



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

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

TEMA:

“CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA BRAILLE DE BAJO COSTO”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: *Ingeniero en Mecatrónica*

Línea de investigación: *Biomecatrónica*

Autor: *Byron Vinicio Cobos Granada*

Director: *PhD, David Alberto Ojeda Peña, Ing.*

Asesor: *PhD, Brizeida Nohemí Gámez Aparicio, Ing*



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003851878		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Cobos Granada Byron Vinicio		
DIRECCIÓN:	Abelardo Moncayo 2-26 y Elías Almeida		
EMAIL:	bvcobosg@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	2955047	TELÉFONO MÓVIL:	0967257885

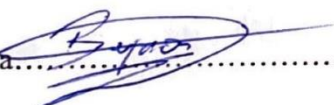
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Construcción de una impresora Braille de bajo costo”
AUTOR (ES):	Cobos Granada Byron Vinicio
FECHA: DD/MM/AAAA	18/04/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	PhD, David Alberto Ojeda Peña, Ing.

2. CONSTANCIAS

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

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

EL AUTOR:

Firma.....

Nombre: Byron Vinicio Cobos Granada

**CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTERGRACIÓN
CURRICULAR**

Ibarra, 13 de abril de 2023

PhD, David Alberto Ojeda Peña, Ing.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

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

(f)

PhD, David Alberto Ojeda Peña, Ing.

C.C.: 1757892489

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Tribunal Examinador del trabajo de titulación “Construcción de una impresora Braille de bajo costo” elaborado por Byron Vinicio Cobos Granada, previo a la obtención del título del Ingeniero en Mecatrónica, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f):.....

PhD, David Alberto Ojeda Peña, Ing.

C.C.: 177898489.....

(f):.....

PhD, Brizeida Nohemí Gámez Aparicio, Ing

C.C.: 1758387383.....

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres, Bairon y Verónica, por todo el amor y apoyo brindado durante cada una de las etapas de mi vida. A mi hermana, Mélany, por siempre ayudarme a afrontar los momentos difíciles. A mi abuelitos, René y Lucrecia, que han sido ejemplos de lo que una persona de bien debe ser.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme formarme profesionalmente y por las oportunidades que me presenta día con día. A mis padres y abuelitos, quienes me han ayudado a afrontar los retos que se me han ido presentando, así como también por ser mis apoyos fundamentales.

También quiero agradecer a “Ingenious Works”, por la asesoría y asistencia brindada en cada etapa del desarrollo de este proyecto, al MSc. Dany Orbes, por su preocupación y colaboración incondicional. A la “Asociación de No Videntes De Imbabura”, gracias por impartirme conocimiento sobre el lenguaje Braille y por permitirme aportar una pequeña ayuda dentro de su labor en la formación de los niños no videntes de la provincia. Finalmente, agradezco al Ing. David Ojeda y la Ing. Brizeida Gámez, por todo el cariño y el compromiso que poseen en la formación de ingenieros éticos y con conciencia social.

RESUMEN

Para los estudiantes no videntes aún es difícil acceder a una educación inclusiva y de calidad, dentro de las instituciones educativas del país. Para atender esta necesidad, existen centros enfocados en la educación de personas con discapacidad visual. Uno de ellos es la Asociación de No Videntes de Imbabura. En esta institución el material didáctico es realizado por los miembros del centro, no existe una gran variedad de material y los estudiantes tienden a cansarse y aburrirse. Existen impresoras braille en el mercado; sin embargo, su costo es de aproximadamente 3000 USD por lo que son de difícil adquisición en el país. Con el objetivo de ayudar a instituciones de escasos recursos, se presenta el diseño y construcción de una impresora Braille de bajo costo, la cual permita plasmar los caracteres del lenguaje de manera correcta y posea un uso sencillo. Considerando esto, se analizaron las opciones que se encuentran en el mercado, se elaboraron tres propuestas de diseño y se evaluaron las mismas en relación con los criterios y restricciones planteadas en la investigación. Esto permitió seleccionar la propuesta que cumple, de mejor manera, con los requerimientos del beneficiario, aprovechando la estructura de una máquina electrónica cortadora de formas que cumplió su vida útil, implementando lenguaje de control numérico para el accionamiento de los diferentes sistemas y adaptando la herramienta para conversión de texto a Código G. Como resultado se obtuvo una impresora Braille, que al igual que las opciones disponibles en el mercado cumple con su propósito, contando con un proceso de diseño que garantizó la mejor solución, lo que en consecuencia facilitó su construcción, ofreciendo así un uso sencillo y obedeciendo los parámetros establecidos en el lenguaje; especificaciones que fueron verificadas y avaladas por los miembros de la Asociación de No Videntes de Imbabura.

Palabras clave: no videntes, Braille, caracteres, impresora, máquina, Código G.

ABSTRACT

For blind students it is still difficult to access an inclusive and quality education within the country's educational institutions. To meet this need, there are centers focused on the education of people with visual disabilities. One of them is the Asociación de No Videntes de Imbabura. In this institution the didactic material is made by the members of the center, there is not a great variety of material, and the students tend to get tired and bored. There are braille printers on the market; however, their cost is approximately USD 3,000, so they are difficult to acquire in the country. With the aim of helping low-income institutions, the design and construction of a low-cost Braille printer is presented, which allows the characters of the language to be captured correctly and is easy to use. Considering this, the options found in the market were analyzed, three design proposals were elaborated and they were evaluated in relation to the criteria and restrictions raised in the investigation. This made it possible to select the proposal that best meets the beneficiary's requirements, taking advantage of the structure of an electronic shape-cutting machine that has completed its useful life, implementing numerical control language to activate the different systems, and adapting the tool. for conversion of text to G Code. As a result, a Braille printer was obtained, which, like the options available in the market, fulfills its purpose, with a design process that guaranteed the best solution, which consequently facilitated its construction, thus offering a simple use and obeying the parameters established in the language; specifications that were verified and endorsed by the members of the Asociación de No Videntes de Imbabura.

Keywords: blind, braille, characters, printer, machine, G-Code.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	2
2. CONSTANCIAS.....	3
<i>CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTERGRACIÓN.....</i>	<i>4</i>
<i>APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR.....</i>	<i>5</i>
<i>DEDICATORIA.....</i>	<i>6</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i>	<i>7</i>
<i>RESUMEN.....</i>	<i>8</i>
<i>ABSTRACT.....</i>	<i>9</i>
<i>ÍNDICE DE CONTENIDOS</i>	<i>10</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS.....</i>	<i>13</i>
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	<i>16</i>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	<i>17</i>
Problema	17
Objetivos	19
Objetivo General	19
Objetivos Específicos.....	19
Justificación.....	20
Alcance.....	21
<i>CAPÍTULO I</i>	<i>22</i>
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	22

	11
1.1. Antecedentes	22
1.2. Marco Teórico.....	23
1.2.1 Lenguaje Braille	23
1.2.2 Impresoras Braille en el mercado.....	26
1.2.3 Actuador lineal	29
1.2.4 Motores DC.....	30
1.2.5 Placa de control	33
1.2.6 Lenguaje de comunicación.....	34
1.2.7 Software para comunicación	36
<i>CAPÍTULO II.....</i>	<i>39</i>
2. <i>MARCO METODOLÓGICO.....</i>	<i>39</i>
2.1. Tipo de Investigación.....	39
2.2. Nivel de investigación.....	39
2.3. Materiales.....	39
2.4. Metodología	40
<i>CAPÍTULO III.....</i>	<i>45</i>
3. <i>RESULTADOS</i>	<i>45</i>
3.1. Especificaciones del Sistema	45
3.1.1. QFD - Casa de la Calidad.....	47
3.2. Propuesta de Solución.....	51
3.2.1. Primera propuesta de diseño	51

	12
3.2.2 Segunda propuesta de diseño	53
3.2.3 Tercera propuesta de diseño	56
3.3. Selección de la Mejor Solución	58
3.4. Especificaciones de la Solución.....	61
3.4.1. Selección de Componentes y Software	61
3.4.2. Especificación de los Sistemas.....	67
3.4.3. Control de los Sistemas	70
3.4.4. Comunicación entre el Computador y la Impresora.....	73
3.5. Construcción del Dispositivo	83
3.6. Pruebas del dispositivo	92
<i>CAPÍTULO IV.....</i>	<i>96</i>
<i>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	<i>96</i>
Conclusiones	96
Recomendaciones.....	97
<i>BIBLIOGRAFÍA.....</i>	<i>99</i>
<i>ANEXOS.....</i>	<i>104</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 <i>Cajetín Braille</i> [11].	24
Figura 1.2 <i>Alfabeto Braille</i> [11].	24
Figura 1.3 <i>Dimensiones de la celda braille</i> [12].	25
Figura 1.4 <i>Dimensiones de los puntos</i> [12].	25
Figura 1.5 <i>Impresora Braille BASIC-D V5</i> [13].	27
Figura 1.6 <i>Impresora Braille EVEREST D-V5</i> [14].	28
Figura 1.7 <i>Impresora MOUNTBATTEN</i> [15].	29
Figura 1.8 <i>Solenoides 12V</i> [18].	30
Figura 1.9 <i>Estructura de un motor paso a paso</i> [22].	32
Figura 1.10 <i>Giro de 360° de un motor paso a paso, empleando pasos de 45°</i> [22].	32
Figura 1.11 <i>Motor paso a paso Nema 17 Híbrido (bipolar)</i> [24].	33
Figura 1.12 <i>Placa Makerbase MKS DLC V2.0</i> [25].	34
Figura 1.13 <i>Uso de la aplicación “Braille Rap”</i>	37
Figura 1.14 <i>Interfaz del software “OpenBuilds CONTROL”</i>	38
Figura 3.1 <i>Casa de la Calidad</i>	48
Figura 3.2 <i>Requerimientos del cliente</i>	49
Figura 3.3 <i>Requerimientos técnicos</i>	50
Figura 3.4 <i>Importancia y evaluación</i>	50
Figura 3.5 <i>Matriz de planeación</i>	51
Figura 3.6 <i>Dibujo en explosión (primera propuesta)</i>	52
Figura 3.7 <i>Propuesta de diseño 1 completamente ensamblada</i>	53
Figura 3.8 <i>Dibujo en explosión (segunda propuesta)</i>	54
Figura 3.9 <i>Propuesta de diseño 2 completamente ensamblada</i>	56
Figura 3.10 <i>Dibujo en explosión (tercera propuesta)</i>	57

Figura 3.11 <i>Propuesta de diseño 3 completamente ensamblada</i>	58
Figura 3.12 <i>Electroimán (solenoides 12V)</i> [34].	61
Figura 3.13 <i>Motor paso a paso Nema 17 bipolar</i> [35].	62
Figura 3.14 <i>Módulo driver A4988</i> [36].	63
Figura 3.15 <i>Placa de control Makerbase MKS DLC V2.0</i> [38].	64
Figura 3.16 <i>Máquina electrónica cortadora de formas "Sizzix eclips"</i> [39].....	66
Figura 3.17 <i>Aplicación Braille Rap</i>	67
Figura 3.18 <i>Sistema de desplazamiento del actuador</i>	68
Figura 3.19 <i>Sistema para movimiento de la hoja</i>	69
Figura 3.20 <i>Sistema de activación del punzón</i>	70
Figura 3.21 <i>Diagrama de conexiones</i>	71
Figura 3.22 <i>Conexión motores paso a paso</i>	72
Figura 3.23 <i>Conexión módulos driver A4988</i>	72
Figura 3.24 <i>Conexión solenoides 12V</i>	73
Figura 3.25 <i>Braille Rap (aspecto original)</i>	74
Figura 3.26 <i>Modificación en el idioma de la aplicación</i>	75
Figura 3.27 <i>Modificación valores por defecto</i>	76
Figura 3.28 <i>Modificación en la implementación del lenguaje de control numérico</i>	76
Figura 3.29 <i>Implementación del idioma español</i>	77
Figura 3.30 <i>Braille Rap (modificaciones implementadas)</i>	77
Figura 3.31 <i>Diagrama de flujo (algoritmo general Braille Rap)</i>	78
Figura 3.32 <i>Diagrama de flujo (verificación de parámetros)</i>	79
Figura 3.33 <i>Diagrama de flujo (verificación de ingreso)</i>	80
Figura 3.34 <i>Diagrama de flujo (verificación de espacio)</i>	81
Figura 3.35 <i>Diagrama de flujo (verificación de puntos)</i>	82

Figura 3.36 Diagrama de flujo (verificación de guardado).....	83
Figura 3.37 <i>Máquina Sizzix eclips (obtención de su estructura)</i>	83
Figura 3.38 <i>Ubicación de los motores</i>	84
Figura 3.39 <i>Posicionamiento del electroimán</i>	85
Figura 3.40 <i>Ubicación del punzón</i>	86
Figura 3.41 <i>Posicionamiento del punzón</i>	86
Figura 3.42 <i>Fijación del fomi</i>	87
Figura 3.43 <i>Cableado y sujeción</i>	88
Figura 3.44 <i>Sujeción de la estructura</i>	88
Figura 3.45 <i>Ubicación de la placa de control</i>	89
Figura 3.46 <i>Instalación de la cubierta</i>	90
Figura 3.47 <i>Ingreso de la frase para evaluar el dispositivo</i>	92
Figura 3.48 <i>Impresión de la frase a evaluar</i>	93
Figura 3.49 <i>Lectura y evaluación de la impresión</i>	93
Figura 3.50 <i>Lectura del alfabeto, signos de puntuación y matemáticos Braille</i>	94
Figura 3.51 <i>Caracteres Braille y su traducción</i>	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 <i>Código G y M, lista de referencias</i> [28].....	35
Tabla 2.1 <i>Descripción de los materiales que conforman el dispositivo</i>	40
Tabla 3.1 <i>Determinación de los criterios y restricciones para el diseño de la impresora</i>	46
Tabla 3.2 <i>Descripción de cada uno de los elementos que conforman la primera propuesta de diseño</i>	53
Tabla 3.3 <i>Descripción de cada uno de los elementos que conforman la segunda propuesta de diseño</i>	55
Tabla 3.4 <i>Descripción de cada uno de los elementos que conforman la tercera propuesta de diseño</i>	57
Tabla 3.5 <i>Determinación de los criterios con mayor importancia</i>	59
Tabla 3.6 <i>Análisis de cada propuesta según el criterio “Costo”</i>	59
Tabla 3.7 <i>Análisis de cada propuesta según el criterio “Formación de los caracteres”</i> .	60
Tabla 3.8 <i>Análisis de cada propuesta según el criterio “Peso”</i>	60
Tabla 3.9 <i>Análisis de cada propuesta según el criterio “Fácil uso”</i>	60
Tabla 3.10 <i>Características del actuador lineal seleccionado</i> [34].....	62
Tabla 3.11 <i>Características del motor seleccionado</i> [35].....	63
Tabla 3.12 <i>Características del driver seleccionado</i> [37].....	64
Tabla 3.13 <i>Características de la placa de control seleccionada</i> [38].	65
Tabla 3.14 <i>Presentación detallada de los costos que componen el costo total de la impresora</i>	91

INTRODUCCIÓN

Problema

Dentro del contexto actual académico, 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 que provocan un retraso académico y posterior deseo de no continuar aprendiendo; la falta de desarrollo en sus habilidades sociales que desarrolla timidez y baja autoestima en la persona, viéndose reflejado 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 del todo sus habilidades [1].

El sistema de escritura Braille ha permitido a los estudiantes no videntes la posibilidad comunicarse de forma escrita, brindando una 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 percepción y 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 febrero de 2023, se puede apreciar que existe un total de 54.397 personas con discapacidad visual registradas en todo el país. Destacando un porcentaje de 9,47% de niños y jóvenes no videntes en edades de entre 4 a 24 años, años en los cuales realizan su desarrollo académico y personal [3].

