mejorar la calidad de impresión observando cuales son los inconvenientes encontrados.

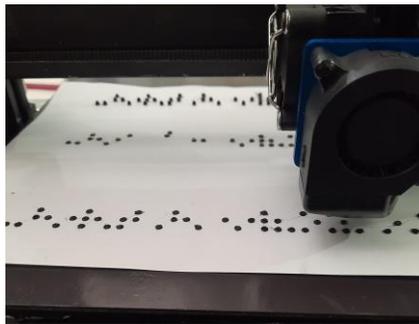


Fig. 4.65 Repetición de pruebas.

-Análisis de Resultados

4.8.1.1. Resultados obtenidos con el polímero TPU

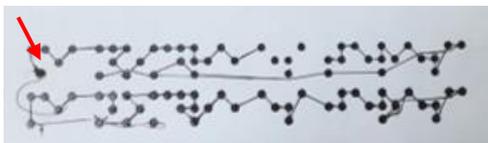
A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas para evaluar la adherencia del TPU al papel bond bajo diferentes condiciones.

Los datos indican una clara relación entre la temperatura, la ventilación de cama, la velocidad de impresión y la velocidad de salto en Z con la fuerza de adhesión lograda sobre la superficie de papel.

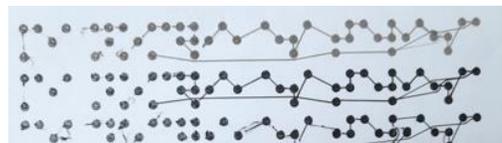
Al comenzar con la temperatura recomendada para TPU se puede notar la presencia de hilos como se muestra en la Fig. 4.66 (a) los cuales interfieren en la compresión lectora de los usuarios ya que genera confusión al tacto. En la Fig. 4.66 (b)-(e), a medida que la temperatura baja y la ventilación de cama aumenta se puede apreciar una disminución de la presencia de hilos.

Otro aspecto a considerar es el aumento de la velocidad de impresión y la velocidad de salto en Z, debido a que son campos de gran importancia en la desaparición de los hilos y la definición de carácter braille como se observa en la Fig. 4.66 (f), finalmente se logra obtener los campos idóneos para la adherencia necesaria en el papel bond y la claridad necesaria en el carácter Braille como se puede apreciar en la Fig. 4.66 (g).

En la tabla 4.6 se muestra los resultados obtenidos con el polímero TPU mediante cada prueba, y los parámetros establecidos en cada una de ellas.



(a)



(b)

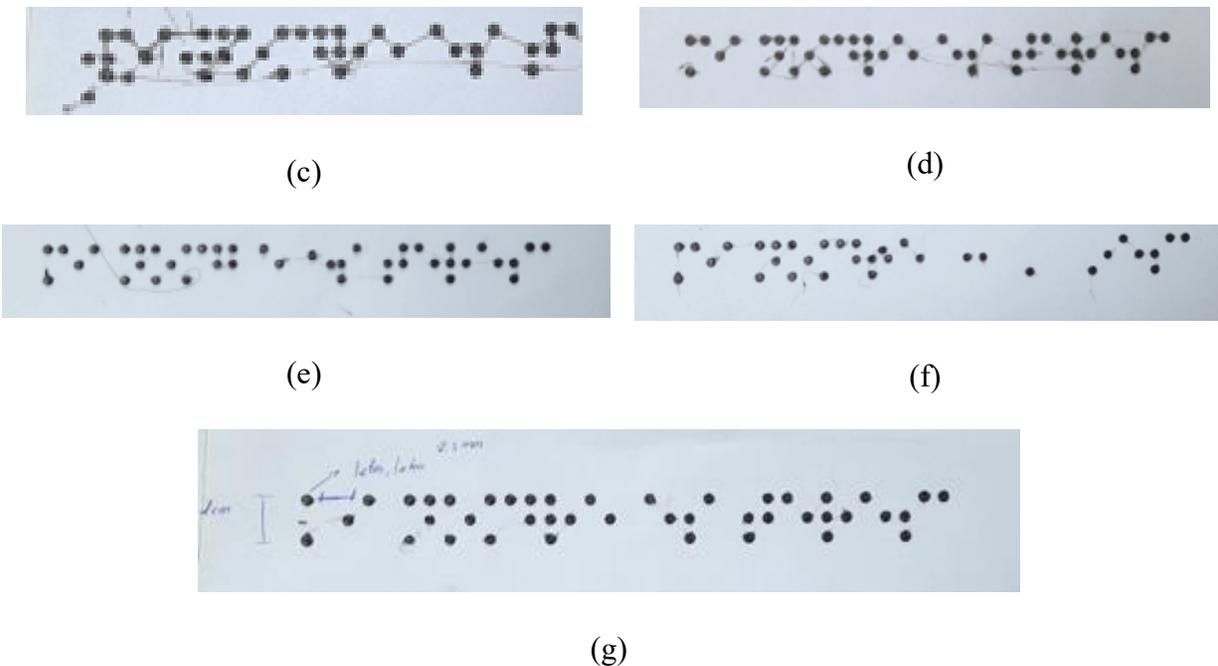


Fig. 4.66 Pruebas TPU, (a) Prueba 1, (b) Prueba 2, (c) Prueba 3, (d) Prueba 4, (e) Prueba 5, (f) Prueba 6, (g) Prueba 7.

Tabla 4.6 Resultados obtenidos con el filamento TPU.

Nro. Prueba	Temperatura	Ventilación de cama	Velocidad de Impresión	Velocidad de salto en Z
1	230 °C	10%	10 mm/s	2 mm/s
2	225°C	30%	15 mm/s	3 mm/s
3	220°C	40%	20 mm/s	4 mm/s
4	210°C	45%	25 mm/s	5 mm/s
5	205°C	50%	30 mm/s	5 mm/s
6	200°C	50%	35 mm/s	6 mm/s
7	195°C	50%	40 mm/s	6 mm/s

4.8.1.2. Resultados obtenidos con el polímero PETG

Seguidamente se realiza el estudio con el polímero PETG donde se inicia con una temperatura por debajo de la establecida debido a los resultados del análisis anterior, no obstante, en este caso se requiere aumentar la temperatura ya que no logra diluir el material como se constata en la Fig. 4.67 (a).

Una vez aumentada la temperatura se distingue la presencia de hilos como se nota en la Fig. 4.67 (b), debido a ello se trabaja en el incremento de temperatura y la ventilación de cama, logrando de esta manera extinguir los hilos como se observa en las Fig. 4.67 (c)-(e).

Al realizar las pruebas de lectura se establece la temperatura adecuada para la adherencia de este polímero y se trabaja con la ventilación de cama, velocidad de impresión y salto en Z ya que se requiere corregir la definición del carácter debido a que se encuentra pequeñas deformidades que se visibilizan en la Fig. 4.67 (f).

Por último, se logra obtener los parámetros adecuados para la adherencia y definición en este polímero como se demuestra en la Fig. 4.67 (g).



(a)



(b)



(c)



(d)

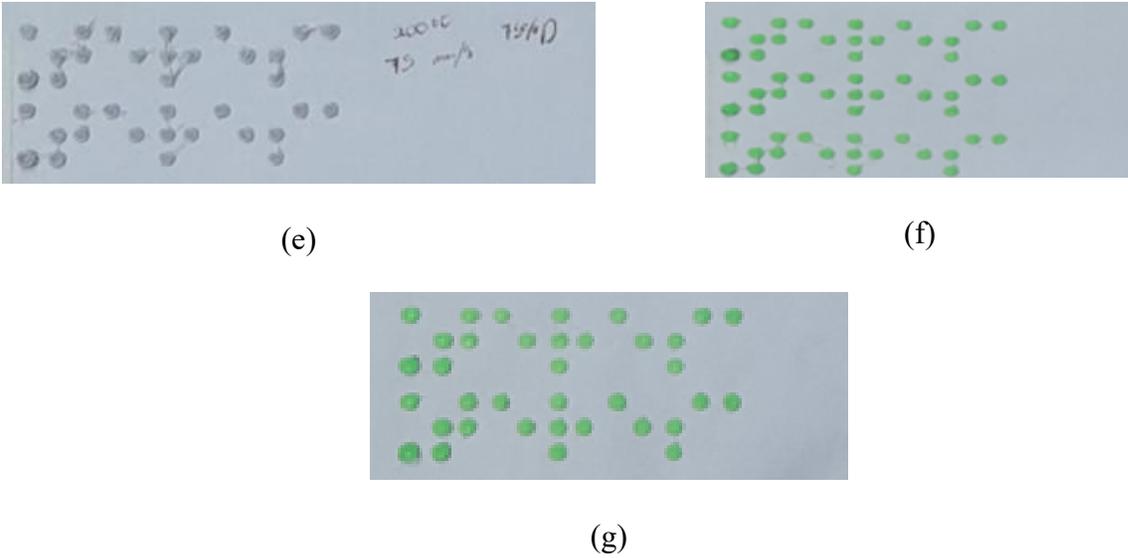


Fig. 4.67 Prueba PETG (a) Prueba 1, (b) Prueba 2, (c) Prueba 3, (d) Prueba 4, (e) Prueba 5, (f) Prueba 6, (g) Prueba 7.