En nuestro país, las instituciones educativas realizan esfuerzos por brindar una educación inclusiva y de calidad para las personas no videntes mediante diversas adaptaciones

curriculares, las mismas que son desarrolladas por los docentes y establecimientos; así como también emplean el uso de herramientas tecnológicas que brindan apoyo y facilidades académicas; además, existen leyes y organismos que favorecen y respaldan a las personas no videntes dentro de la educación. Pero a pesar de los esfuerzos anteriormente mencionados, aún no es posible brindar una verdadera educación inclusiva y de calidad para estudiantes con discapacidad visual en las instituciones educativas del país, ya que es necesario un mayor compromiso por parte de docentes y establecimientos para rediseñar las adaptaciones curriculares cada año y adaptarles a las necesidades de los niños y jóvenes con discapacidad; además de que se presentan inconvenientes en la adquisición de herramientas tecnológicas para la enseñanza, debido a los costos elevados que conllevan, provocando que no todas las instituciones pueden acceder a ellas; y aunque existen leyes y organismos que brindan apoyo, aún se presentan barreras de acceso a la comunicación y conocimiento, que constituyen un problema para un desarrollo en igualdad de derechos en la educación y en la sociedad para los estudiantes con discapacidad visual [4].

En la provincia de Imbabura funciona, desde hace más de 13 años, la Asociación de No Videntes de Imbabura - Centro De Apoyo Pedagógico Especial Imbabura, la cual está enfocado en la educación inclusiva de niños y niñas no videntes. Reciben diariamente a más de 15 niños de manera presencial en el establecimiento, además de las clases virtuales que se dictan, para estudiantes de toda Imbabura, con un número de más de 70 estudiantes en toda la provincia. Dentro del centro pedagógico se emplea una metodología personalizada de enseñanza, ya que cada estudiante que llega al establecimiento cuenta con distintas necesidades. Por este motivo gran cantidad del material didáctico es realizado por el personal docente del centro, para que pueda ayudar de manera efectiva en el aprendizaje de cada alumno. Comenzando con las tarjetas del alfabeto en lenguaje Braille, que permite que los niños vayan conociendo y familiarizándose con el sistema de escritura.

Es posible encontrar algunos modelos de impresoras Braille en el mercado con distintas especificaciones, tales como la impresora BASIC-D V5 uno de los pocos grabadores Braille portátiles disponibles; con un diseño ligero, de pequeñas dimensiones y con un precio de 3721,92 USD. Otro ejemplo es la impresora MOUNTBATTEN, una herramienta con un uso mayormente pedagógico, ya que brinda ayuda en el aprendizaje de símbolos y caracteres Braille; a un precio de 2965,11 USD [5].

Ya que el material didáctico como cuentos, tarjetas, pequeños libros, entre otros; es realizado por los miembros del centro pedagógico, no existe mucha variedad de material escrito en lenguaje Braille que fomente las ganas de aprender más en los estudiantes, provocando que los estudiantes lleguen a cansarse e incluso aburrirse; algo que es más visible en los niños más pequeños. Este problema no puede ser atendido actualmente ya que este material posee un difícil acceso para quienes conforman el la Asociación de No Videntes de Imbabura; ya sea por su elevado costo, falta de disponibilidad en el mercado o incluso por la necesidad de traerlo de distintos países.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una impresora Braille de bajo costo.

Objetivos Específicos

- Determinar los requerimientos asociados al diseño de la impresora Braille, con los miembros de la Asociación de no videntes de Imbabura.
- Diseñar los componentes mecánicos y electrónicos de la impresora.
- Construir el prototipo de la impresora Braille.
- Desarrollar el algoritmo para la comunicación entre el computador y la impresora.
- Validar la impresora Braille.

Justificación

La presente investigación se enfocará en la construcción de una impresora Braille, mediante la implementación de diversos mecanismos para su construcción, previamente analizados. Esto se realiza con el motivo de ayudar a la Asociación de No Videntes de Imbabura, ubicada en la ciudad de Ibarra; a incrementar el material didáctico que poseen para la enseñanza del lenguaje Braille. De forma en que puedan disponer de la información que deseen, de una manera mucho más rápida y precisa que al realizarlo de forma manual. Beneficiando a todos los estudiantes, al contar con una mayor cantidad de material escrito, para que puedan incrementar su conocimiento.

Los docentes del Centro Pedagógico tienen la necesidad de adquirir una impresora Braille, que les permita generar los caracteres del lenguaje en forma precisa; ayudando a aumentar la cantidad de material didáctico disponible dentro del instituto y, en consecuencia, fomentando las ganas de aprender en los estudiantes. Pero debido a que las impresoras que realizan esta función, disponibles en el mercado, poseen un precio superior a los 3000 USD y no están disponibles en el país, se ha planteado la construcción de una impresora Braille con un costo mucho menor, utilizando elementos disponibles en el país y que permita solventar dicha necesidad en la institución.

El proyecto contará con el apoyo de la “Universidad Técnica del Norte”, ya que la misma brinda orientación y capacitación necesaria para llevar a cabo el objetivo de la investigación. Logrando ayudar a las personas no videntes de la provincia, a través de la Asociación de No Videntes de Imbabura. Ofreciendo la oportunidad de beneficiar al desarrollo académico y ayudar a superar los obstáculos que supone el difícil acceso a la información por parte de los estudiantes con discapacidad visual.

Posteriormente, la presente investigación dará apertura a futuros trabajos de investigación relacionados a implementar el dispositivo desarrollado, según las diversas necesidades que se puedan presentar en demás Centros Pedagógicos, Fundaciones, Asociaciones y Escuelas en todo el país.

Finalmente, es necesario mencionar que el proyecto tendrá un impacto social positivo en la provincia, ya que ayudará a solventar la necesidad de acceso a la información por parte de docentes encargados de impartir clases a estudiantes no videntes en todo Imbabura. De esta forma contribuyendo en el desarrollo académico de los niños, niñas y jóvenes de la provincia, y en consecuente ayudando a mejorar su calidad de vida.

Alcance

El proyecto tiene como objetivo la construcción de un prototipo de impresora capaz de plasmar los caracteres deseados del lenguaje Braille.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En este capítulo se presentan los trabajos relacionados con anterioridad referentes al tema de estudio, así como también los términos y conceptos.

1.1. Antecedentes

Dentro de los trabajos relacionados al tema, se encuentra el realizado por R. Fernández & P. Llamuca, donde se desarrolla una impresora capaz de plasmar caracteres Braille mediante un sistema percutor que se desplaza por dos ejes, convirtiendo los caracteres ASCII ingresados desde el ordenador a Braille, empleando un solenoide dentro del sistema como parte del punzón para la conformación de los caracteres, mediante la aplicación de una tensión [6].

De la misma forma, C. Vinueza, implementa una impresora Epson LX-300, la cual pasa a ser adaptada como impresora braille mediante el aprovechamiento de la estructura, así como también de los elementos que puedan brindar ayuda en el funcionamiento del dispositivo, a los cuales se les añaden componentes faltantes [7].

Así también, A. Noboa, D. Noboa, E. Tipán & A. Ibarra, presentan la automatización de una máquina de imprimir braille antigua, mediante la opción de poder emplear código binario para trasladar las posiciones de los puntos que conforman los caracteres Braille dentro del signo generador, utilizando lenguaje Java y asignando el valor de uno a los espacios con relieve y cero a los espacios en blanco; además de que posteriormente es posible que el código binario pase a ser representado en decimal, logrando que el microcontrolador pueda reconocer las posiciones de cada punto y así formar los caracteres [8].

También, A. Gamarra & L. Parraguez, realizan el diseño de una impresora 3D que se adapta a las necesidades de los beneficiarios, las cuales fueron obtenidas mediante entrevistas; lo que permitió la selección de la mejor propuesta de diseño y facilitó la implementación del sistema

de movimiento de su impresora, donde el cabezal de extrusión se desplaza sobre el eje X, el mismo que realiza movimiento sobre el eje Z, mientras que la base de impresión se mueve sobre el eje Y (referencia) [9].

Además, X. Cáceres & J. Monge, detallan el proceso de diseño para una máquina de control numérico de bajo costo, capaz de realizar operaciones de fresado y grabado laser con un rendimiento preciso, para lo cual se implementan motores Nema 17 y Nema 23, los cuales se calibran mediante movimientos en diferentes trayectorias y acciones en los 3 ejes, obteniendo las distancias de recorrido y comparándolas con las distancias que se le ordenó al dispositivo; verificando la configuración de los motores paso a paso en casos de discrepancias, y permitiendo así, garantizar tolerancias de 0.6 mm en fresado y 0.2 mm en grabado laser [10].

1.2.Marco Teórico

1.2.1 Lenguaje Braille

El sistema de lectoescritura Braille consiste en un sistema de puntos en relieve, que brinda una herramienta eficiente a las personas no videntes para la lectura y escritura, permitiéndoles acceder a la educación, cultura e información sin necesidad de guiarse por la vista, solo por el tacto. El lenguaje fue ideado en 1825 por Luis Braille, basándose en un sistema de lectoescritura táctil inventado por Charles Barbier de la Serre para transmitir órdenes militares, el cual fue reinventado e implementado mediante 8 puntos, para posteriormente pasar a ser simplificado en 6 puntos [11].

Dicho sistema se compone de seis puntos, los cuales permiten realizar 64 combinaciones diferentes, donde este conjunto es conocido como cajetín braille, el cual se presenta en la Figura 1.1. La presencia o ausencia de puntos permite determinar la letra, símbolo o signo el cual se está plasmando, de esta manera es posible formar el alfabeto, el cual se presenta en la Figura

1.2; además de que un espacio sin punto alguno permite designar un espacio en blanco para separación de caracteres.

Figura 1.1

Cajetín Braille [11].

1 4
2 5
3 6

Figura 1.2

Alfabeto Braille [11].

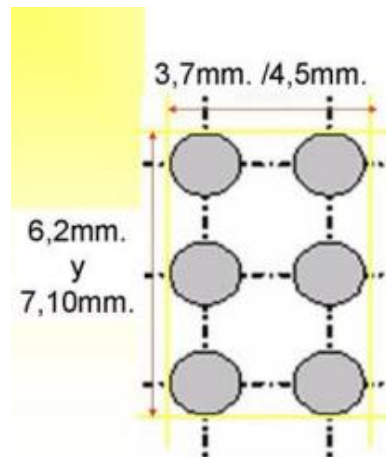
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
u	v	x	y	z	ñ			w	

Dentro de las reglas del lenguaje Braille se comprenden las encargadas de la correcta diferenciación de los caracteres, donde se definen las medidas determinadas para la correcta lectura a través del tacto, y las cuales son distancias medidas desde los centros de cada punto.

A continuación, se presentan las dimensiones y distancias detalladamente:

Figura 1.3

Dimensiones de la celda braille [12].

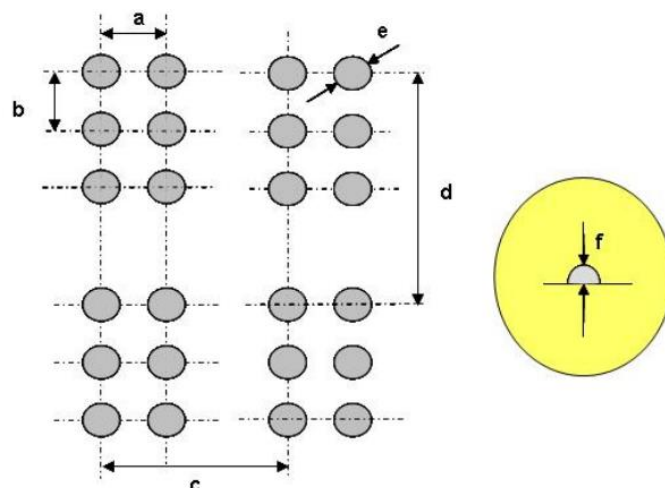


En la Figura 1.3 se mencionan las dimensiones de la celda braille, donde el alto se define entre 6,2 mm hasta 7,1 mm, y el ancho entre 3,7 mm hasta 4,5 mm.

Mientras que en la Figura 1.4 es posible observar las dimensiones entre puntos y cajetines.

Figura 1.4

Dimensiones de los puntos [12].



- a: la distancia entre los centros de puntos de la misma celda de forma horizontal se define entre 2,4 hasta 2,7 mm.

- b: la distancia entre los centros de puntos de la misma celda de forma vertical se define entre 2,4 hasta 2,7 mm.
- c: la distancia entre los centros de los puntos iniciales de cada celda, de forma horizontal se define entre 6 hasta 6,91 mm.
- d: la distancia entre los centros de puntos iniciales de cada celda, de forma vertical se define entre 10 hasta 11,26 mm.
- e: el diámetro de la base de los puntos se define entre 1,2 hasta 1,9 mm.
- f: la altura recomendada de los puntos se define entre 0,5 hasta 0,2 mm.

Además, es necesario mencionar que se pueden variar las dimensiones de los diferentes parámetros, en el caso del espacio en blanco, este posee las mismas dimensiones que un carácter ordinario [12].

1.2.2 Impresoras Braille en el mercado

Dentro del mercado se encuentran algunas opciones disponibles, y a pesar de que el catálogo no es muy amplio, las impresoras que se presentan no pueden ser fácilmente adquiridas en el país y cuentan con un costo bastante elevado. A continuación, se detallan de manera más completa las características de algunos de los modelos presentes.

- **BASIC-D V5**

Tiene la ventaja de ser una impresora braille portátil, y gracias a que posee un diseño ligero, puede llevarse a cualquier sitio. Emplea papel continuo, cuenta con un tamaño compacto y es capaz de plasmar 100 caracteres por segundo; además de que permite imprimir desde dispositivos portátiles. Se comunica mediante USB, Wi-Fi o Bluetooth y es alimentada por 100-240 V AC. Las dimensiones del papel pueden ser ajustables, entre 100-325 mm de ancho y 25-431mm de longitud. Mientras que las dimensiones del

dispositivo son de 52 cm de ancho, 13 cm de altura y posee una masa de 7.6 kg. El dispositivo tiene un precio de €3.295,00 - aproximadamente 3.252,40 USD [13].

En la Figura 1.5 es posible observar la impresora Braille BASIC-D V5.

Figura 1.5

Impresora Braille BASIC-D V5 [13].



- **EVEREST D-V5**

Impresora braille de mayor tamaño, para uso empresarial y comercial. Cuenta con la ventaja de que admite una gran variedad de formatos de papel cortados, logrando imprimir hasta 400 páginas A4 por hora (110 caracteres por segundo); además de que brinda la posibilidad de impresión automática en formato de folletos, en orientación vertical u horizontal, se comunica a través de USB, Wi-Fi o Bluetooth y es alimentada por 100-240 V AC. Las dimensiones del papel pueden ser ajustables, entre 130-297 mm de ancho y 100-590 mm de longitud. Mientras que las dimensiones del dispositivo son de 56 cm de ancho, 45 cm de altura y posee una masa de 12 kg. El dispositivo tiene un precio de € 4.195,00 - aproximadamente 4.142,73 USD [14].

Es posible apreciar la impresora Braille EVEREST D-V5 en la Figura 1.6

Figura 1.6

Impresora Braille EVEREST D-V5 [14].



- **MOUNTBATTEN**

Dispositivo braille que brinda la ventaja de reforzar el reconocimiento de caracteres Braille mediante salida de voz, actividades de pre-braille y juegos; así como también permite a personas videntes conectar un teclado de computador para escribir en Braille. Se comunica a través de USB o Bluetooth y admite formato A4 de papel estándar. Las dimensiones del dispositivo son de 45 cm de ancho, 24 cm de altura, con una masa de 4,7 kg. El dispositivo tiene un precio de € 2.652,00- aproximadamente 2.618,96 USD [15].