En la tabla 4.7, se aprecia los resultados obtenidos para el polímero PETG mediante las distintas pruebas realizadas y los parámetros establecidos en cada una de ellas.

Tabla 4.7 Resultados obtenidos con el filamento PETG.

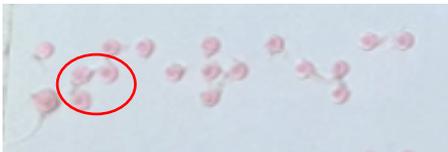
Nro. Prueba	Temperatura	Ventilación de cama	Velocidad de Impresión	Velocidad de salto en Z
1	175°C	30%	20 mm/s	1 mm/s
2	180°C	30%	40 mm/s	2 mm/s
3	190°C	35%	45 mm/s	2 mm/s
4	190°C	40%	50 mm/s	3 mm/s
5	200°C	50%	70mm/s	3 mm/s
6	200°C	60%	70 mm/s	4mm/s
7	200°C	70%	75 mm/s	4 mm/s

4.8.1.3. Resultados obtenidos con el polímero PLA

Para concluir, se realiza las pruebas con el polímero PLA donde se da inicio con la máxima temperatura y como resultado presenta deformidad en el carácter Braille como se observa en la imagen 4.68(a).

Con base al primer resultado se trabaja con la disminución de temperatura y un aumento en la ventilación de cama logrando mayor precisión en el carácter Braille, no obstante, la presencia de hilos es recurrente como se percibe en la imagen 4.68 (b)

Posteriormente en las siguientes pruebas se continua con la disminución de temperatura y aumento en la ventilación de cama dando como resultado la desaparición de hilos como se puede observar en las imágenes 4.68 (c)-(d). Finalmente, en la Fig. 4.68(e) se obtienen una impresión definida encontrando así los parámetros necesarios para la impresión con polímero PLA.



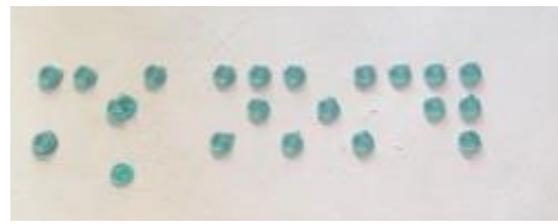
(a)



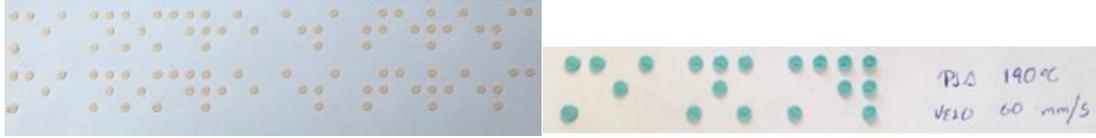
(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 4.68 Pruebas PLA (a) Prueba 1, (b) Prueba 2, (c) Prueba 3, (d) Prueba 4, (e) Prueba 5.

En la tabla 4.8, se muestra los resultados obtenidos tras distintas pruebas realizadas para el polímero PLA y los parámetros establecidos en cada una de ellas.

Tabla 4.8 Resultados obtenidos con el filamento PLA.

Nro. Prueba	Temperatura	Ventilación de cama	Velocidad de Impresión	Velocidad de salto en Z
1	215 °C	30 %	40 mm/s	3 mm/s
2	210 °C	50 %	50 mm/s	3 mm/s
3	205 °C	70 %	55 mm/s	4 mm/s
4	200 °C	80 %	60 mm/s	5 mm/s
5	190 °C	100 %	60 mm/s	5 mm/s

-Conclusiones de la prueba Nro. 1

En base a los estudios realizados y al criterio del usuario se pueden establecer los parámetros principales requeridos para lograr la adherencia de un polímero en específico a papel bond. Como se muestra en la tabla 4.9.

Tabla 4.9 Parámetros ideales para cada polímero.

Material	Temperatura °C	Velocidad de impresión mm/s	Ventilación de cama %	Velocidad de Salto en Z mm/s
PLA	190	60	100	5
TPU	195	40	50	6
PETG	200	50	70	4

Se deben tomar en consideración diferentes aspectos para la selección del material a emplear, siendo los principales el ámbito económico, y el tipo de usuario; debido a la variación de precio en los diferentes polímeros y a la sensibilidad que presente el usuario, debido a que cada material genera una textura diferente al tacto.

Una vez considerados esos aspectos el estudio logra cumplir con su objetivo principal que es establecer los parámetros de adherencia en los tres polímeros principales que se muestran.

CONCLUSIONES

- El estudio preliminar está basado en la investigación de la normativa Braille, lo cual ha permitido adquirir los conocimientos necesarios, para garantizar que el material construido cumpla con los requerimientos necesarios que demandan las personas con discapacidad visual para poder comprensión los textos en lenguaje Braille.
- El diseño y desarrollo de un mecanismo eficiente para recrear relieve ha demostrado ser factible, combinando la restauración de elementos en desuso con la fabricación de nuevas piezas. Este proceso tuvo un costo total de 150 USD y permitió crear un sistema capaz de imprimir en Braille de manera precisa y accesible.
- Las pruebas realizadas han validado la funcionalidad del dispositivo con los polímeros TPU, PETG y PLA, resultados que han sido corroborados por la instructora de la Asociación de No Videntes de Imbabura (ANVI), para la cual está destinado el equipo. Esto demuestra la efectividad del prototipo desarrollado, asegurando su capacidad para generar relieves táctiles de alta calidad.
- La implementación de una impresora Braille de bajo costo podría tener un impacto significativo en la accesibilidad para las personas con discapacidad visual, facilitando la producción de materiales educativos y de información accesibles.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda optimizar el software de la transcripción para que pueda tener una mejor interfaz con el usuario y en lo posible no sea dependiente del servicio de ethernet.
- Adaptar un software que genere un archivo .stl con las dimensiones ya establecida de manera automática desde el software de transcripción. De esta forma se puede desistir del uso de un programa de diseño asistido por computador; para que de esta manera sea mucho más sencillos el uso para las personas no videntes.
- Se recomienda optimizar el diseño en paralelo con los avances tecnológicos para mejorar la precisión y la eficiencia del relieve táctil.
- Se recomienda realizar estudios adicionales con los materiales aún no probados, para determinar los parámetros de temperatura óptimos, ya que podrían ofrecer un mejor acabado en la producción de los relieves.
- Promover la educación sobre la importancia del Braille y la accesibilidad para aumentar la conciencia pública y el apoyo a iniciativas inclusivas.
- Realizar evaluaciones regulares del impacto y la eficacia de las impresoras Braille desarrolladas en entornos educativos y comunitarios, y ajustar los diseños según sea necesario.

Referencias

- [1] Fernandez , A; Rodriguez , C;, «Alumnos con discapacidad visual:Análisis del proceso de apoyo educativo realizado desde ONCE,» 2017. [En línea].
- [2] M. P, «Realidad de las personas con discapacidad visual y escolaridad inconclusa en" San Pablo" de Manta y propuesta de Guía de estrategias metodológicas para potenciar el aprendizaje de lectoescritura.,» 2015. [En línea]. [Último acceso: 09 Abril 2024].
- [3] CN, «Discapacidades,» Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>. [Último acceso: 01 Noviembre 2023].
- [4] N. Trejo, Interviewee, *Problemas y Necesidades de la Asociacion de No Videntes Imbabura*. [Entrevista]. 05 Noviembre 2023.
- [5] Teyus, 06 Enero 2022. [En línea]. Available: https://www.tenyus.com/ciegos/tenyus/ceguera_66_1_ap.html. [Último acceso: 09 Abril 2024].
- [6] TEYUS, 06 Enero 2022. [En línea]. Available: https://www.tenyus.com/ciegos/tenyus/ceguera_66_1_ap.html.

- [7] N. A. Avalos Gomez y E. G. Ordaya Diaz, «Zenodo,» 15 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://zenodo.org/records/4414876>. [Último acceso: 09 Abril 2024].
- [8] S. M. Sanchez Medina y E. Diaz Sanches, «Gestion I+D,» 09 Febrero 2020. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/Dell/Downloads/Dialnet-DiscapacidadVisualSistemaBrailleEIInclusionEducativ-7863440.pdf>. [Último acceso: 09 Abril 2024].
- [9] A. B. Gamarra Miranda y L. J. Parraguez De La Cruz, 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6442/Gamarra%20Miranda%20%26%20Parraguez%20de%20la%20Cruz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [10] R. E. Fernandez Martinez y P. M. Llamuca Torres, «Repositorio Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE),» Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10569>.
- [11] B. V. Cobos Granada, 30 Mayo 2023. [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13939>.
- [12] G. Amendolaggine, F. Tenorio y S. Marozzi, «Repositorio Universidad Nacional de la Plata,» 12 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.24215/26838559e007>. [Último acceso: 09 Abril 2024].

- [13] E. N. J. Luis, «Repositorio Institucional UTPL,» 11 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/20.500.11962/29186>. [Último acceso: 09 Abril 2024].
- [14] S. C. C. Fernando, «Repositorio Institucional ESPE,» 18 Agosto 2023. [En línea]. Available: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/37287/1/T-ESPEL-MEC-0314.pdf>. [Último acceso: 09 Abril 2024].
- [15] R. M. T, «El papel de los materiales en relieve en el fomento de la lectura de las personas con discapacidad visual,» *Revista Especializada en Discapacidad Visual* , vol. 82, n° file:///C:/Users/Dell/Downloads/REDV082-04%20-%20Robles_El%20papel%20de%20los%20materiales%20en%20relieve%20en%20el%20fomento%20de%20la%20lectura%20de%20las%20personas%20con%20discapacidad%20visual.pdf, p. 15, 2023.
- [16] A. A. P. Andres, «Repositorio UTA,» Octubre 2023. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/38539/1/Proyecto%20Integrado%20Andr%c3%a9s%20Acurio.pdf>. [Último acceso: 09 Abril 2024].
- [17] F. J. Villalobos Piña, M. S. Esparza Gonzales y J. J. Muñoz Correa, «Repositorio Instituto Tecnológico de Aguascalientes,» 15 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/944/94457671008/94457671008.pdf>. [Último acceso: 09 Abril 2024].

- [18] R. P. Ferrer, «Consideraciones históricas sobre el sistema braille,» *Revista Cubana de Oftalmología*, vol. 35, nº 3, 2022.
- [19] C. B. M. Steven, Aprendizaje de la musicografía braille a través de la canción infantil con ritmos colombianos en el grupo "Música sin Fronteras", Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, 2021.
- [20] L. E. V. Hernández, Entrelazando formación, experiencias, escenarios y procesos vivenciales de investigación e innovación, Pasto: UNIMAR, 2021.
- [21] C. B. española, «ONCE,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.once.es/servicios-sociales/braille/comision-braille-espanola>. [Último acceso: 29 Agosto 2024].
- [22] L. J. Hernandez, «PROTOTIPO DE TECNOLOGÍA EN ASISTENCIA PARA LA ENSEÑANZA DEL BRAILLE,» *Redes de Ingenieria* , vol. 2, nº 2, p. 115, 2021.
- [23] E. d. C. I. Joseph, «Sistema mecatrónico de escaneado e impresión para musicografía braille de piano,» 16 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/17058>. [Último acceso: 29 Setiembre 2024].
- [24] A. A. P. Andres, «Repositorio UTA,» Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/handle/123456789/38539>. [Último acceso: 11 Agosto 2024].

- [25] V. E. W. Omar, «Repositorio Universidad Tecnológica del Perú,» Noviembre 2023. [En línea]. Available: <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/9331>. [Último acceso: 02 Agosto 2024].
- [26] R. Diaz, R. Viña y N. Gutierrez , «Investigación aplicada en tiempos de COVID-19,» *OFIL*, p. 30(2), 2020.
- [27] A. Sanchez , D. Revilla , M. Alayza, L. Sime, L. Mendivil y R. Tafur, «LOS MÉTODOS DE INVESTIGACION PARA LA ELABORACION DE LA TESIS DE MAESTRIA EN EDUCACION,» PUCP, San Miguel, Lima, 2020.
- [28] G. J, «Técnicas de Investigación de Campo,» 12 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://uapa.cuaieed.unam.mx/sites/default/files/minisite/static/0fec888-6a3f-4b31-b704-a2d94e3eed72/U000308176506/index.html>.
- [29] A. Valle, L. Manrique y D. Revilla, «La Investigación descriptiva con enfoque cualitativo en educación.,» 03 2022. [En línea]. Available: <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/184559>.
- [30] G. Carlos, Los alcances de una virtualidad, Quito: Diseño de investigacion experimental, 2021.

- [31] R. P. R. Cruz, «ResearchGate,» 17 Junio 2020. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Figura-51-Metodologia-de-desarrollo-en-cascada-y-su-similitud-con-la-estructura-del_fig13_311535227.

ANEXOS

Anexo A

Manual de Usuario

Paso1. – Con la ayuda de un navegador se coloca en el buscador brailletranslator.org (ver Fig. Anexo A.1), debido a su facilidad de uso y la opción de archivos que brinda, más allá de ello a considerar que es un software de libre acceso, por lo cual es mucho más beneficioso que las opciones presentadas anteriormente.

Al ingresar a la página se encuentra una vista de la siguiente manera.



The screenshot shows the homepage of BrailleTranslator.org. At the top, there is a navigation bar with links for INICIO, PRIVACIDAD, CONTACTO, and DONACIONES. Below this is the website's logo and name, "BrailleTranslator.org", with the tagline "Traductor Braille Grado 2 online gratuito." A "BIENVENIDO" section follows, describing the tool as a simple text-to-Braille converter. The main interface includes a text input field labeled "Pegue o introduzca un texto:", a language dropdown menu currently set to "English (U.K.) 1", and a "Comenzar" button. A note below the language menu explains that '1' is for standard Braille and '2' is for contracted Braille. A link for "Mostrar opciones avanzadas" is also visible.

Fig. Anexo A.1 Traductor Braille.

Paso2. – Selecciona el idioma como se muestra en la Fig. Anexo A.2.



Fig. Anexo A.2 Selección de idioma en el traductor Braille.

Paso 3. – Una vez seleccionado el idioma ingresa el texto que se desea traducir en el recuadro que se muestra en la Fig. Anexo A.3.



Fig. Anexo A.3 Recuadro donde se ingresa el texto al traductor Braille.

Paso 4. – Después de haber ingresado el texto se debe dar clic en comenzar (Véase Fig. Anexo A.4).

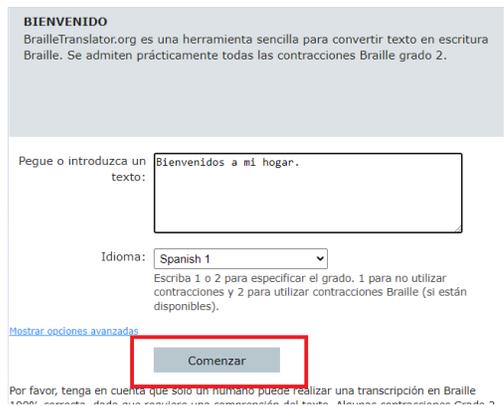


Fig. Anexo A.4 Casillero para realizar la traducción.

Paso 5. – Una vez generada la traducción se obtiene diferentes opciones de archivo como se evidencia en la Fig. Anexo A.5, a libre elección más una imagen en línea.

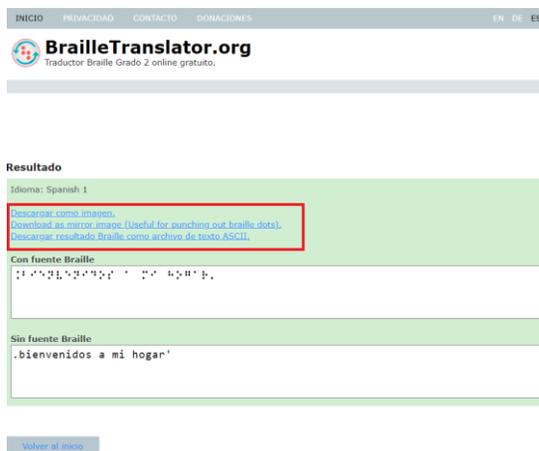


Fig. Anexo A.5 Tipos de documento que proporciona el traductor.

Paso 6. – Una vez se plasme los resultados se selecciona la opción de descargar como imagen como se observa en la Fig. Anexo A.6.

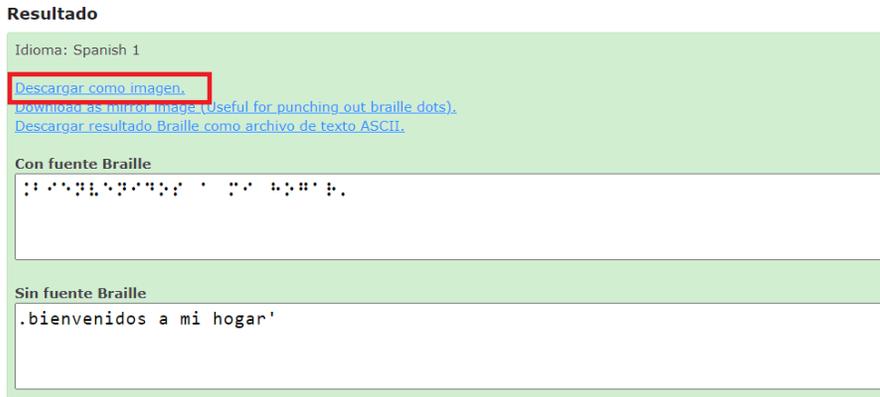


Fig. Anexo A.6 Archivo .png que proporciona el traductor.