El dispositivo se muestra a continuación en la Figura 1.7

Figura 1.7

Impresora MOUNTBATTEN [15].



1.2.3 Actuator lineal

El elemento encargado de formar los caracteres braille mediante la recepción de un impulso, para convertirlo en una acción de empuje se denomina actuador lineal, el cual se encarga de generar movimientos rectilíneos y es capaz de ejercer fuerza y desplazamiento [16].

1.2.3.1 Actuadores lineales electromagnéticos

Son actuadores que permiten facilitar la automatización de procesos ya que se accionan eléctricamente, además de que se pueden instalar en lugares de difícil acceso. Poseen un conductor en forma de bobina, el cual se encuentra alrededor de un émbolo; y cuentan con dos estados (Encendido/Apagado), donde la fuerza aplicada por el mismo se relaciona con el voltaje de sus terminales [17].

- ***Solenoides***

También conocido como bobina, cuenta con un hilo metálico enrollado en un cilindro, que genera un campo electromagnético cuando recibe corriente eléctrica. Se acciona con la variación de la corriente que circula a través del solenoide, produciendo un campo electromagnético que atrae el émbolo móvil; mientras que para que regrese

a su posición original, es necesario dejar de energizar la bobina, logrando que el campo electromagnético desaparezca [18].

En la Figura 1.8 se muestra un solenoide, utilizado para formar los puntos requeridos en los caracteres braille.

Figura 1.8

Solenoide 12V [18].



1.2.4 Motores DC

Son motores que emplean una corriente eléctrica para lograr un movimiento mecánico, transformando la energía eléctrica en energía mecánica. Están compuestos por el estator (parte fija) y el rotor (parte móvil), y cuentan con una bobina formada por espiras colocadas alrededor de un eje; cuando se suministra corriente se generan fuerzas contrarias (hacia arriba y hacia abajo de las espiras), logrando que giren alrededor del eje y obteniendo un torque [19].

1.2.4.1 Motores sin escobillas

También conocidos como motores Brushless, son motores eléctricos DC, que poseen la característica de poder realizar el cambio de polaridad desde sus bobinas, sin la necesidad de contar con escobillas que le permitan realizar la conmutación; este proceso de transferencia de energía se realiza de manera electrónica y a diferencia de los motores con escobillas, estos no

producen rozamiento, tienen un mayor rendimiento y eficiencia, no desprenden calor, generan menos ruido y su vida útil es mucho mayor ya que no se presenta desgaste [20].

- ***Motor paso a paso Nema 17 Híbrido***

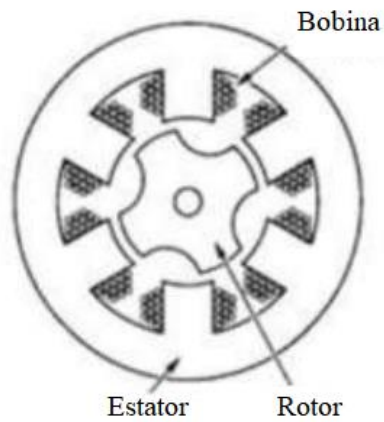
Los motores paso a paso Nema 17 son motores bipolares de precisión, que permiten ubicar una posición o brindar velocidad sin la necesidad de dar vuelta completa al eje del motor; logrando realizar un giro de 360 grados en micro pasos. Cuentan con la ventaja de que no generan gran inductancia en la bobina y por esta razón es posible el paso de corriente a mayor velocidad, resultando en una gran facilidad para el desplazamiento rápido a través de los ejes, en los elementos de dispositivos que necesiten ser precisos [21].

Un motor bipolar está formado por 2 bobinas y 4 terminales (2 por bobina), y su funcionamiento se basa en que al circular corriente por las bobinas del estator se crea un campo magnético, el cual es equilibrado por el rotor de forma magnética al orientar contrariamente sus polos con los del estator; este proceso se realiza cada vez que el estator vuelve a cambiar su orientación de polos, alcanzando un giro indefinido del eje si esto se mantiene; este funcionamiento se puede apreciar en la Figura 1.10. Tienen el beneficio de poder activar más de una bobina a la vez, permitiendo que sea posible contar con un mayor torque, pero haciendo que sea más difícil de controlar [22].

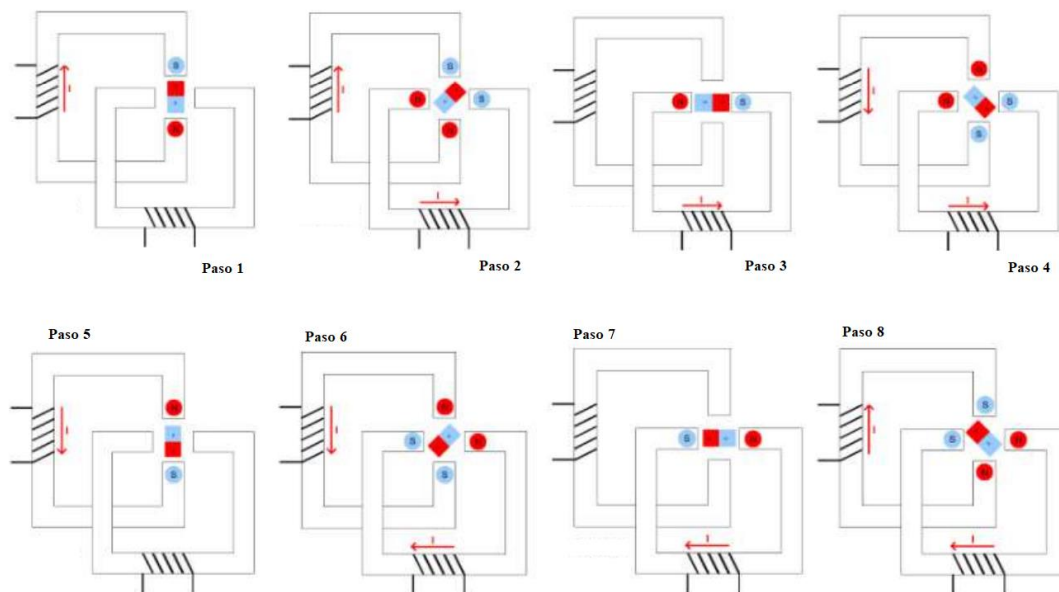
En la Figura 1.9 se observa cómo está formado un motor paso a paso

Figura 1.9

Estructura de un motor paso a paso [22].

**Figura 1.10**

Giro de 360° de un motor paso a paso, empleando pasos de 45° [22].



El motor híbrido combina los principios de motores de imán permanente, contando con imanes en el estator que brindan un flujo magnético sin necesidad de embobinado adicional o una alimentación extra, permitiendo que el rotor gire dentro del campo magnético que generan los imanes [19]; con los de motores de reluctancia variable que poseen bobinas

conectadas a un terminal común, lo cual ayuda a alimentarlas de forma consecutiva siguiendo una secuencia [23].

Es alimentado por 12 V y posee un consumo de 1.7 A por bobinado (bipolar), ejerciendo un torque en el eje de 0,39 N.m y contando con 200 pasos por vuelta (ángulo de paso de 1,8°) [24]. El motor paso a paso antes descrito se observa en la Figura 1.11.

Figura 1.11

Motor paso a paso Nema 17 Híbrido (bipolar) [24].



1.2.5 Placa de control

Encargada del control de los motores de pasos en los ejes X, Y; así como también del actuador en el eje Z. Brindando la alimentación de estos y permitiendo traducir las instrucciones enviadas desde el computador, convirtiendo las coordenadas en caracteres del lenguaje Braille.

- **Makerbase MKS DLC V2.0**

Consiste en una placa de control para 3 ejes fabricada por Makerbase, empresa especializada en sistemas de control de impresión 3D y accesorios necesarios; basada en el chip 328P de Atmel, capaz de alimentar un motor DC de 12V de manera directa en

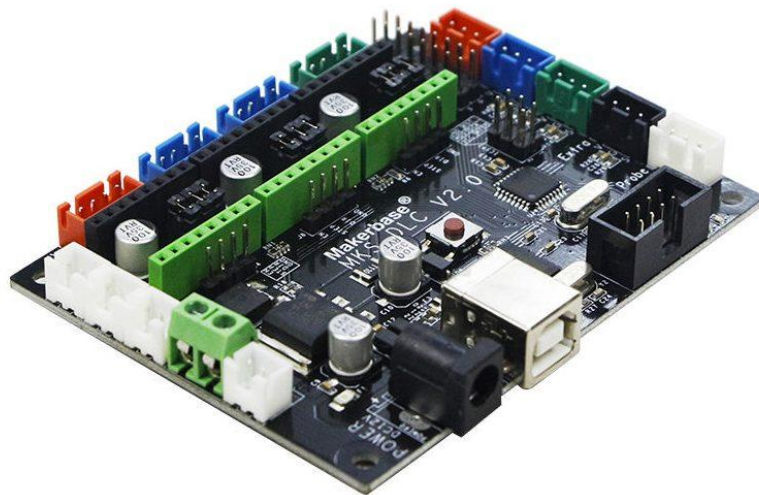
la placa. Cuenta con un procesador Atmega 328P, de 8 bits de bajo consumo basado en la arquitectura RISC (el mismo que un Arduino UNO); se alimenta con 12V y posee unas dimensiones de 90 mm x 70 mm [25].

Dentro de sus especificaciones se presenta que posee soporte para servomotor, finales de carrera, láser, motor DC de 12V y trabaja con motores Nema17 y Nema23 (motor paso a paso); se comunica mediante código G a través de USB y se emplea en operaciones CNC, laser, grabado, dibujo y trazado [26].

La placa Makerbase MKS DLC V2.0 se muestra en la Figura 1.12

Figura 1.12

Placa Makerbase MKS DLC V2.0 [25].



1.2.6 Lenguaje de comunicación

Para el control de los motores paso a paso en los ejes X, Y; así como también del actuador en el eje Z, utilizando la placa de control Makerbase mks dlc v2.0, se emplea el lenguaje de programación de control numérico Código G, para comunicarle las instrucciones al controlador y este a su vez traducirlas hacia los actuadores, logrando movimientos o pulsos en cada eje.

- **Código G y M**

Es un lenguaje de programación de bajo nivel que permite operar máquinas de control numérico, el cual se escribe como un listado secuencial de instrucciones, donde cada una de ellas representa un movimiento o acción que debe realizar el equipo; alcanzando el mecanizado completo de una pieza o elemento al cumplir con todas estas instrucciones. Dentro de los distintos fabricantes de máquinas herramientas pueden variar ciertos códigos, pero existe un estándar para un grupo de comandos el cual es común en todos los equipos; contando de los tipo G (los cuales realizan movimientos con diferentes tipos de avances), y los tipo M (los que trabajan en acciones como cambios de herramienta, sentidos de giro, entre otros) [27].

En la tabla 1.1 se describe de manera más detallada algunos de los códigos generales, utilizados en equipos de control numérico.

Tabla 1.1

Código G y M, lista de referencias [28].

Código G	Función
G00	Posicionamiento en marcha rápida
G01	Interpolación lineal con avance
G02	Interpolación circular (sentido horario)
G03	Interpolación circular (sentido antihorario)
G04	Pausa, acompañada de la letra P para detener la herramienta un tiempo determinado
G10	Establecer punto de referencia
G17	Escoger plano X,Y
G18	Escoger plano Z,X
G19	Escoger plano Z,Y
G21	Definir unidades métricas
G29	Mover a ubicación con un punto de referencia
G44	Compensación de la longitud de la herramienta
Código M	Función
M03	Girar husillo (sentido horario)
M04	Girar husillo (sentido antihorario)
M05	Detener husillo
M06	Cambiar herramienta

1.2.7 Software para comunicación

Permite comunicar el computador con la impresora, mediante el ingreso de textos a través de teclado o pantalla, los cuales son trasladados a coordenadas en Código G y enviadas a la placa de control para que los caracteres Braille sean plasmados. Para lograr este proceso se emplea software de código abierto, el cual tiene disponible su código de forma libre y asequible para todos los usuarios, brindando la posibilidad de ejecutarlo, modificarlo y mejorarlo de forma libre, pero respetando ciertos acuerdos de licencia [29].

1.2.7.1 GitHub

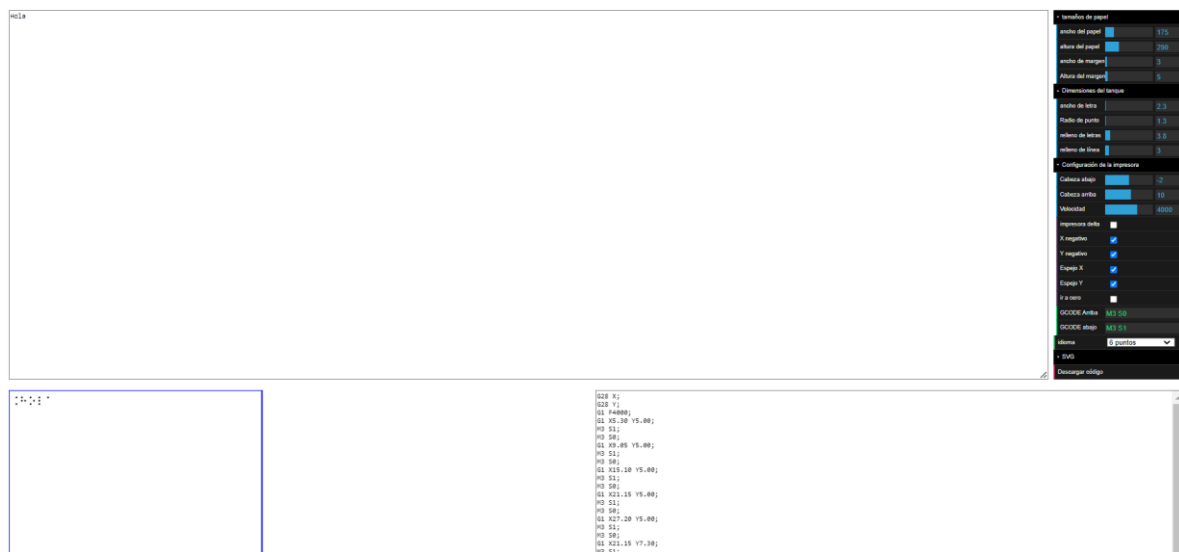
Es un portal que tiene el objetivo de almacenar el código de aplicaciones de cualquier desarrollador alrededor del mundo; conformando una herramienta que ayuda a los usuarios a realizar cambios y colaborar en proyectos compartidos, mediante un sistema de control de versiones. Este servicio basado en la nube permite almacenar el código de nuestras aplicaciones, así como también descargar el realizado por otros desarrolladores para poder aprender sobre él y colaborar en su desarrollo [30].

- ***Braille Rap***

Es una aplicación de código abierto diseñada por el desarrollador Arthur Masson utilizando JavaScript y alojada en el portal GitHub, la cual permite generar Código G para imprimir caracteres Braille; su uso es gratuito y el código fuente está disponible para poder ser adaptado a diversos otros idiomas. Es de fácil aplicación ya que solo se ingresa el texto que a imprimir en lenguaje Braille (ver Figura 1.13) y el software se encarga de generar las coordenadas, además de que se puede modificar parámetros de impresión como el tamaño de la hoja y los márgenes, así como también los espacios y dimensiones de los caracteres, y orientación de los ejes; una vez que todo está definido, se descarga el archivo “.gcode” que constituyen las instrucciones de nuestra impresora [31].