Paso 7. – Al presionar descargar como imagen se tiene un archivo.png como se muestra en la Fig. Anexo A.7.



Fig. Anexo A.7 Imagen que proporciona el traductor Braille.

Un vez obtenida la traducción Braille se cuenta con varias opciones para generar el archivo.stl entre ella se presenta dos opciones que son SolidWorks y DIF DFX.

-Si se trabaja con el Software SolidWorks los pasos a emplearse son los siguientes.

- Se obtiene el software SolidWorks en la versión de su preferencia.
1. – Selecciona la opción de pieza (ver Fig. Anexo A.8), y se da clic izquierdo.

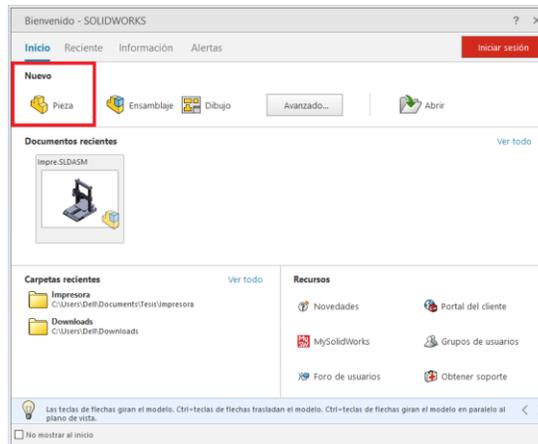


Fig. Anexo A.8 Opción dentro de SolidWorks para recrear el plano.

2. Posteriormente selecciona la opción de croquis como se muestra en la Fig. Anexo A.9.

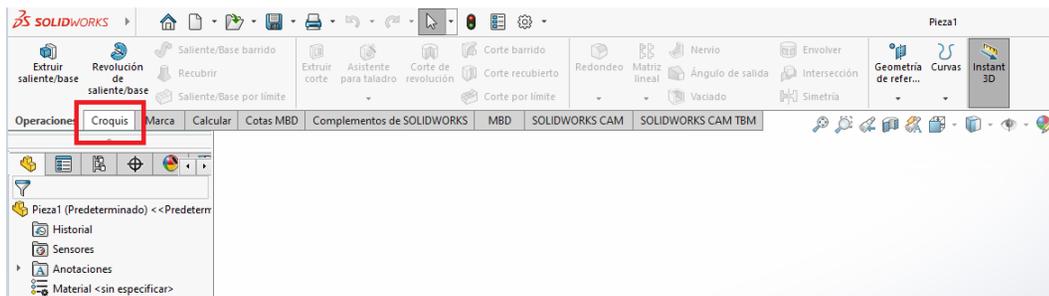


Fig. Anexo A.9 Selección de la ventanilla para recrear el croquis.

3. Una vez que se selecciona el croquis se desplegará opciones, dentro de ella donde se vuelve a seleccionar el croquis (véase Fig. Anexo A.10).

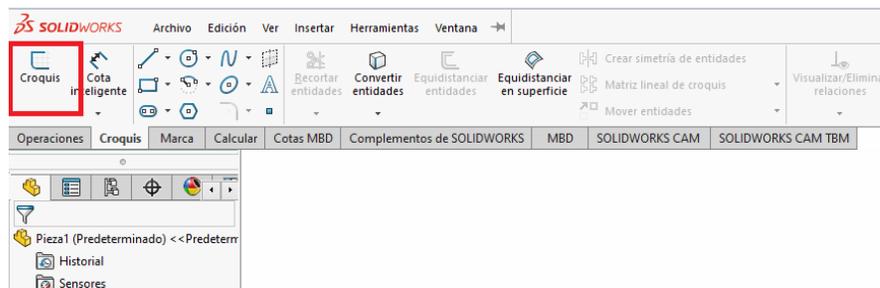


Fig. Anexo A.10 Selección de ventanilla para que se desplegué los diferentes croquis.

4. Tras seleccionar el croquis se desplegar el croquis alzado como se observa en la Fig. Anexo A.11, que es donde se va a trabajar y se presiona clic izquierdo.

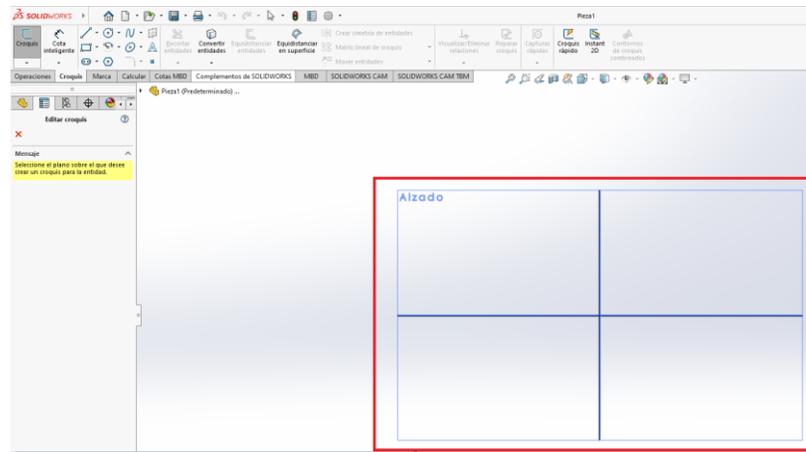


Fig. Anexo A.11 Croquis alzado desplazado.

5. Una vez se encuentra dentro del croquis se selecciona la opción de rectángulo (ver Fig. Anexo A.12), para dimensionar el espacio en el que se va a trabajar.

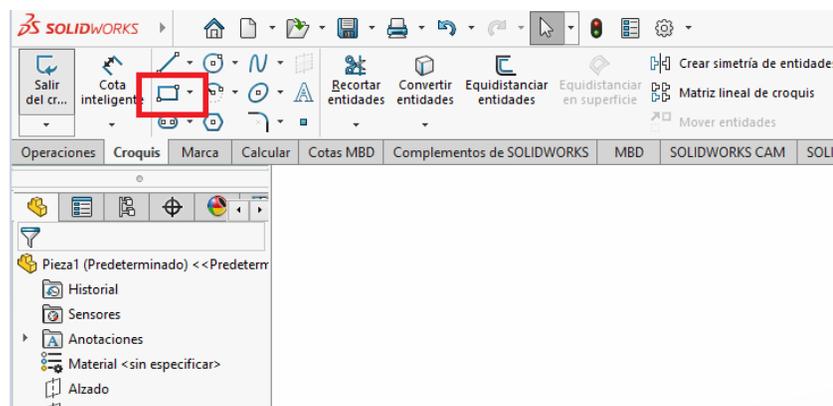


Fig. Anexo A.12 Selección de opción para crear rectángulos.

6. Una vez seleccionado la opción de rectángulo se desplaza con el click izquierdo presionado para obtener la figura de la manera que se muestre en la Fig. Anexo A.13.

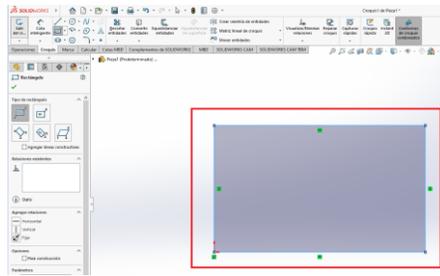


Fig. Anexo A.13 Desplace del rectángulo dentro del plano.

- Ahora se dimensiona el área de trabajo que en este caso sería 200*200 mm, para lo cual se presiona clic izquierdo en cota inteligente como se denota en la Fig. Anexo A.14.

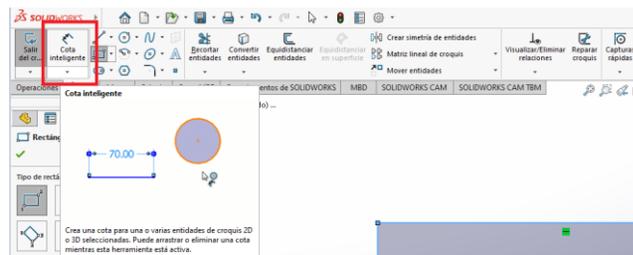


Fig. Anexo A.14 Selección de cota inteligente para dimensionar el rectángulo.

- Una vez realizado eso se selecciona uno de los lados del rectángulo como se muestra en la Fig. Anexo A.15, y se coloca la dimensión deseada que en este caso fue 200 mm.

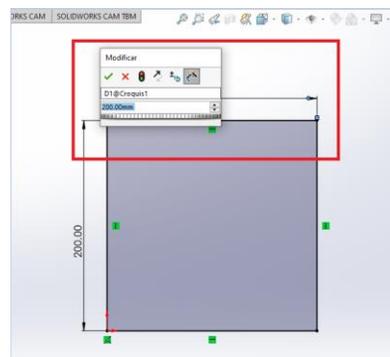


Fig. Anexo A.15 Ingreso de la dimensión requerida para el rectángulo en mm.