Figura 1.13

Uso de la aplicación “Braille Rap”



- **OpenBuilds CONTROL**

Software de código abierto alojada en el portal GitHub, desarrollado por Peter van der Walt como parte del equipo de OpenBuilds, enfocado en previsualizar, editar, simular y ejecutar Código G, establecer coordenadas cero en nuestros equipos, interactuar con máquinas de control numérico, y configurar el Firmware en placas de control. Cuenta con un interfaz amigable (ver Figura 1.14), lo que hace que el programa sea sencillo de utilizar ya que solo se necesita cargar el archivo “.gcode” e iniciar con la ejecución del mismo [32].

Figura 1.14

Interfaz del software “OpenBuilds CONTROL”

The screenshot displays the OpenBuilds CONTROL v1.0.330 interface for a file named 'braille (13).gcode'. The top navigation bar includes 'Control' and 'Troubleshooting' tabs. Below this, there are buttons for 'OpenBuilds', 'Connect', 'Open G-CODE', and 'Wizards & Tools'. The 'Machine Connection' section shows 'No USB/Serial Ports' and a 'Connect' button. The 'File' section has 'Open G-CODE' and 'Wizards & Tools' buttons.

The main control area features a coordinate display with 'setzero' buttons for X, Y, Z, and XYZ axes, and 'gotozero' for XYZ. The X-axis is set to 0.00, Y to 0.00, and Z to 0.00. To the right are jog controls for X, Y, and Z axes, with 'Incremental Jog' selected. Jog distances are set to 10mm. There are also 'reset' buttons for 'Jog: 100%', 'Feed: 100%', and 'Tool: 100%'. The feed rate is currently at 0mm/min.

The bottom section contains a '3D View' button, a 'Serial Console' button, and a 'GCODE Editor' button. The G-code editor shows the following code:

```

1 G1 F4000;
2 G1 X9.30 Y7.00;
3 M3 S1000 G4 P0.1;
4 M3 S0;
5 G1 X13.05 Y7.00;
6 M3 S1000 G4 P0.1;
7 M3 S0;
8 G1 X21.40 Y7.00;
9 M3 S1000 G4 P0.1;
10 M3 S0;
11 G1 X25.15 Y7.00;
12 M3 S1000 G4 P0.1;
13 M3 S0;
14 G1 X31.20 Y7.00;
15 M3 S1000 G4 P0.1;
16 M3 S0;
17 G1 X33.50 Y7.00;
18 M3 S1000 G4 P0.1;
19 M3 S0;
20 G1 X37.25 Y7.00;
21 M3 S1000 G4 P0.1;
22 M3 S0;

```

The bottom status bar includes buttons for 'Update 3D View', 'Find/Replace', 'Select All', 'Undo', 'Redo', and 'Clear'. The status indicators show: '00h:00m / 00h:00m', 'Port: Not Connected', 'Controller: Pending', and 'Job Queue: 0'.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

En el segundo capítulo se expone el tipo de investigación, así como también los pasos a seguir para completar el presente trabajo.

2.1. Tipo de Investigación

Para el desarrollo del proyecto se emplea la investigación aplicada, ya que el mismo tiene como objetivo solucionar un problema en concreto de la sociedad, siendo en este caso la falta de material didáctico para los estudiantes no videntes de la provincia de Imbabura. Esto se logra mediante la aplicación de los conocimientos adquiridos durante la formación profesional, permitiendo el diseño y construcción de la impresora Braille para la Asociación de No Videntes de Imbabura.

2.2. Nivel de investigación

La investigación se desarrolla a nivel aplicativo ya que plantea la resolución de un problema y a través de esto, mejorar la calidad de vida de un grupo determinado de la sociedad. Teniendo en cuenta la evaluación del resultado del proyecto dentro de la Asociación de No Videntes de Imbabura, para su posterior implementación en otros centros de enseñanza de escasos recursos.

2.3. Materiales

Los materiales que se emplean para la construcción de la impresora Braille se detallan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1*Descripción de los materiales que conforman el dispositivo*

N°	Descripción	Cantidad
1	Estructura máquina electrónica cortadora de formas Sizzix eclips	1
2	Motor paso a paso Nema 17 bipolar	2
3	Solenoides 12V	1
4	Placa de control Makerbase MKS DLC V2.0	1
5	Módulo driver para motores paso a paso A4988	2
6	Fuente de 12V 2A	1
7	Cable USB Tipo B	1
8	Cable puente	10
9	Lámina de fomi	1
10	Perno M3	5
11	Perno de anclaje M3	4
12	Brida plástica	5
13	Cinta Doble Faz	1
14	Base MDF	1
15	Cubierta MDF	1
16	Tapa de acrílico	1
17	Radio de bicicleta	1

2.4. Metodología

A continuación, se detallan todas las fases de forma secuencial en función de los objetivos específicos, así como también las actividades que componen cada una de ellas; con el fin de presentar los pasos que se siguieron para completar el proyecto en su totalidad.

Fase 1: Determinación de los requerimientos de diseño.

Se definen los parámetros necesarios con los que debe contar el dispositivo para su correcto funcionamiento, según las necesidades que poseen quienes conforman la Asociación de No Videntes de Imbabura - Centro De Apoyo Pedagógico Especial Imbabura.

- Actividad 1: Investigación sobre los fundamentos del lenguaje Braille.

A través del curso de Lectoescritura del Sistema Braille, llevado a cabo por personal bibliotecario de la Universidad Técnica del Norte y el curso Lenguajes Inclusivos Punto y Señal, impartido por docentes de la Asociación de No Videntes de Imbabura.

- Actividad 2: Especificación de las características del dispositivo.

Entrevista a la directora y docentes de la Asociación de No Videntes de Imbabura para definir dimensiones, peso y demás propiedades de la impresora.

- Actividad 3: Definición de los parámetros para la impresión de los caracteres Braille.

Según los estándares de dimensiones establecido en el sistema de lectoescritura Braille y el tipo de hojas a utilizar para material didáctico dentro de la Asociación de No Videntes de Imbabura.

- Actividad 4: Análisis de las opciones disponibles en el mercado.

Investigación de las impresoras presentes en el mercado, así como sus características, funcionamiento, precios y facilidad de adquisición dentro del país.

Fase 2: Diseño y selección de los componentes que conforman la impresora.

Se realizan diversas propuestas de diseño del dispositivo tomando en cuenta las necesidades detalladas por el beneficiario; considerando las características, ventajas y desventajas de cada configuración, para definir el diseño óptimo y seleccionar los elementos restantes.

- Actividad 1: Determinación de las especificaciones del sistema a diseñar.

Enfrentando los requerimientos del cliente con los requerimientos técnicos (Casa de la calidad), para analizar los criterios y restricciones, organizar la información, facilitar el proceso de diseño y cumplir con las necesidades del beneficiario.

- Actividad 2: Elaboración de las propuestas de diseño.

Propuestas de diseño realizadas utilizando software CAD 3D (diseño asistido por computadora), con diferentes configuraciones que cumplan con los criterios y restricciones previamente considerados.

- Actividad 3: Selección de la propuesta de diseño.

Utilizando tablas de ponderación de criterios, para analizar la configuración que compone cada propuesta y así garantizar que la escogida sea adecuada y pueda cubrir con las necesidades del beneficiario.

- Actividad 4: Definición de los componentes restantes.

Elementos electrónicos y de control faltantes, que componen la alimentación y conexiones de la impresora con el computador.

Fase 3: Construcción del prototipo de la impresora Braille.

Se verifica el diseño y selección previa, para a continuación iniciar con el ensamble de la impresora juntando todos sus componentes, y finalmente realizar las pruebas de funcionamiento de los actuadores, logrando corregir los inconvenientes que se puedan presentar.

- Actividad 1: Selección de la estructura del prototipo.

Búsqueda de la mejor opción que cumpla con los requerimientos previos y ofrezca un correcto funcionamiento del dispositivo.

- Actividad 2: Ensamble del prototipo.

Juntando la parte electrónica y de control, en la estructura de la impresora; ubicando cada elemento en su lugar según el diseño propuesto.

- Actividad 3: Pruebas de funcionamiento del prototipo.

Verificando la ubicación de los motores, para que el eje Y encargado del desplazamiento de hojas funcione correctamente, así como también el eje X pueda

mover el actuador sin ningún inconveniente, el mismo que debe encontrarse en la posición correcta para desplegar el punzón al ser accionado.

- Actividad 4: Corrección de errores.

Cambios en el prototipo según los inconvenientes presentados durante las pruebas de funcionamiento.

Fase 4: Desarrollo de la comunicación entre la impresora y el computador.

Se analizan los lenguajes que permitan enviar las instrucciones del computador al microcontrolador, seleccionando el más adecuado, así como también el software que permita trabajar con el lenguaje previamente definido; logrando realizar pruebas completas de funcionamiento entre hardware y software.

- Actividad 1: Definición del lenguaje de comunicación.

Investigando los lenguajes y entornos que permitan trabajar con los motores y actuadores de la impresora, verificando el que más se acople al microcontrolador y facilite la generación de caracteres braille.

- Actividad 2: Selección de software para comunicación.

Recopilando información sobre las aplicaciones y programas que permitan trabajar con el lenguaje previamente definido, sean compatibles con el microcontrolador y posean una interfaz amigable para garantizar su fácil aplicación.

- Actividad 3: Verificación de la comunicación.

Conectado el computador con la impresora construida y validando que los textos ingresados desde el ordenador puedan ser plasmados como caracteres braille.

Fase 5: Validación de la impresora Braille.

Se realiza una demostración del funcionamiento del dispositivo junto a la directora y docentes de la Asociación de No Videntes de Imbabura - Centro De Apoyo Pedagógico

Especial Imbabura, verificando que se haya cumplido con sus requerimientos y el funcionamiento de la impresora cumpla con sus necesidades.

- Actividad 1: Designación del texto a plasmar.

Frases, poemas o fragmentos de textos que se deseen ver reflejados en papel, a través de su ingreso por el computador.

- Actividad 2: Impresión Braille.

El texto previamente definido es ingresado a través del computador y comienza el proceso de representarlo en caracteres braille utilizando la impresora Braille.

- Actividad 3: Evaluación de los resultados de impresión.

Los escritos impresos en lenguaje Braille son leídos por los miembros de la Asociación de No Videntes de Imbabura - Centro De Apoyo Pedagógico Especial Imbabura y se garantiza que no exista ningún inconveniente en el contenido de estos, validando el funcionamiento de la impresora Braille.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

En este capítulo se presenta el proceso de diseño, además de los resultados y las pruebas que se realizan para verificar el correcto funcionamiento de la impresora Braille.

3.1. Especificaciones del Sistema

Las diversas entrevistas a los miembros de la Asociación de No Videntes de Imbabura permiten definir las especificaciones con las que debe contar el dispositivo, garantizando que el diseño cumpla de manera acertada con las necesidades del beneficiario.

A continuación, se presentan los requerimientos con los que debe cumplir la impresora:

- Portátil: el dispositivo debe poder ser trasladado a diferentes lugares sin problemas, siendo capaz de ser transportado por cualquier persona.
- No muy pesado: la masa de la impresora no debe superar los 9 kg.
- Fácil de usar: el equipo tiene que ser operado de manera sencilla, garantizando que después de una breve introducción, el texto pueda ser introducido y cargado rápidamente para su impresión.
- Impresión correcta de los caracteres Braille: los caracteres impresos por el dispositivo deben cumplir con los parámetros establecidos por el sistema de lectoescritura Braille.
- De fácil obtención en el país: los diferentes elementos que la componen deben poder ser encontrados dentro del país, para asegurar que cualquier inconveniente en su funcionamiento sea solucionado rápidamente, así como también garantizar que pueda ser replicada con facilidad.
- Bajo costo: el costo final de la impresora no debe superar los 500 USD.

- Fácil mantenimiento: el dispositivo debe contar con facilidad de ensamble y desensamble, permitiendo realizar mantenimientos preventivos o correctivos, para avalar que el funcionamiento siempre sea el óptimo.
- Aceptar diferentes formatos de hoja: el equipo debe poder trabajar con cartulinas utilizadas para la enseñanza del lenguaje Braille, de hasta 224 mm de ancho.
- Equipo robusto: la estructura de la impresora debe soportar el movimiento de los motores y la activación del actuador, asegurando que no existan inconvenientes durante la impresión de los caracteres.

Tras analizar cada uno de los requerimientos que debe efectuar el equipo es posible determinar los criterios y restricciones (ver Tabla 3.1), siendo los primeros los que permiten analizar diversas formas para cumplir de la manera más efectiva con el requisito propuesto, mientras que los segundos son límites o especificaciones con las que se debe cumplir necesariamente durante el proceso de diseño.

Tabla 3.1

Determinación de los criterios y restricciones para el diseño de la impresora

Criterios	Restricciones
Portable	Costo
Materiales	Peso
Dimensiones	Correcta formación de los caracteres Braille
Resistencia	
Robustez	Fácil obtención de sus componentes en el país
Uso del equipo	
Mantenimiento	
Formatos de hoja	

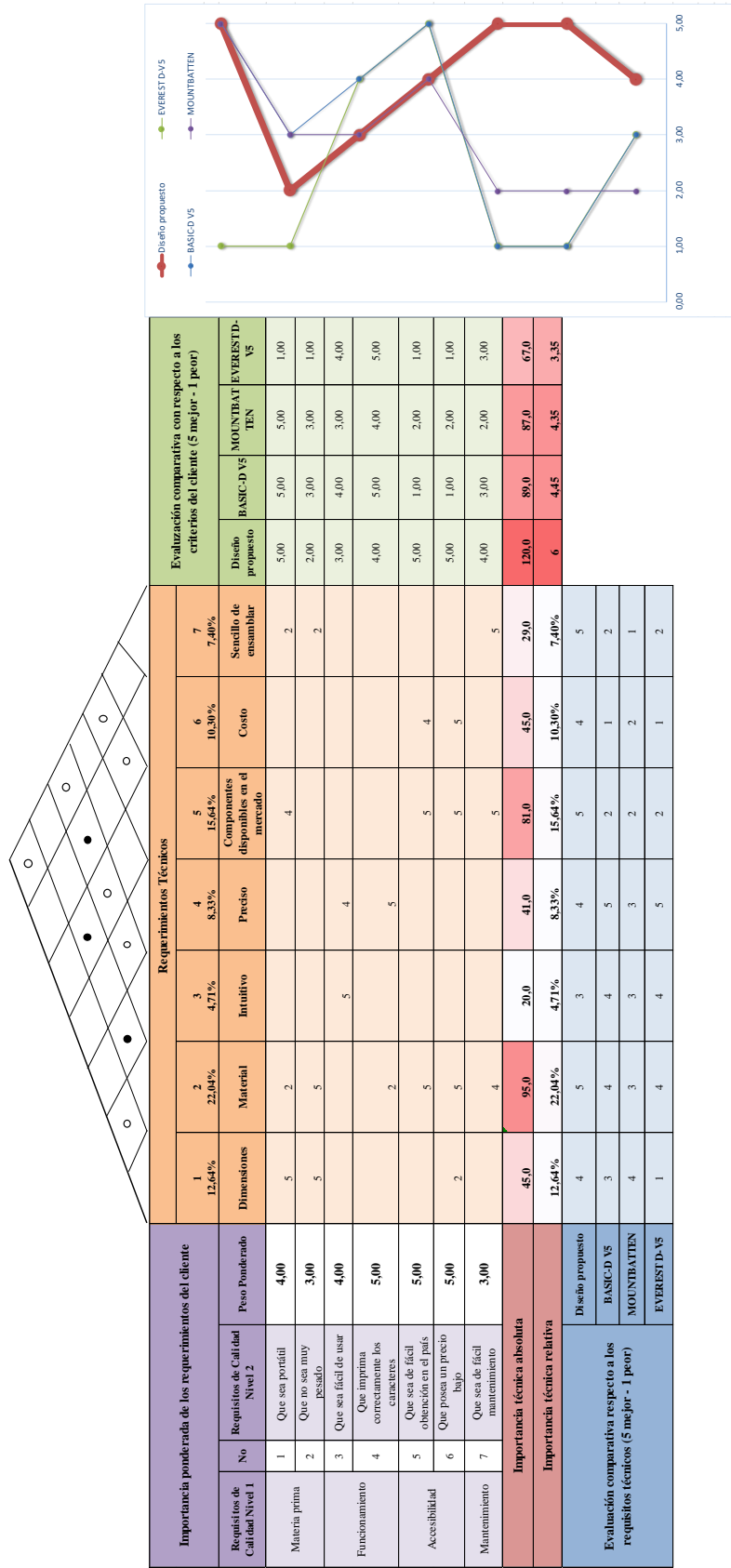
3.1.1. QFD - Casa de la Calidad

El Despliegue de la Función de Calidad (QFD) es un método que permite realizar un proceso de diseño enfocado a satisfacer las necesidades del cliente, el cual se lleva a cabo anteponiendo los requerimientos del beneficiario, empleando soluciones innovadoras e implementando mejoras en los procesos de fabricación; todo esto con el objetivo de facilitar el proceso de diseño y entregar al cliente un producto que supere sus expectativas [33].

Para la aplicación del QFD se emplea la Casa de la Calidad, la cual se conforma de los requerimientos detallados del cliente y los requerimientos técnicos, los mismos que son enfrentados para poder encontrar relaciones; todo esto dentro de la estructura de una casa [33].

A continuación, se expone la aplicación de la Casa de la Calidad dentro del presente proyecto (ver Figura 3.1), con el fin de satisfacer de manera apropiada las necesidades del beneficiario, teniendo en cuenta las opciones de impresoras Braille disponibles en el mercado.

Figura 3.1
Casa de la Calidad



Los requerimientos del cliente se encuentran en la parte izquierda, los cuales han sido obtenidos a través de entrevistas y ha sido posible asignarles un valor ponderado de entre 1 a 5, según la importancia que el beneficiario le da a cada uno de ellos (ver Figura 3.2).

Figura 3.2

Requerimientos del cliente

Importancia ponderada de los requerimientos del cliente			
Requisitos de Calidad Nivel 1	No	Requisitos de Calidad Nivel 2	Peso Ponderado
Materia prima	1	Que sea portátil	4,00
	2	Que no sea muy pesado	3,00
Funcionamiento	3	Que sea fácil de usar	4,00
	4	Que imprima correctamente los caracteres	5,00
Accesibilidad	5	Que sea de fácil obtención en el país	5,00
	6	Que posea un precio bajo	5,00
Mantenimiento	7	Que sea de fácil mantenimiento	3,00

En la Figura 3.3 se encuentran los requerimientos técnicos y la relación entre ellos y los requerimientos del cliente, los cuales se ubican en la parte central de la casa. Para poder convertir estos requerimientos en expresiones de manufactura, se le asigna un valor de entre 0 a 5 según qué tan relacionado se encuentre cada requerimiento del cliente con cada requerimiento técnico.

Figura 3.3*Requerimientos técnicos*

Requerimientos Técnicos						
1 2,25	2 4,75	3 1	4 2,05	5 4,05	6 2,25	7 1,45
Dimensiones	Material	Intuitivo	Preciso	Componentes disponibles en el mercado	Costo	Sencillo de ensamblar
5	2			4		2
5	5					2
		5	4			
	2		5			
	5			5	4	
2	5			5	5	
	4			5		5

En la parte inferior de la casa (ver Figura 3.4) se ubica la importancia que posee cada requerimiento técnico según los pesos ponderados de los requerimientos del cliente (importancia técnica absoluta), así como también la importancia de cada requerimiento técnico sobre la importancia técnica absoluta de todos (importancia técnica relativa). Además de lo antes mencionado, también se encuentra la evaluación del diseño frente a las opciones disponibles en el mercado, asignando valores de entre 1 a 5 con respecto a cada uno de los requerimientos técnicos propuestos.

Figura 3.4*Importancia y evaluación*

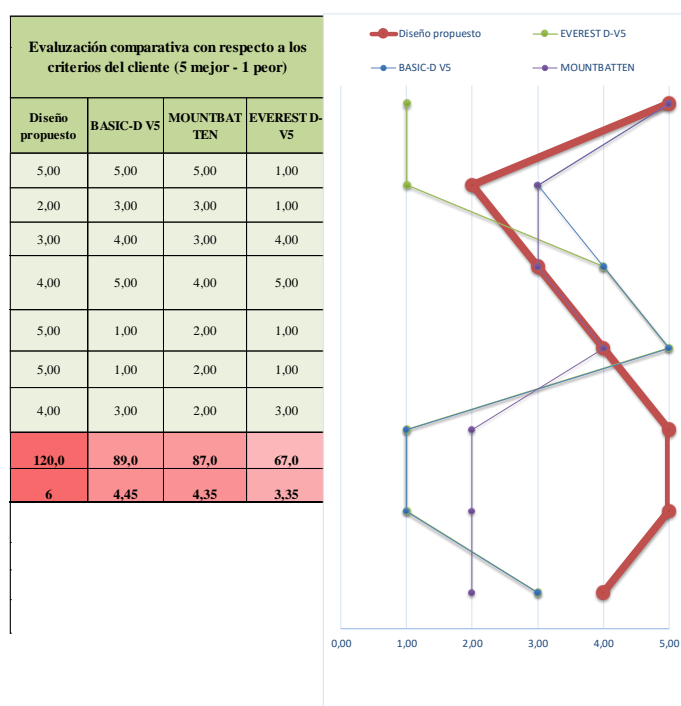
Importancia técnica absoluta		45,0	95,0	20,0	41,0	81,0	45,0	29,0
Importancia técnica relativa		12,64%	22,04%	4,71%	8,33%	15,64%	10,30%	7,40%
Evaluación comparativa respecto a los requisitos técnicos (5 mejor - 1 peor)	Diseño propuesto	4	5	3	4	5	4	5
	BASIC-DV5	3	4	4	5	2	1	2
	MOUNTBATTEN	4	3	3	3	2	2	1
	EVEREST D-V5	1	4	4	5	2	1	2

Finalmente se tiene la matriz de planificación, la cual se ubica en la parte derecha y contiene la evaluación del diseño propuesto, junto a las opciones presentes en el mercado, basándose en los requerimientos del cliente. Esta evaluación se realiza con valores de entre 1 a 5, según la manera en que cada opción cumple con los requisitos; esto da la posibilidad de observar

mediante un gráfico de líneas, cuál de los dispositivos brinda la mejor solución para el beneficiario. Además, se puede analizar la importancia técnica absoluta y la importancia técnica relativa de cada una de las opciones disponibles, según las necesidades que posee el cliente; lo que demuestra las ventajas del diseño propuesto frente a las impresoras disponibles en el mercado.

Figura 3.5

Matriz de planeación



3.2.Propuesta de Solución

Para garantizar que la solución cumpla con las necesidades del beneficiario y sea la más adecuada, se desarrollan 3 propuestas con diferentes configuraciones; dando a paso a una posterior selección de la solución.

3.2.1. Primera propuesta de diseño

La primera propuesta de diseño presenta las siguientes características:

- Cuenta con una estructura formada por barras.

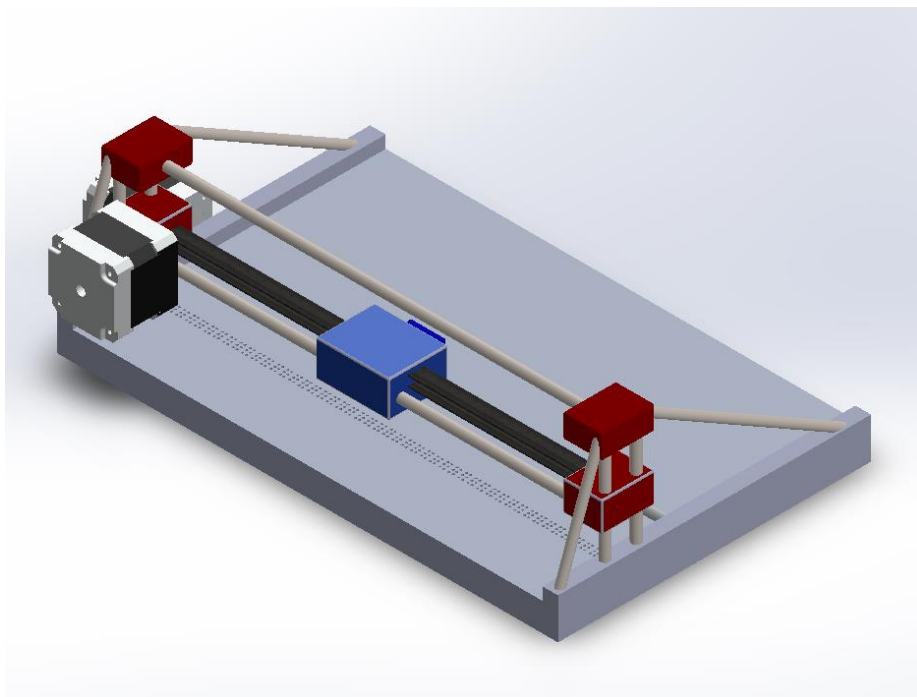
Tabla 3.2

Descripción de cada uno de los elementos que conforman la primera propuesta de diseño

N°	Descripción	Cantidad
1	Varilla Y	1
2	Motor pasos	2
3	Servomotor	1
4	Case servomotor	1
5	Banda X	1
6	Punzón	1
7	Soporte superior	2
8	Soporte inferior	2
9	Varilla X	3
10	Varilla lateral	4
11	Varilla soporte pequeña	2
12	Varilla soporte grande	2
13	Mesa	1

Figura 3.7

Propuesta de diseño 1 completamente ensamblada



3.2.2 Segunda propuesta de diseño

La segunda propuesta de diseño presenta las siguientes características:

- Posee una estructura de aluminio, la cual ha sido aprovechada de una máquina cortadora de fomi que ya no se encuentra en funcionamiento.
- El actuador está formado por un solenoide, el cual se encarga de activar el punzón.
- El sistema de movimiento de hojas se realiza a través de una varilla.
- El sistema de movimiento del actuador se realiza con la ayuda de una banda.
- Posee una cubierta para facilitar su manejo.
- Implementa el uso de fomi para la conformación de los puntos

Es posible observar a detalle cada uno de los elementos que la conforman en la Figura 3.8, los mismos que se describen en la Tabla 3.3, además de que el modelo completo se presenta en la Figura 3.9.

Figura 3.8

Dibujo en explosión (segunda propuesta)

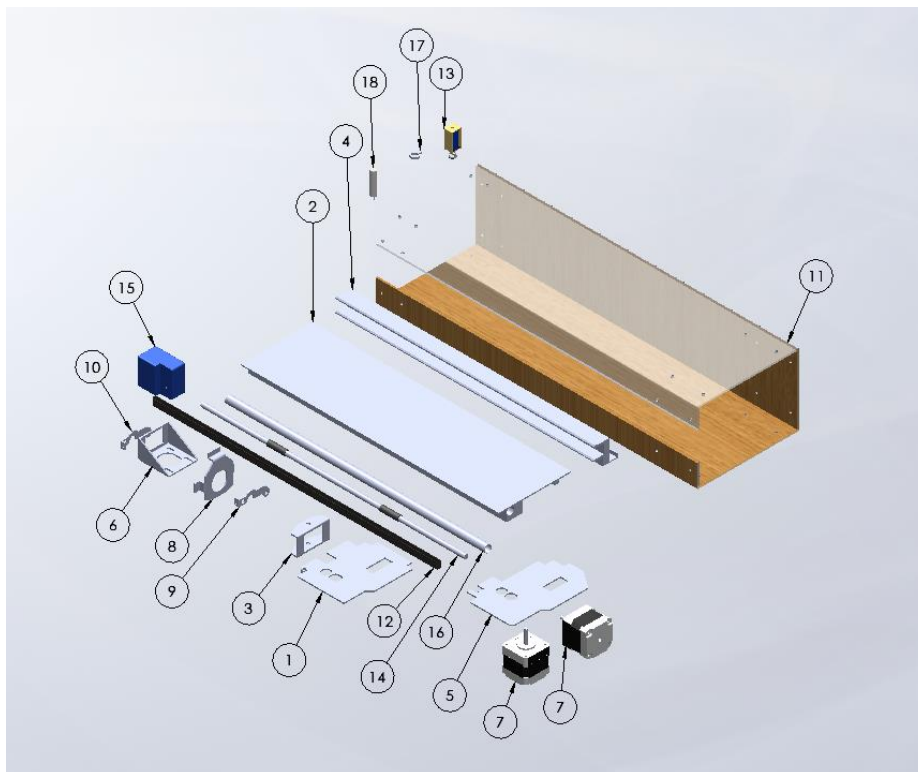


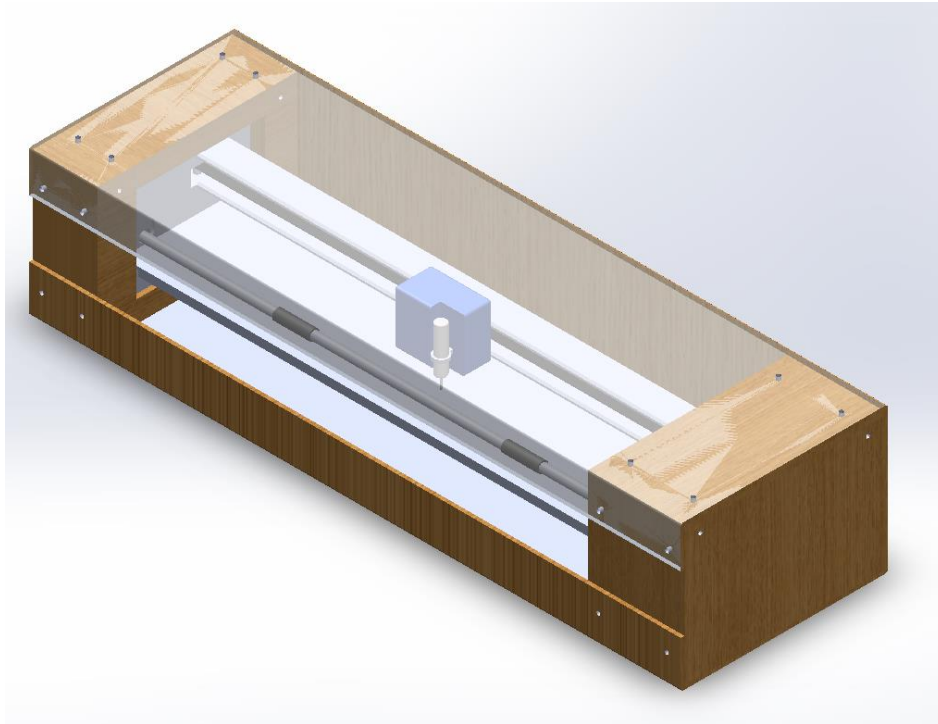
Tabla 3.3

Descripción de cada uno de los elementos que conforman la segunda propuesta de diseño

N°	Descripción	Cantidad
1	Sujetador izquierda	1
2	Base	1
3	Sujetador banda	1
4	Estructura banda	1
5	Sujetador derecha	1
6	Soporte motor X	1
7	Motor pasos	2
8	Soporte motor Y	1
9	Sujetador varilla izquierda	1
10	Sujetador varilla derecha	1
11	Cubierta	1
12	Banda	1
13	Solenoide	1
14	Varilla Y	1
15	Case actuador	1
16	Varilla motor	1
17	Sujetador actuador	1
18	Punzón	1