9. Una vez obtenida el área, se realiza una matriz con las medidas establecidas mediante normativa y satisfacción del usuario. Para lo cual se selecciona nuevamente la opción de rectángulo (véase Fig. Anexo A.16).

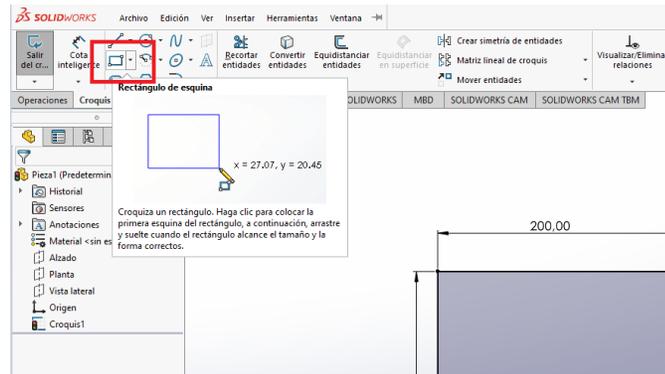


Fig. Anexo A.16 Se selecciona la opción para crear un rectángulo.

10. Una vez seleccionada esta opción se desplaza desde la parte superior del área de trabajo como se mira en la Fig. Anexo A.17.

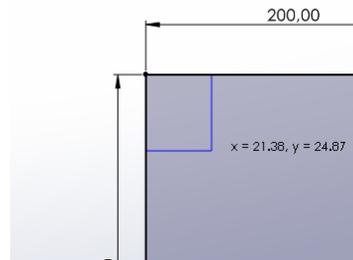


Fig. Anexo A.17 Se desplaza el nuevo rectángulo dentro del principal.

11. Mediante normativa, pruebas de impresión y pruebas de usuario se obtiene las siguientes medidas para una correcta comprensión de lectura, las cuales se acotará como se hizo anteriormente con un ancho de 6.50 mm (ver Fig. Anexo A.18-c), y un alto de 10.50mm (véase Fig. Anexo A.18-b).

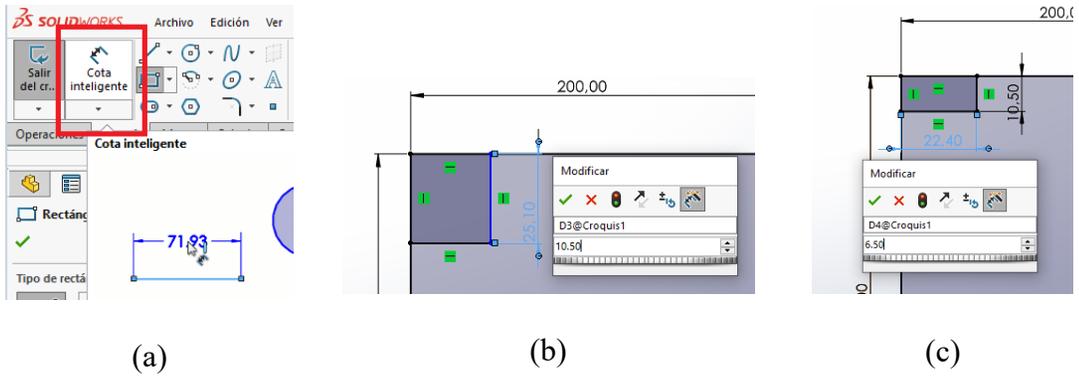


Fig. Anexo A.18 Delimitación de las dimensiones de la celda Braille. (a) Selección de cota inteligente, (b) Cota horizontal, (c) Cota vertical.

12. Una vez realizada la celda se realizarán líneas constructivas que ayudaran a realizar las circunferencias que representaran el carácter braille, para ellos se selecciona la opción de línea constructiva como se muestra en la Fig. Anexo A.19.

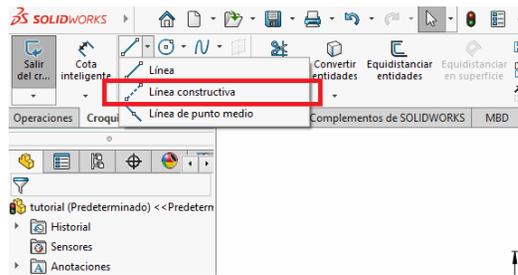


Fig. Anexo A.19 Selección de línea constructiva.

13. Una vez seleccionada esta opción se realiza dos líneas verticales y dos líneas horizontales como se aprecia en la Fig. Anexo A.20, para lo cual después de realizar la primera línea se debe presionar Esc y así poder realizar el siguiente trazo volviendo a seleccionar la opción de línea constructiva. Los trazos se realizarán desde las líneas que forman el rectángulo.

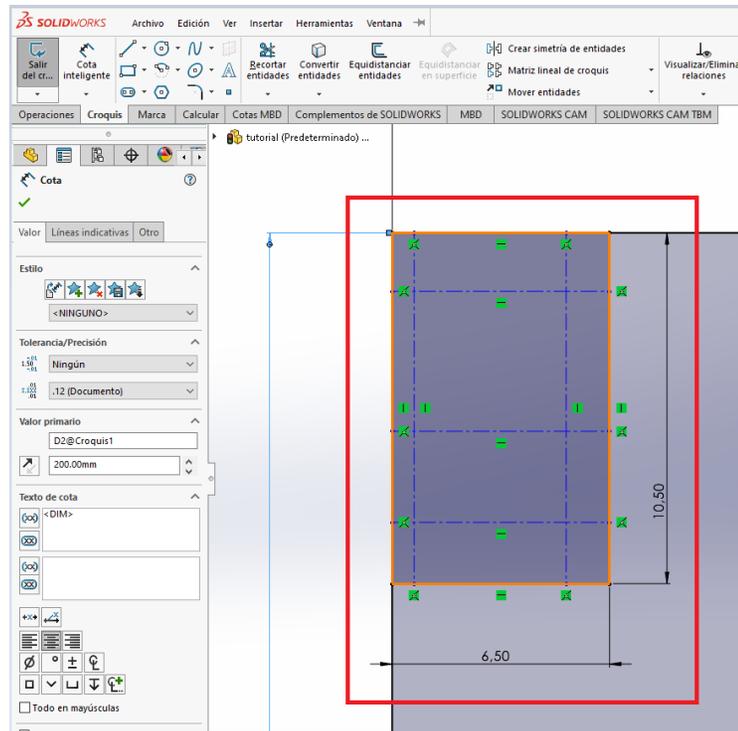
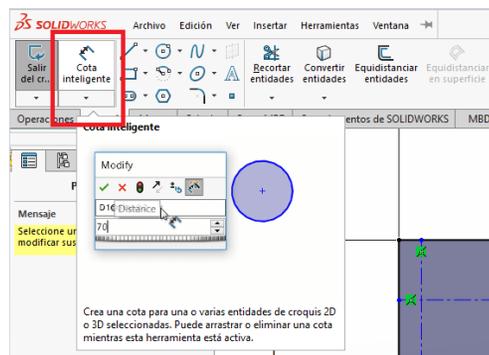


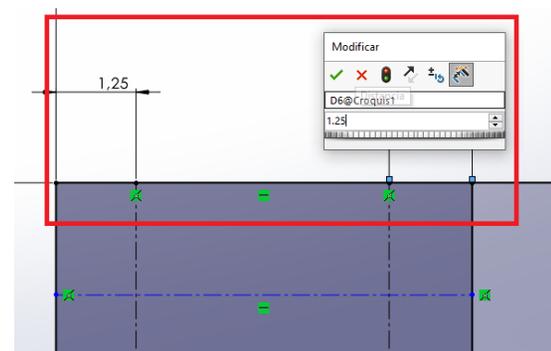
Fig. Anexo A.20 Trazo de líneas guía para la celda.

14. Una vez realizadas las líneas se procede a acotar la distancia como se evidencia en la Fig.

Anexo A.21 a-d.



(a)



(b)

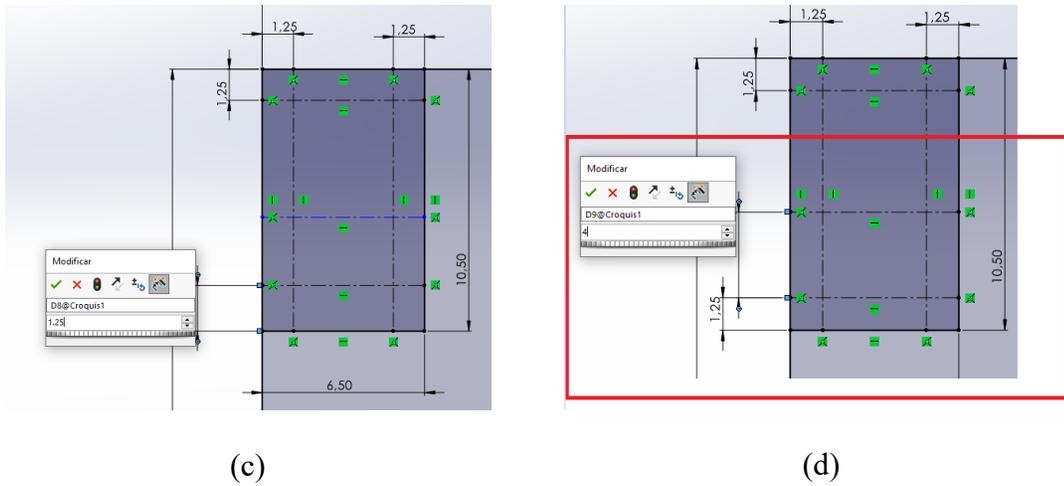


Fig. Anexo A.21 Acotación de distancias de líneas guía para la celda Braille. (a) Selección de cota inteligente, (b) Cota vertical, (c) Cota horizontal, (d) Cota media.