Figura 3.9

Propuesta de diseño 2 completamente ensamblada

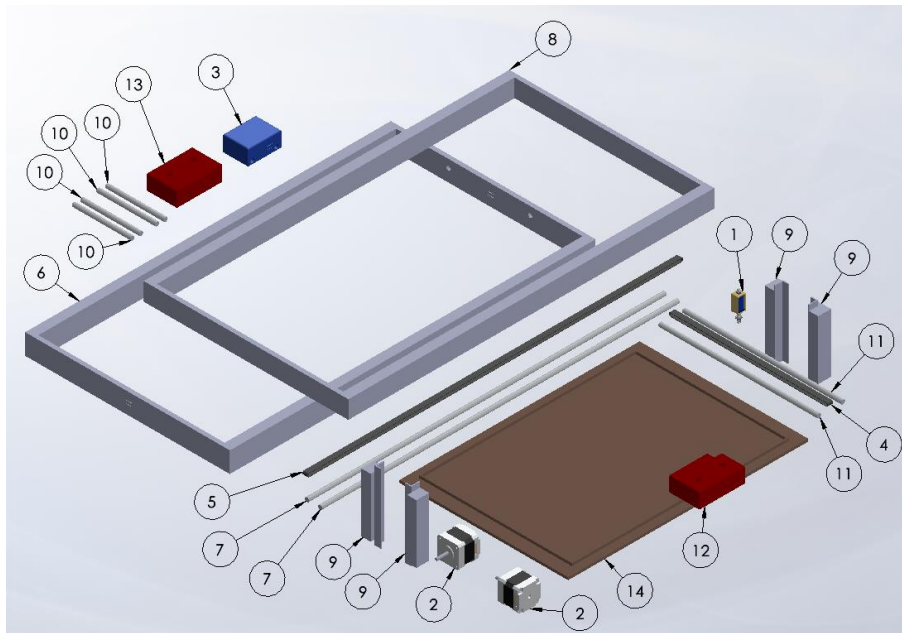


3.2.3 Tercera propuesta de diseño

La tercera propuesta de diseño presenta las siguientes características:

- Cuenta con una estructura tipo caja, formada por perfiles.
- La hoja se sujeta en la base directamente.
- El actuador está formado por un solenoide, el cual se encarga de activar el punzón.
- Los soportes para la estructura se realizan en impresión 3D.
- El sistema de movimiento de hojas se realiza a través del movimiento de la propia base.
- El sistema de movimiento del actuador se realiza con la ayuda de una banda.

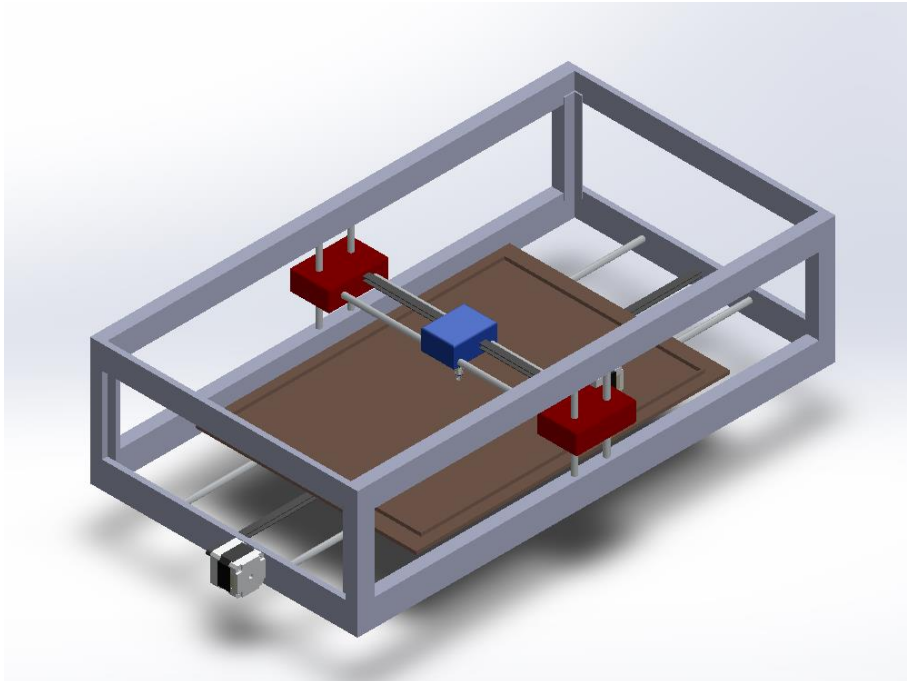
Se presenta detalladamente cada uno de los elementos que conforman esta propuesta (ver Figura 3.10), los cuales están descritos completamente en la Tabla 3.4, y el modelo ensamblado se muestra en la Figura 3.11.

Figura 3.10*Dibujo en explosión (tercera propuesta)***Tabla 3.4***Descripción de cada uno de los elementos que conforman la tercera propuesta de diseño*

N°	Descripción	Cantidad
1	Solenoide	1
2	Motor pasos	2
3	Case actuador	1
4	Banda X	1
5	Banda Y	1
6	Base	1
7	Varilla Y	2
8	Cubierta	1
9	Soporte lateral	4
10	Varilla lateral	4
11	Varilla X	2
12	Soporte izquierda	1
13	Soporte derecha	1
14	Mesa	1

Figura 3.11

Propuesta de diseño 3 completamente ensamblada



3.3. Selección de la Mejor Solución

Para garantizar que la propuesta de diseño seleccionada sea la más adecuada según los criterios propuestos, se emplean tablas de ponderación de criterios (ver Tabla 3.5), las cuales nos permiten enfrentar todos los requerimientos entre sí, para poder encontrar cuales tienen mayor prioridad según las necesidades del cliente. Todo esto se evalúa designando valores de entre 0 a 1, siendo 1 si el criterio de la columna es mucho más relevante que el de la fila, 0,5 si los dos tienen el mismo nivel de importancia y 0 si el criterio de la columna es de mayor importancia que el de la fila.

A continuación, para obtener el valor ponderado de cada criterio, se realiza una sumatoria y se calcula su valor de importancia dentro de un total de 1; esto se realiza con el objetivo de encontrar los criterios de mayor peso y poder así, seleccionar la propuesta de diseño que cumpla de mejor manera con ellos.

Tabla 3.5*Determinación de los criterios con mayor importancia*

	Portabilidad	Peso	Fácil uso	Formación de los caracteres	Obtención de sus elementos	Costo	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Portabilidad		0,5	0,5	0	0,5	0	0,5	3	0,11
Peso	0,5		0,5	0	1	0	1	4	0,14
Fácil uso	0,5	0,5		0	0,5	0	1	3,5	0,13
Formación de los caracteres	1	1	1		1	0	1	6	0,21
Obtención de sus elementos	0,5	0	0,5	0		0	0,5	2,5	0,09
Costo	1	1	1	1	1		1	7	0,25
Mantenimiento	0,5	0	0	0	0,5	0		2	0,07
SUMA								28	1,00

Una vez aplicada la tabla de ponderación de criterios, se puede concluir que los criterios con mayor importancia son: costo, formación de los caracteres, peso y facilidad de uso. De esta manera, es posible continuar con la evaluación de cada propuesta según los criterios antes mencionados.

En la Tabla 3.6 se evalúan las 3 propuestas de diseño, teniendo en cuenta el criterio de mayor peso, el cual es el costo del dispositivo. Es posible observar que la propuesta 2 se encuentra por encima de las otras restantes.

Tabla 3.6*Análisis de cada propuesta según el criterio "Costo"*

Costo	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Propuesta 1		0	0,5	1,5	0,25
Propuesta 2	1		1	3	0,5
Propuesta 3	0	0,5		1,5	0,25
SUMA				6	1

Al considerar el segundo criterio de mayor peso, se puede concluir que las propuestas 2 y 3 cuentan con igual ponderación, por encima de la propuesta 1 (ver Tabla 3.7).

Tabla 3.7

Análisis de cada propuesta según el criterio “Formación de los caracteres”

Formación de los caracteres	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Propuesta 1		0	0	1	0,17
Propuesta 2	1		0,5	2,5	0,42
Propuesta 3	1	0,5		2,5	0,42
SUMA				6	1

Para la Tabla 3.8, se puede obtener que, considerando el peso del equipo la propuesta 1 se ubica por encima de las otras dos.

Tabla 3.8

Análisis de cada propuesta según el criterio “Peso”

Peso	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Propuesta 1		1	1	3	0,5
Propuesta 2	0		0,5	1,5	0,25
Propuesta 3	0	0,5		1,5	0,25
SUMA				6	1

Finalmente, al evaluar el criterio de facilidad de uso, la propuesta 1 posee un peso ponderado superior a las demás propuestas de diseño (ver Tabla 3.9).

Tabla 3.9

Análisis de cada propuesta según el criterio “Fácil uso”

Fácil uso	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Propuesta 1		0	0,5	1,5	0,25
Propuesta 2	1		1	3	0,5
Propuesta 3	0,5	0		1,5	0,25
SUMA				6	1

Tras analizar cada uno de los criterios y evaluar las propuestas de diseño presentadas, se concluye con la selección de la propuesta 1, ya que cumple de forma idónea con los requerimientos que presenta el beneficiario.

3.4. Especificaciones de la Solución

Para exponer la solución es necesario especificar la selección de sus componentes, así como también los sistemas que la conforman; de esta manera presentando en su totalidad a la impresora Braille.

3.4.1. Selección de Componentes y Software

La solución está compuesta de diversos elementos, los mismos que son seleccionados basándose en los criterios y restricciones de diseño. A continuación, se presentan de manera detallada:

3.4.1.1. Selección del actuador lineal

Para la conformación de los caracteres Braille es necesario un actuador que permita presionar el punzón contra la cartulina, esto al ser activado y retorne inmediatamente al desactivarse; con la fuerza necesaria para que los puntos se formen según los parámetros definidos en el lenguaje. Con esto en mente se selecciona un electroimán de 12V DC (ver Figura 3.12), el cual posee un bajo costo, puede ser adquirido fácilmente y brinda la fuerza necesaria para plasmar correctamente los caracteres Braille.

Figura 3.12

Electroimán (solenoides 12V) [34].



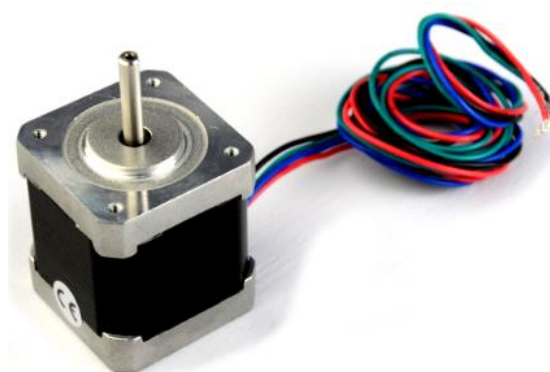
Sus especificaciones se presentan a continuación, en la Tabla 3.10:

Tabla 3.10*Características del actuador lineal seleccionado [34].*

Especificación	Descripción
Serie	HCNE1-1039
Fuerza de atracción	25 N
Voltaje	12V DC
Corriente	1.2A
Desplazamiento	10 mm al accionarse
Diámetro del eje	10 mm
Tipo de accionamiento	Contracción lineal
Dimensiones	83 x 27 x 20mm (con el eje extendido)

3.4.1.2. Selección de los motores

Los desplazamientos a través de los ejes deben realizarse de manera precisa, en pequeñas y grandes distancias por igual; para lo cual, son necesarios giros en sentido horario y antihorario en su totalidad, así como también facilidad en su control. Los motores paso a paso Nema 17 bipolares (ver Figura 3.13) cumplen con estos requerimientos, ya que disponen del torque necesario para el movimiento en cada eje, su control es sencillo y al contar con 1,8°/paso, permiten cubrir las pequeñas distancias existentes entre cada uno de los puntos que conforman cada cajetín Braille.

Figura 3.13*Motor paso a paso Nema 17 bipolar [35].*

En la Tabla 3.11 pueden observarse las características completas de los motores paso a paso:

Tabla 3.11

Características del motor seleccionado [35].

Especificación	Descripción
Serie	42HS40-1704
Torque	0,39 N.m
Voltaje	12 V DC
Corriente	1.7 A
Pasos	200 pasos por vuelta (1,8°/paso)
Tipo	Bipolar de 4 hilos
Masa	0,28 kg

3.4.1.3. Selección del módulo driver para motores paso a paso

Al tener seleccionados los motores, es necesario un componente que permita tomar una señal de entrada y convertirla en movimiento del motor, mediante una amplificación de corriente para su alimentación. Considerando esto, el módulo driver A4988 (ver Figura 3.14) permite trabajar con motores paso a paso bipolares de hasta 2A y controlarlos para los movimientos necesarios en la generación de caracteres Braille. Sus características se presentan en la Tabla 3.12.

Figura 3.14

Módulo driver A4988 [36].

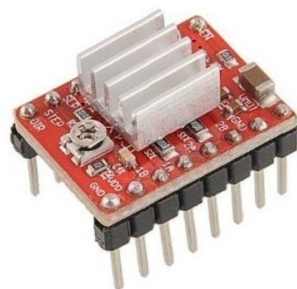


Tabla 3.12

Características del driver seleccionado [37].

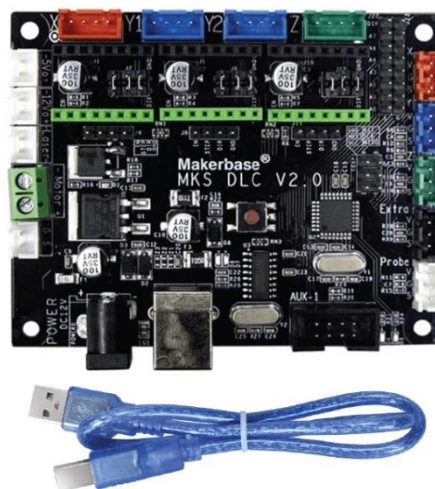
Especificación	Descripción
Serie	A4988
Fabricante	Allegro
Voltaje de operación	8-35V
Corriente de salida	Hasta 2A
Pasos seleccionables	Full, 1/2, 1/4, 1/8 y 1/16
Número de pines	16

3.4.1.4. Selección de la placa de control

Debido a la precisión con la que el punzón debe recorrer pequeñas distancias en la formación de cada punto, la placa de control debe permitir trabajar fácilmente con un lenguaje de control numérico, ya que de esta manera es posible asegurar el cumplimiento de los parámetros dispuestos dentro del lenguaje Braille. La placa de control Makerbase MKS DLC V2.0 (ver Figura 3.15) trabaja con CódigoG, ya que está enfocada a emplearse en equipos CNC y cortadoras laser; además facilita la alimentación de los motores y se encuentra en el país.

Figura 3.15

Placa de control Makerbase MKS DLC V2.0 [38].



Sus características se presentan en la Tabla 3.12, a continuación:

Tabla 3.13

Características de la placa de control seleccionada [38].

Especificación	Descripción
Serie	MKS-GBRL
Fabricante	Makerbase
Voltaje	12 V
CPU	Atmega 328P
Dimensiones	90 x 70mm
Masa	0,051 kg

3.4.1.5. Selección de la estructura

La estructura debe ser robusta, capaz de soportar a todos los elementos previamente seleccionados y garantizar el funcionamiento de cada uno de los sistemas involucrados en la formación de los caracteres Braille. Además, siendo este componente el de mayor costo dentro de la impresora, la solución es la selección de la estructura de un dispositivo que ya haya cumplido su vida útil, pero pueda ser aprovechado y cubra los parámetros anteriormente mencionados. Para el desarrollo del proyecto se selecciona la estructura de la máquina electrónica cortadora de formas Sizzix eclips (ver Figura 3.16), la cual opera de la misma manera que una impresora convencional, pero ya no se encuentra en funcionamiento.

Figura 3.16

Máquina electrónica cortadora de formas "Sizzix eclips" [39].

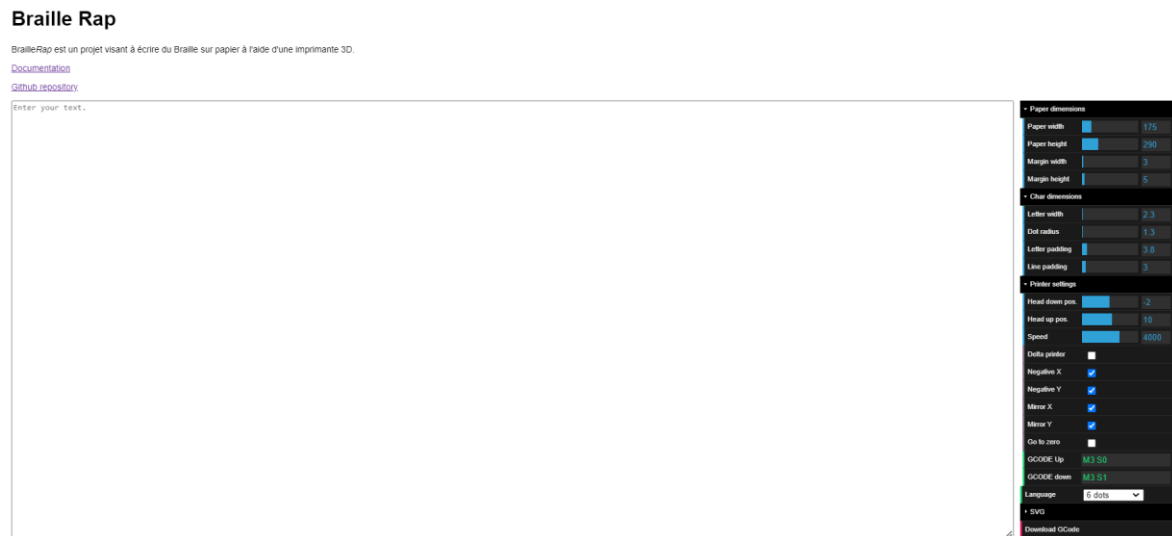


La estructura de la máquina cortadora Sizzix eclips, cuenta con las siguientes características necesarias para el funcionamiento de la impresora Braille:

- Admite diferentes dimensiones de hojas (hasta formato A3).
- Robustez necesaria para soportar las pulsaciones realizadas por el punzón.
- Acoplamiento del sistema encargado de mover las hojas en el eje Y.
- Desplazamiento del punzón en el eje X.
- Sujeción del punzón para su activación en el eje Z.

3.4.1.6. Selección del software

La aplicación debe poder convertir el texto ingresado en lenguaje de control numérico, interactuar de manera sencilla con el usuario y ser de código abierto para permitir modificaciones e implementaciones necesarias. Braille Rap (ver Figura 3.17) cumple con estos requerimientos, además de que su código está escrito en JavaScript, lo que facilita los cambios necesarios a realizar para el correcto funcionamiento de la impresora Braille.

Figura 3.17*Aplicación Braille Rap***3.4.2. Especificación de los Sistemas**

La solución consta de tres sistemas, cada uno se encarga de una tarea en específico, pero en conjunto completan su funcionamiento y logran la formación de los caracteres Braille en la cartulina.

3.4.2.1. Sistema de desplazamiento del actuador

Este sistema se encarga de desplazar el actuador dentro del eje X, para posicionar al punzón y formar cada uno de los puntos que se encuentran en una determinada fila. La acción se realiza de derecha a izquierda para la primera fila, de izquierda a derecha para la segunda y de regreso para la tercera, conformando así un cajetín. Esto se ejecuta según el carácter Braille y el número de estos dentro de la hoja, a través de los pasos que gira el motor.

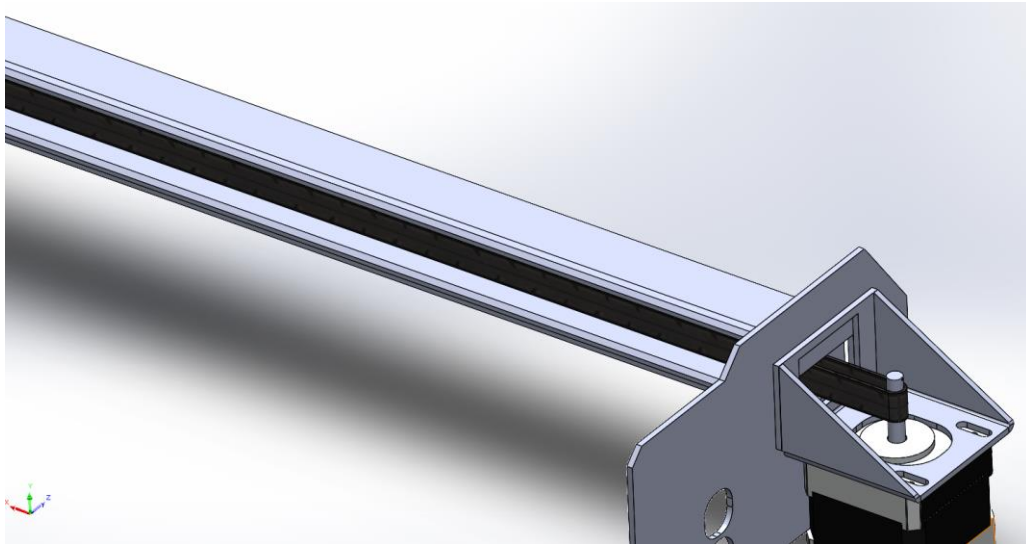
El sistema de desplazamiento del actuador (ver Figura 3.18) está conformado por:

- Motor paso a paso Nema 17
- Correa GT2 banda dentada para impresora 3D

- Estructura Sizzix eclips

Figura 3.18

Sistema de desplazamiento del actuador

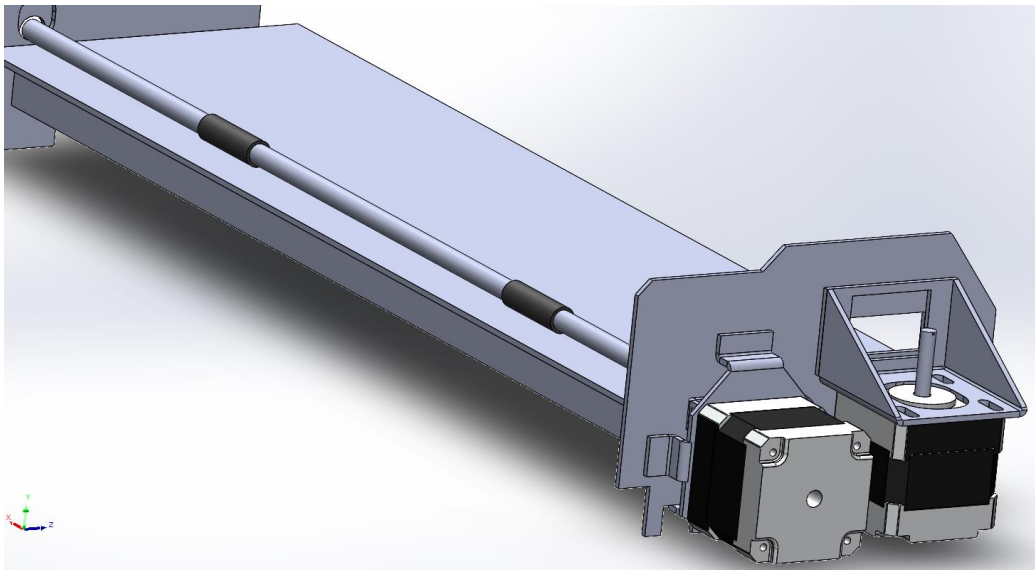


3.4.2.2. Sistema para movimiento de la hoja

Es el que permite que la cartulina pueda ingresar o salir de la impresora, realizando este movimiento en el eje Y. El sistema tiene la función de posicionar y sujetar al papel bajo el actuador, para permanecer en dicha posición hasta que todos los puntos dispuestos en la fila se hayan conformado; una vez que esto se cumple el motor gira, la cartulina se mueve y el actuador se coloca sobre una nueva columna para completar otra fila.

El sistema para movimiento de la hoja (ver Figura 3.19) está constituido por:

- Motor paso a paso Nema 17
- Varilla lisa para impresora 3D 8mm
- Estructura Sizzix eclips

Figura 3.19*Sistema para movimiento de la hoja***3.4.2.3. Sistema de activación del punzón**

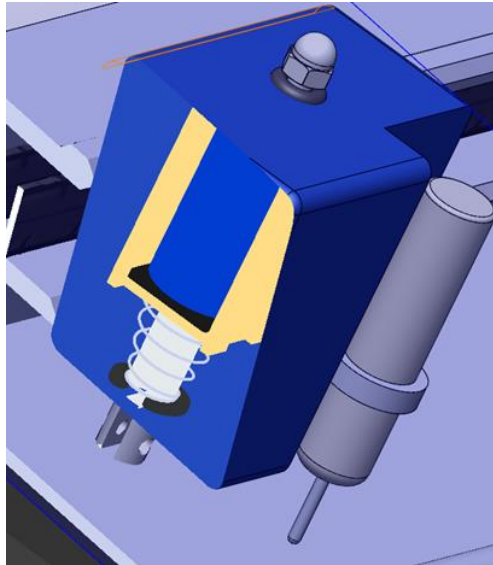
Encargado del despliegue y retracción del punzón a lo largo del eje Z durante la formación de los puntos, permitiendo que cada uno de ellos sea generado a través de la fuerza instantánea ejercida por el actuador durante su presión contra el fomi, el mismo que se encuentra bajo la cartulina. Este sistema actúa cuando el punzón se encuentra ubicado en la fila y columna correspondiente, energizando el solenoide para la formación del punto y regresando a su estado inicial para continuar con su desplazamiento hacia la siguiente coordenada.

El sistema de activación del punzón (ver Figura 3.20) se encuentra compuesto por los siguientes elementos:

- Solenoide de 12 V
- Punzón
- Case para solenoide
- Fomi
- Estructura Sizzix eclips

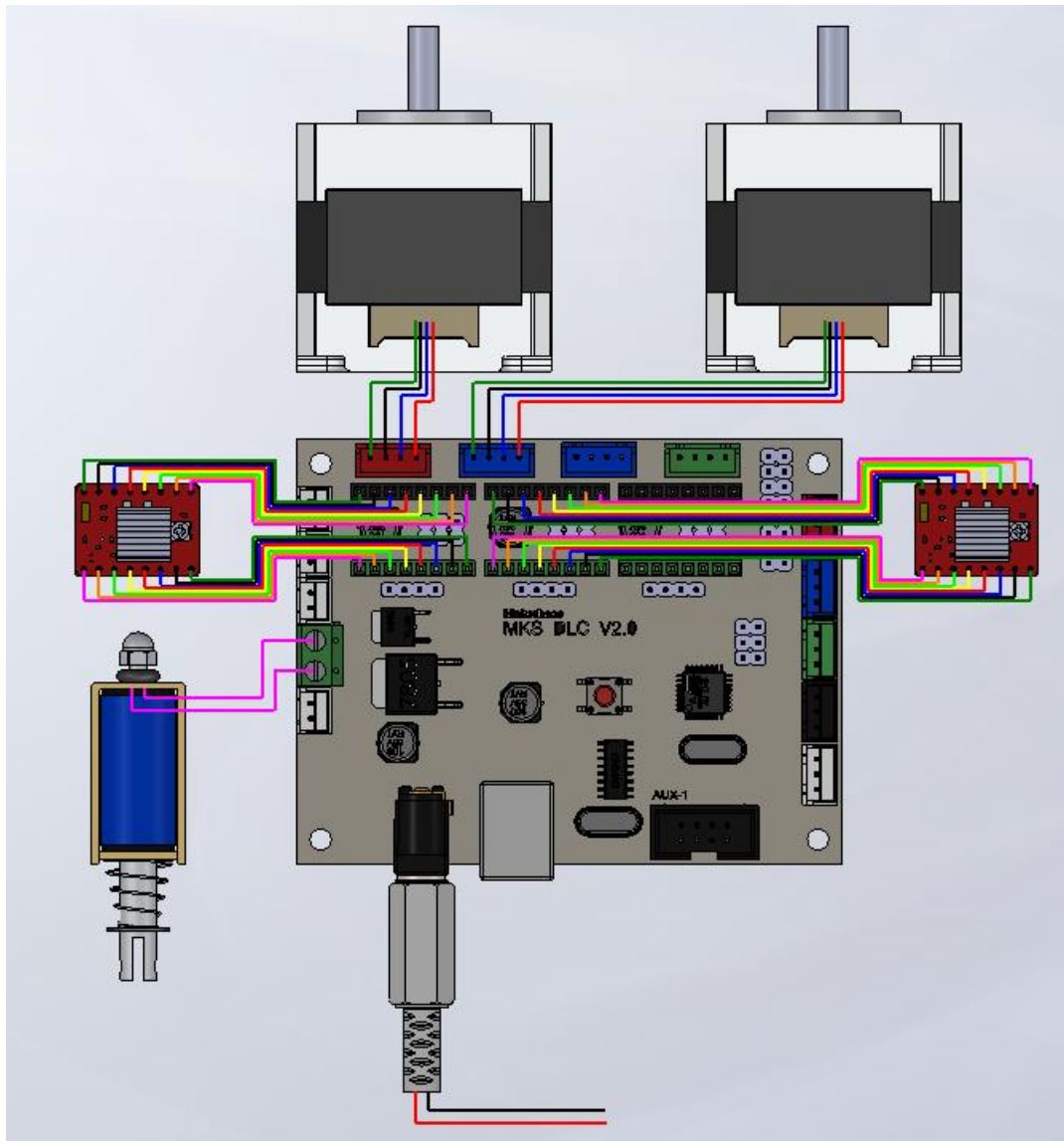
Figura 3.20

Sistema de activación del punzón

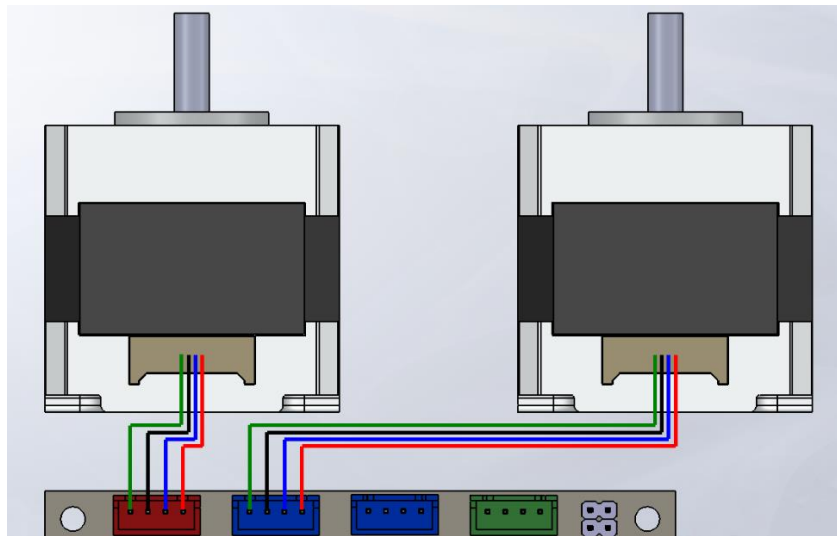


3.4.3. Control de los Sistemas

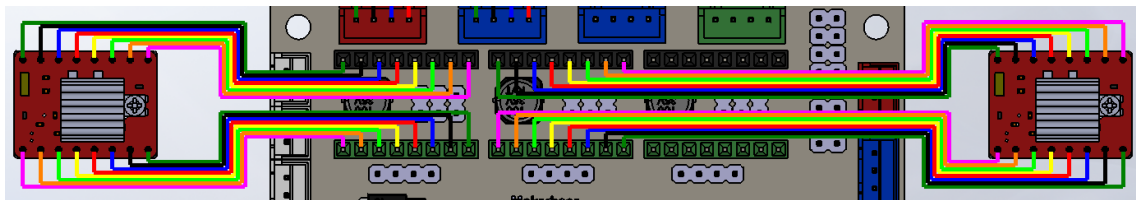
La placa Makerbase MKS DLC V2.0 es la encargada del control de cada uno de los sistemas, a través de las instrucciones enviadas desde el computador utilizando lenguaje de programación de control numérico (Código G). Este componente trabaja con 12 V DC y permite la alimentación de los motores paso a paso y el solenoide, los mismos que deben conectarse como se muestra en la Figura 3.21 donde se presenta el diagrama de conexiones de forma completa

Figura 3.21*Diagrama de conexiones*

Siendo la conexión de los motores paso a paso realizada siguiendo el patrón de colores que se muestra en la Figura 3.22, teniendo en cuenta que el primero corresponde al eje X y el segundo al eje Y.