15. Una vez realizadas las líneas constructivas se selecciona la opción de circunferencia (ver Fig. Anexo A.22-a), y se realiza lo que representará al carácter Braille dentro de la casilla utilizando como referencia la intersección de las líneas como se observa en la Fig. Anexo A.22-b.

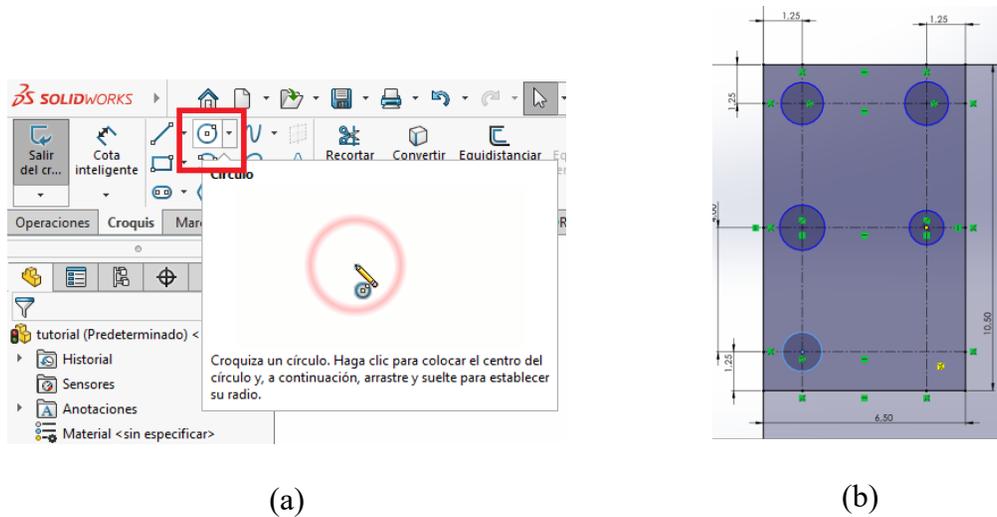


Fig. Anexo A.22 Creación de circunferencias. (a) Selección de circunferencia, (b) Desplazamiento de las circunferencias en las intersecciones de las líneas de construcción.

16. Una vez realizada las 6 circunferencias se procede a acotar su medida a 2.5 mm como se aprecia en la Fig. Anexo A.23 a-c. Finalmente se obtiene la celda con los parámetros designados en cuestión a distancia.

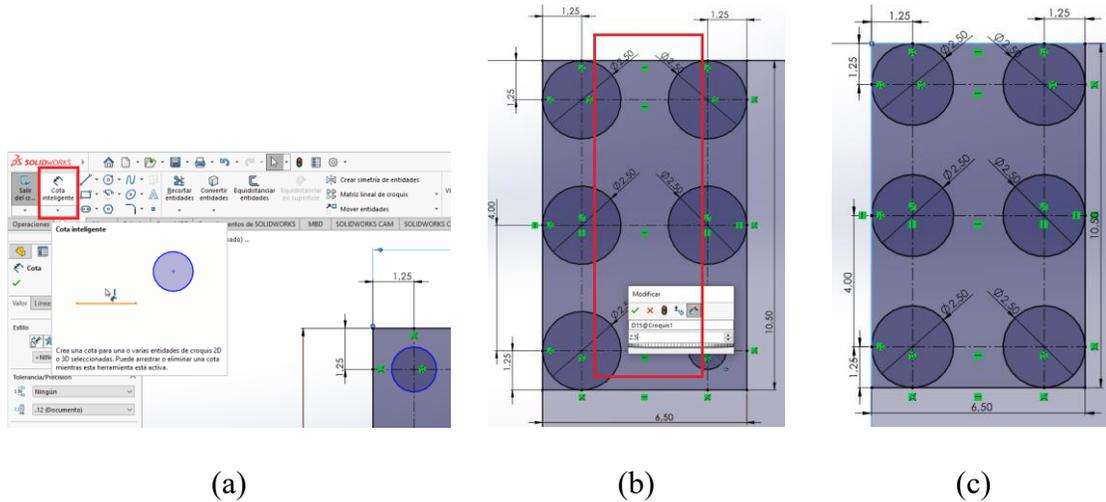


Fig. Anexo A.23 Acotación de circunferencias. (a) Selección de cota inteligente, (b) Delimitación del diámetro, (c) Circunferencias acotadas.

17. Ahora se procede a crear una plantilla de celdas en toda el área de trabajo para facilitar el proceso repetitivo de la creación de cada celda, se selecciona la herramienta de matriz lineal (véase Fig. Anexo A.24-a), con clic izquierdo de la siguiente manera.

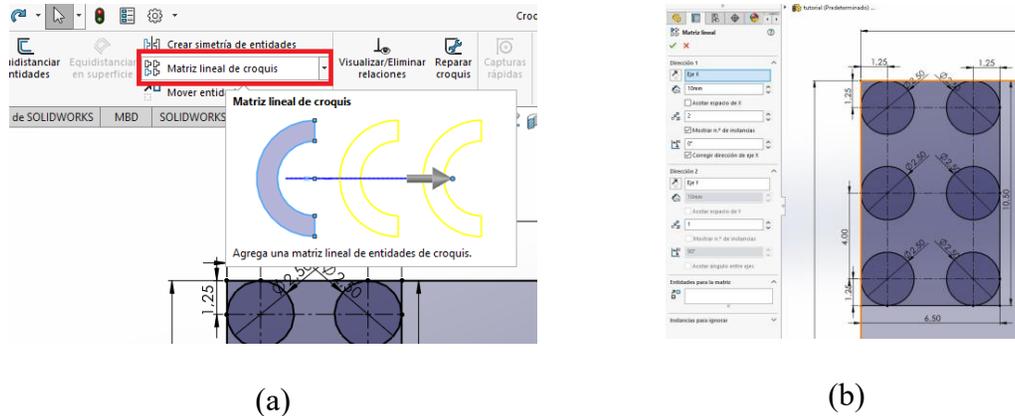


Fig. Anexo A.24 Creación de matrices. (a) Selección de matriz lineal, (b) Selección de elementos con los que se crea la matriz.

18. Dentro de la ventana que se desplaza se coloca la distancia de separación en el eje X y en el eje Y, como también el número de celdas a replicar y por último se selecciona las 6 circunferencias que representan los caracteres Braille como se muestra en la Fig. Anexo A.25. En este caso se coloca el número de replicas que soporta la zona de impresión lo cual puede variar dependiendo la maquina con la que se trabaje, para ellos antes de aceptar la operación se puede observar previamente las circunferencias de color amarillos para saber de ante mano hasta donde se van a desplegar los caracteres y así saber de antemano si son los suficientes para cubrir el área.

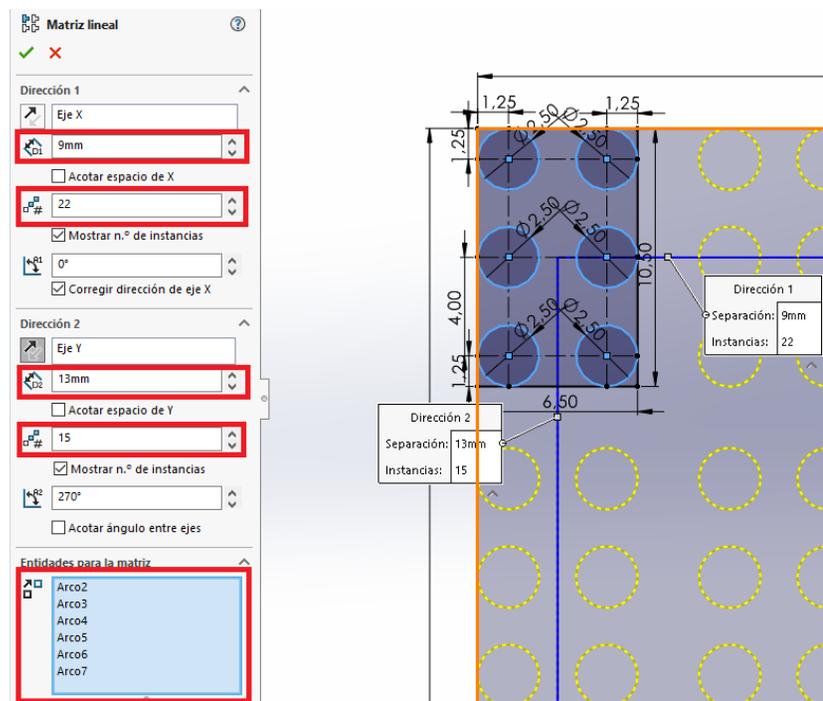


Fig. Anexo A.25 Delimitación de parámetros para crear la matriz.

19. Una vez aceptado el proceso de matriz lineal se procede a salir de croquis para poder realizar la extrusión saliente. Para ello se da clic izquierdo en el icono que se muestra en la Fig. Anexo A.26.

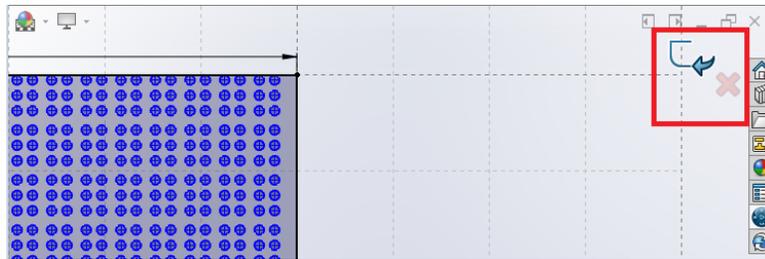


Fig. Anexo A.26 Salir del plano.

20. Una vez se encuentre fuera del coquis se selecciona la ventana de Operaciones, para posteriormente selección la opción de extrusión base/saliente (ver Fig. Anexo A.27).

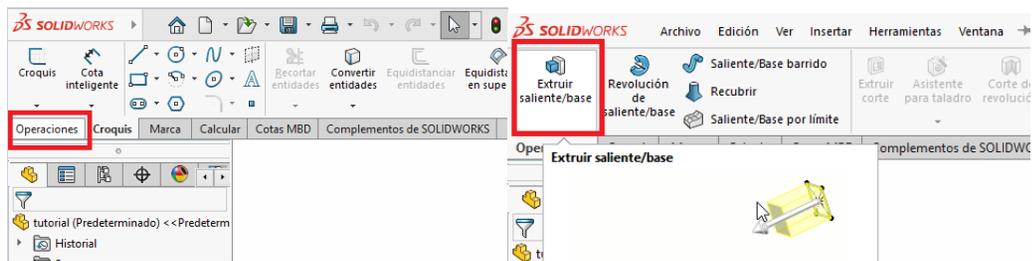


Fig. Anexo A.27 Seleccionar la opción de extruir saliente/base.

21. Una vez seleccionada la opción de extruir base, se puede insertar la imagen que proporciona el traductor para poder guiarse como se puede observar en la Fig. Anexo A.28. Para ello se utiliza el comando Ctrl C y Ctrl V. Y posteriormente se selecciona los puntos que se desea.

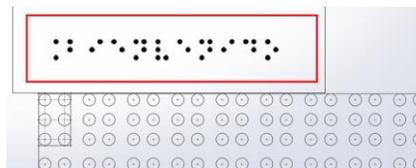


Fig. Anexo A.28 Ingreso de imagen guía.

22. Para seleccionar las circunferencias deseadas presiona clic en uno de ellos, posteriormente una ventana se desplegará, ahí se coloca la altura del relieve que es de 0.52 mm como se mira en la Fig. Anexo A.29, inferior a eso se encuentra los contornos seleccionados donde se procede a dar clic izquierdo para poder seleccionar más de una circunferencia en este caso las requeridas. Y finalmente se presiona enter.

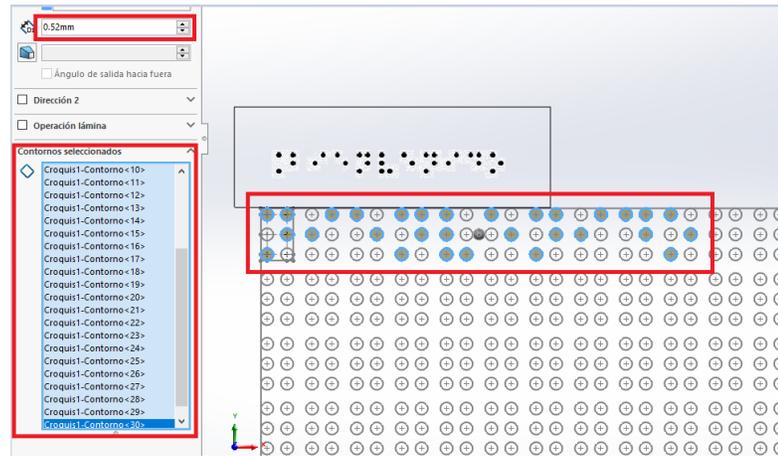
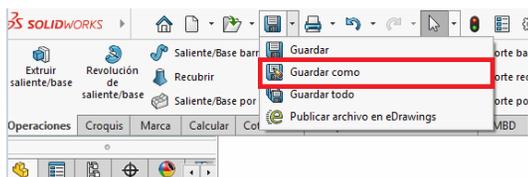
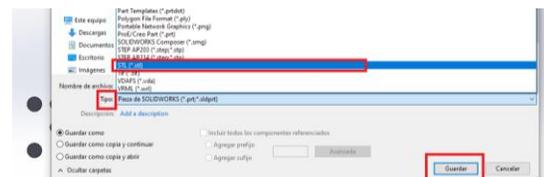


Fig. Anexo A.29 Selección de circunferencias a extruir.

23. Una vez realizado el texto en relieve se procede a guardar en un archivo .stl de la siguiente manera. Seleccionando la opción de guardar como (ver Fig. Anexo A.30-a), la carpeta donde se desea guardar, consiguiente se selecciona el tipo de archivo y se presiona guardar (ver Fig. Anexo A.30-b). Finalmente, al ser caracteres muy pequeños resalta una advertencia a la cual se selecciona SI como se observa en la Fig. Anexo A.30.



(a)



(b)

Fig. Anexo A.30 Guardado de documento en archivo.stl

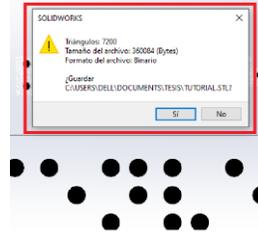


Fig. Anexo A.31 Confirmación de modo de guardar.

Paso 8. –Una vez obtenido el archivo .stl se procede a utilizar el software ELEGOO Cura (véase Fig. Anexo A.32), en el cual se puede ingresar los parámetros de temperatura en base al material que se vaya a utilizar como se lo estable en el periodo de pruebas.



Fig. Anexo A.32 Software para impresión 3D.

Paso 9. – Al momento de abrir el programa se encuentra con una página como se muestra en la Fig. Anexo A.33. En donde se va a estipular el modelos de la impresora a trabajar, el tipo de material y los rangos de temperatura.

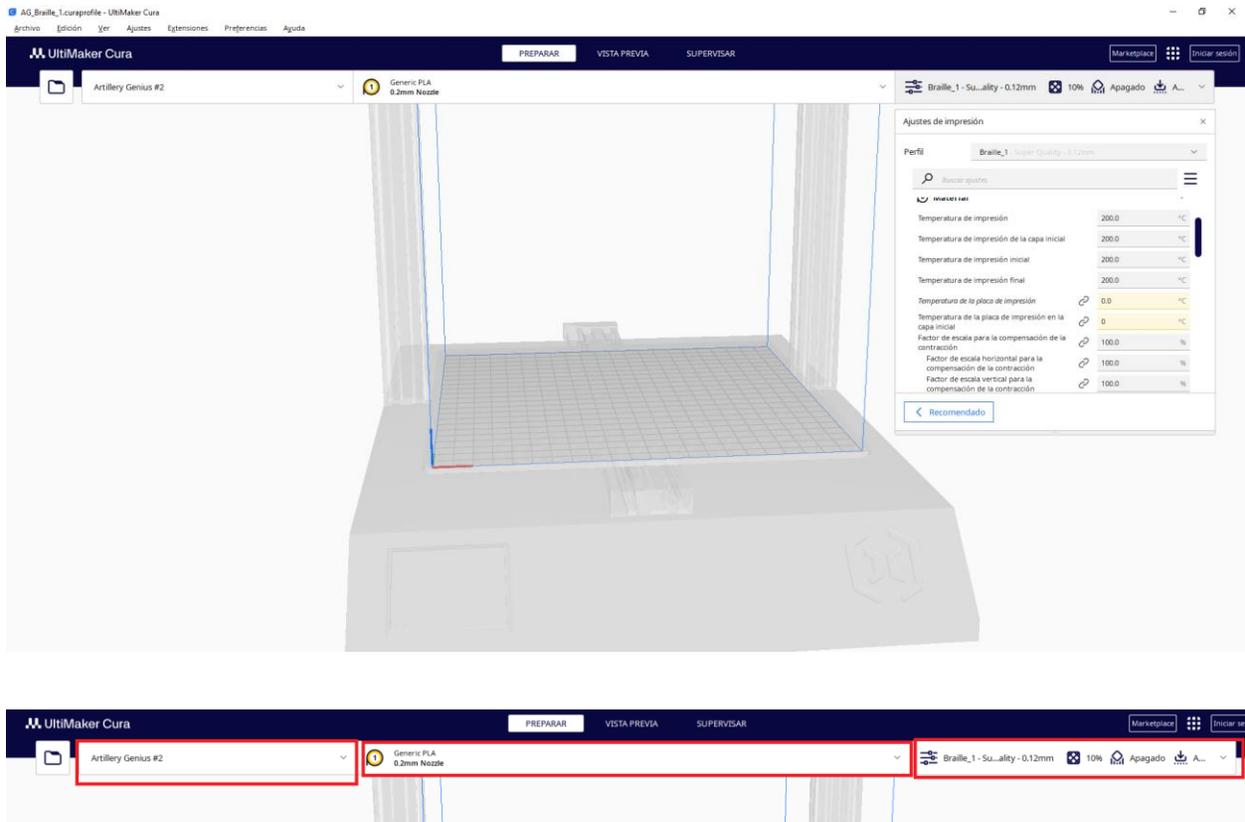


Fig. Anexo A.33 Configuración de software.

Paso 10. – Una vez seleccionado los rangos de temperatura idoneos se selecciona el archivo a imprimir dando clic izquierdo en el icono que se muestra en la Fig. Anexo A.34.



Fig. Anexo A.34 Abrir documentos del computador.

Paso 11. – Consiguiente se abrirá las carpetas del escritorio como se denota en la Fig. Anexo A.35, donde se va a seleccionar el archivo en .stl que se acaba de realizar y se presiona abrir.

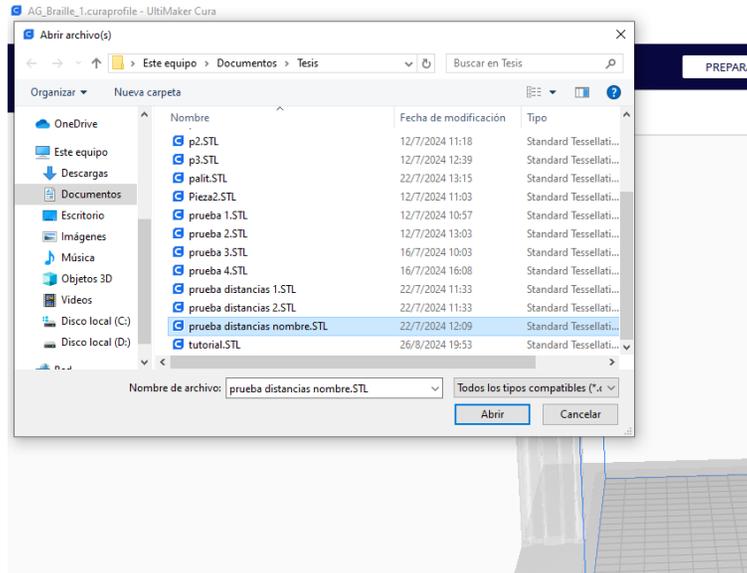


Fig. Anexo A.35 Selección del documento a imprimir.

Paso 12. – Por defecto el archivo se colocará en el centro de la impresora como se observa Fig. Anexo A.36, para poder colocar de manera correcta se toma de referencia la representación de la impresora para colocarlo en el lado que sea necesario en la cama.

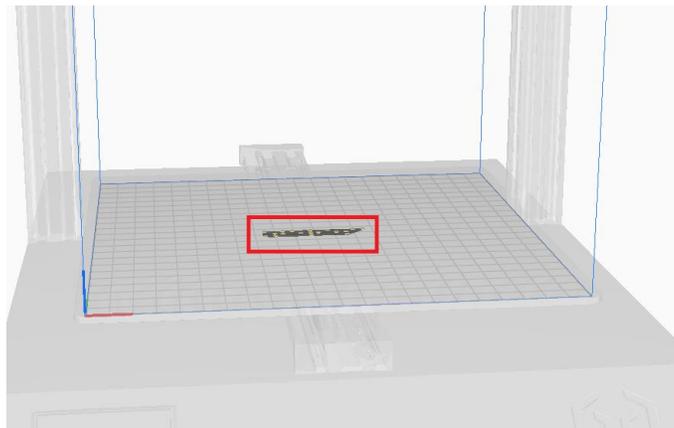


Fig. Anexo A.36 Caracteres Braille colocados.

Para poder movilizar el texto se presiona clic izquierdo en el centro de los caracteres y se desplazará la opción de mover el texto como se mira Fig. Anexo A.37.

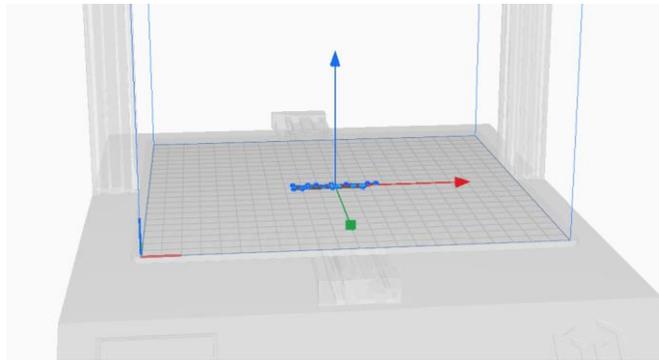


Fig. Anexo A.37 Flechas para desplazarse a la posición deseada.

Manteniendo presionado el clic izquierdo en cualquiera de las flechas que representan el sentido de movilidad en el cual se desplazará el texto (ver Fig. Anexo A.38).

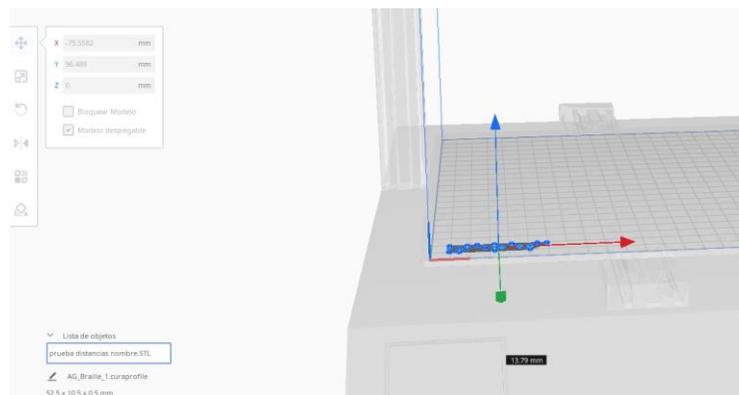


Fig. Anexo A.38 Caracteres posicionados.

Paso 13. – Una vez colocado el texto de manera deseada se procede a insertar la memoria USB en la máquina para poder segmentar y proceder a guardar el archivo (véase Fig. Anexo A.39).

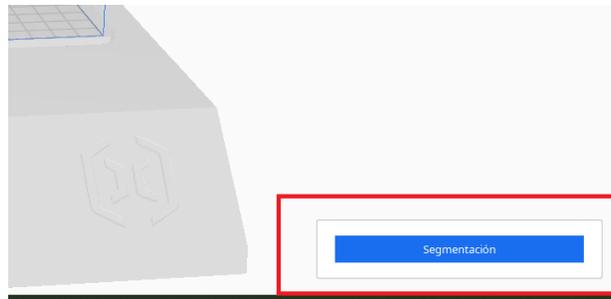


Fig. Anexo A.39 Segmentación.

Paso 14. – Posteriormente despues de segmentar se guardara en la memoria USB como se aprecia en la Fig. Anexo A.40, y se procede a imprimir en la impresora 3D.

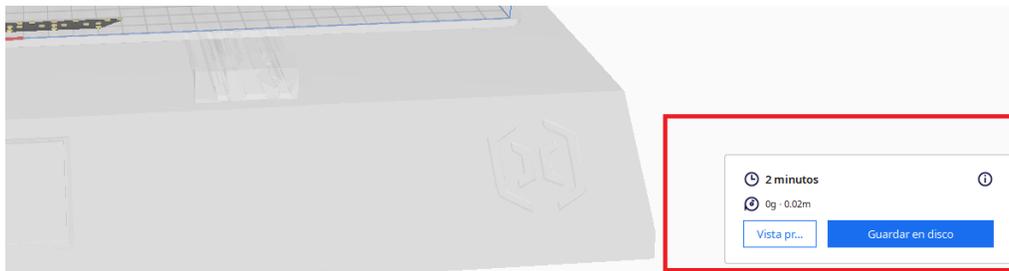


Fig. Anexo A.40 Guardar en unidad extraíble.