Figura 3.22*Conexión motores paso a paso*

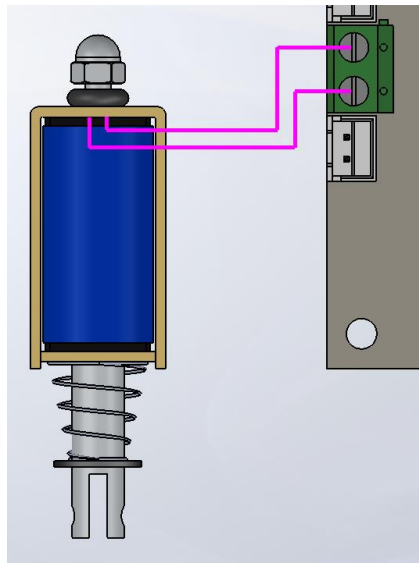
Mientras que para los módulos driver A4988 se sitúan los pines como se observa en la Figura 3.23, tomando en cuenta la orientación del tornillo, el cual se ubica hacia la parte derecha.

Figura 3.23*Conexión módulos driver A4988*

Finalmente, para el actuador lineal no existe problema alguno en el orden de conexión ya que no posee polaridad (ver Figura 3.24).

Figura 3.24

Conexión solenoide 12V



3.4.4. Comunicación entre el Computador y la Impresora

Para lograr que los textos ingresados desde el computador puedan ser plasmados como caracteres Braille a través de la impresora, se emplea la aplicación Braille Rap (ver Figura 3.25), la cual permite convertir letras del alfabeto en coordenadas correspondientes a cada uno de los puntos que componen un cajetín. Esta herramienta se encuentra disponible en GitHub y al poseer una licencia de código abierto permite la modificación de su código fuente, algo que es indispensable para el desarrollo de este proyecto, ya que actualmente su interfaz se encuentra en inglés, no cuenta con el ingreso de números y símbolos en su totalidad, y los caracteres braille en idioma español no están disponibles.

Figura 3.25

Braille Rap (aspecto original)



Braille Rap se encuentra escrito en JavaScript y la primera modificación a realizar es el cambio de idioma en su interfaz (ver Figura 3.26), el cual se encuentra dentro del archivo “script.js”, e incluye parámetros como las dimensiones del papel, dimensiones de los caracteres braille, configuraciones para el funcionamiento de la impresora y descarga del Código G resultante.

Figura 3.26*Modificación en el idioma de la aplicación*

```

616 //CAMBIO DEL IDIOMA A ESPAÑOL Y SE OCULTAN ALGUNOS PARAMETROS DE IMPRESIÓN INNECESARIOS
617 let paperDimensionsFolder = gui.addFolder('Dimensiones del papel');
618 createController('paperWidth', 1, 1000, null, paperDimensionsFolder, 'Ancho del papel');
619 createController('paperHeight', 1, 1000, null, paperDimensionsFolder, 'Altura del papel');
620 createController('marginWidth', 0, 100, null, paperDimensionsFolder, 'Ancho de margen');
621 createController('marginHeight', 0, 100, null, paperDimensionsFolder, 'Altura del margen');
622 paperDimensionsFolder.open();
623
624 let charDimensionsFolder = gui.addFolder('Dimensiones de caracteres');
625 createController('LetterWidth', 1, 100, null, charDimensionsFolder, 'Ancho de letra');
626 createController('dotRadius', 1, 30, null, charDimensionsFolder, 'Radio de punto');
627 createController('LetterPadding', 1, 30, null, charDimensionsFolder, 'Espacio letras');
628 createController('LinePadding', 1, 30, null, charDimensionsFolder, 'Espacio líneas');
629 charDimensionsFolder.open();
630
631 let printerSettingsFolder = gui.addFolder('Configuración de la impresora');
632 //createController('headDownPosition', -150, 150, null, printerSettingsFolder, 'Head down pos. ');
633 //createController('headUpPosition', -150, 150, null, printerSettingsFolder, 'Head up pos. ');
634 createController('speed', 0, 6000, null, printerSettingsFolder, 'Velocidad');
635 //createController('delta', null, null, null, printerSettingsFolder, 'Delta printer');
636 createController('invertX', null, null, null, printerSettingsFolder, 'X Negativo ');
637 createController('invertY', null, null, null, printerSettingsFolder, 'Y Negativo ');
638 createController('mirrorX', null, null, null, printerSettingsFolder, 'Espejo X');
639 createController('mirrorY', null, null, null, printerSettingsFolder, 'Espejo Y');
640 createController('goToZero', null, null, null, printerSettingsFolder, 'Ir a cero');
641 createController('GC0DEup', null, null, null, printerSettingsFolder, 'CódigoG arriba');
642 createController('GC0DEdown', null, null, null, printerSettingsFolder, 'CódigoG abajo');

```

La siguiente modificación se centra en los valores ingresados por defecto en los parámetros de dimensiones de hoja, caracteres y activación del actuador (ver Figura 3.27), ya que se implementan para una hoja A4, con márgenes de 5 mm, espacio entre líneas de 5 mm y el código utilizado para activación del punzón es M3 S1000 G4 P0.1 (activación y pausa de 0,1s para que el actuador se despliegue completamente). Estos valores pueden ser modificados manualmente desde la interfaz, en caso de que se requiera parámetros distintos.

Figura 3.27*Modificación valores por defecto*

```

13   let braille = {
14     marginWidth: 5,
15     marginHeight: 5,
16     paperWidth: 210,
17     paperHeight: 297,
18     letterWidth: 2.3,
19     dotRadius: 1.25,
20     letterPadding: 3.75,
21     linePadding: 5,
22     headDownPosition: -2.0,
23     headUpPosition: 10,
24     speed: 4000,
25     delta: false,
26     goToZero: false,
27     invertX: true,
28     invertY: true,
29     mirrorX: true,
30     mirrorY: true,
31     svgStep: 2,
32     svgDots: true,
33     svgPosX: 0,
34     svgPosY: 0,
35     // svgScale: 1,
36     language: "6 dots",
37     GCODEup: 'M3 S0',
38     GCODEdown: 'M3 S1000 G4 P0.1',
39     usedotgrid: false,
40
41   };

```

Dentro del mismo archivo también se cambian parámetros relacionados a la implementación del lenguaje de control numérico (ver Figura 3.28), garantizando que el número de despliegues del actuador sea el correcto para la formación de puntos completamente legibles.

Figura 3.28*Modificación en la implementación del lenguaje de control numérico*

```

131   let gcodeprintdot = function () { //AUMENTO EN LOS PULSOS
132     let s = braille.GCODEdown + '\r\n';
133     s += braille.GCODEup + '\r\n';
134     s += braille.GCODEdown + '\r\n';
135     s += braille.GCODEup + '\r\n';
136     s += braille.GCODEdown + '\r\n';
137     s += braille.GCODEup + '\r\n';

```

Finalmente, dentro del archivo braille 6 se añade el idioma español (ver Figura 3.29), agregando las vocales tildadas, la letra ñ, los números del 0 al 9 y símbolos necesarios para operaciones matemáticas y de puntuación.

Figura 3.29*Implementación del idioma español*

```

61 ":", [2,5],
62 "¡": [2,3,5],
63 "í": [2,3,5],
64 "(", [1,2,6],
65 "): [3,4,5],
66 "": [3],
67 "-": [3,6],
68 "/": [3,4],
69 "•": [3,5],
70 "+": [2,3,5],
71 "=": [2,3,5,6],
72 "0": [2, 4, 5],
73 "1": [1],
74 "2": [1, 2],
75 "3": [1, 4],
76 "4": [1, 4, 5],
77 "5": [1, 5],
78 "6": [1, 2, 4],
79 "7": [1, 2, 4, 5],
80 "8": [1, 2, 5],
81 "9": [2, 4],
82 "[": [1, 2, 3, 5, 6],
83 "]": [2, 3, 4, 5, 6],
84 "@": [5],
85 "<": [2, 4, 6],
86 ">": [1, 3, 5],
87 "#": [3, 4, 5, 6],
88 "^": [1, 6],
89
90 "á": [1, 2, 3, 5, 6],
91 "à": [1, 6],
92 "ç": [1,2, 3, 4, 6],
93 "é": [2, 3, 4, 6],
94 "í": [3, 4],
95 "ê": [1, 2, 6],
96 "è": [1, 2, 4, 6],
97 "ì": [1, 4, 6],
98 "ï": [1,2, 4, 5, 6],
99 "ó": [3, 4, 6],
100 "ú": [2, 3, 4, 5, 6],
101 "ü": [1, 5, 6],
102 "û": [1, 2, 5, 6],
103 "ñ": [1, 2, 4, 5, 6],

```

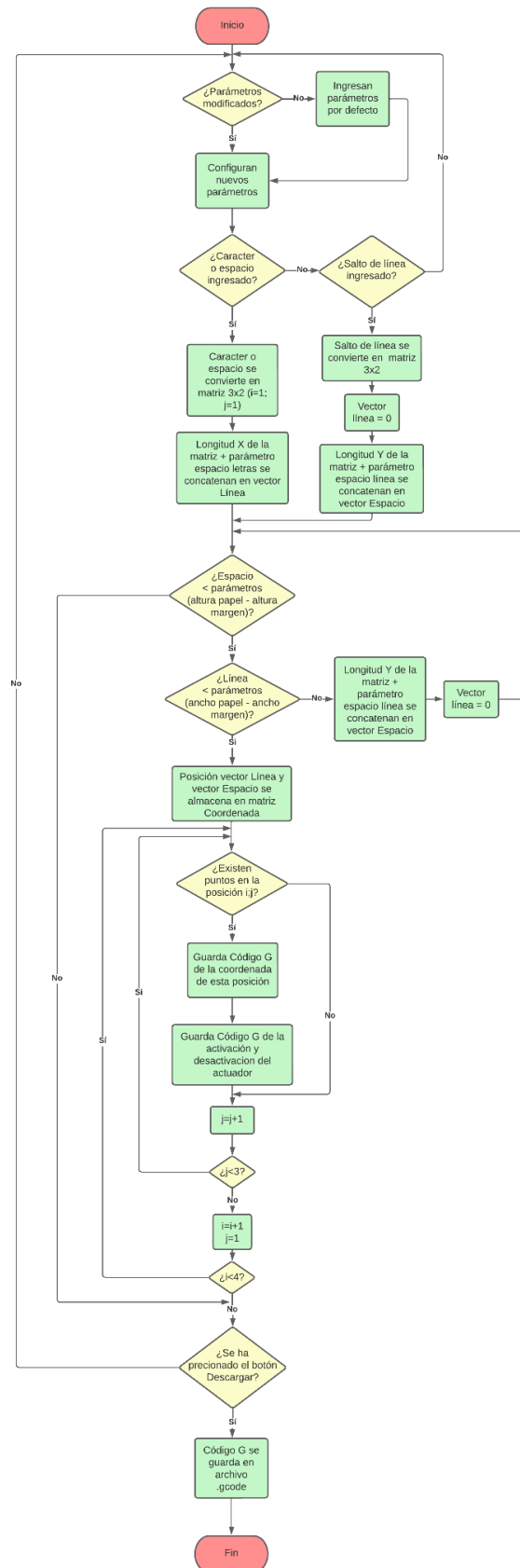
En la Figura 3.30 se puede apreciar el cambio dentro de la interfaz de Braille Rap una vez que se han implementado las modificaciones.

Figura 3.30*Braille Rap (modificaciones implementadas)*

De forma completa, se presenta en la Figura 3.31 el diagrama de flujo correspondiente al algoritmo general de la aplicación, donde se detalla la estructura y funcionamiento de esta.

Figura 3.31

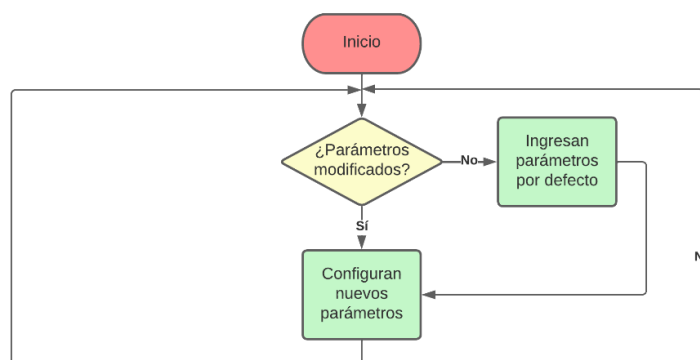
Diagrama de flujo (algoritmo general Braille Rap)



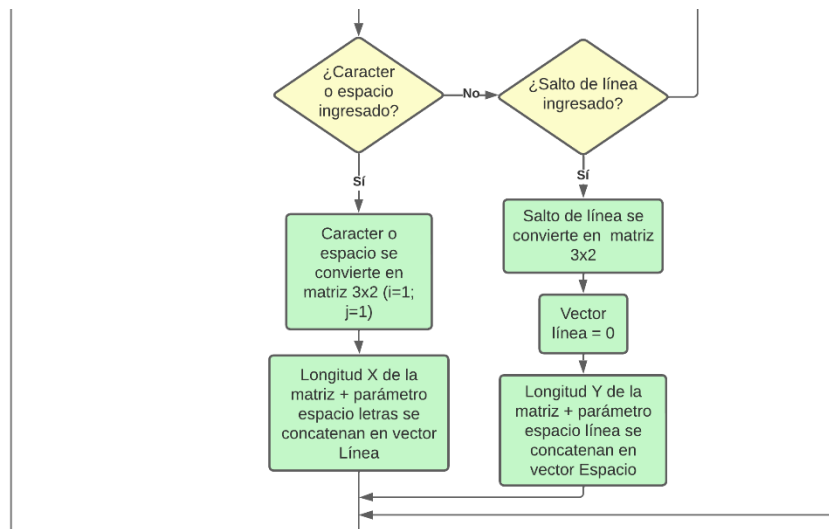
Donde al iniciar (ver Figura 3.32), la aplicación verifica si se han cambiado los parámetros de dimensiones de papel (ancho, alto y márgenes), parámetros de dimensiones de los caracteres (espacios entre letras y líneas), o parámetros para configurar la impresora. Almacenando una nueva configuración en caso de haber cambios o utilizando los que se encuentran definidos por defecto, esto si no se presentan modificaciones.

Figura 3.32

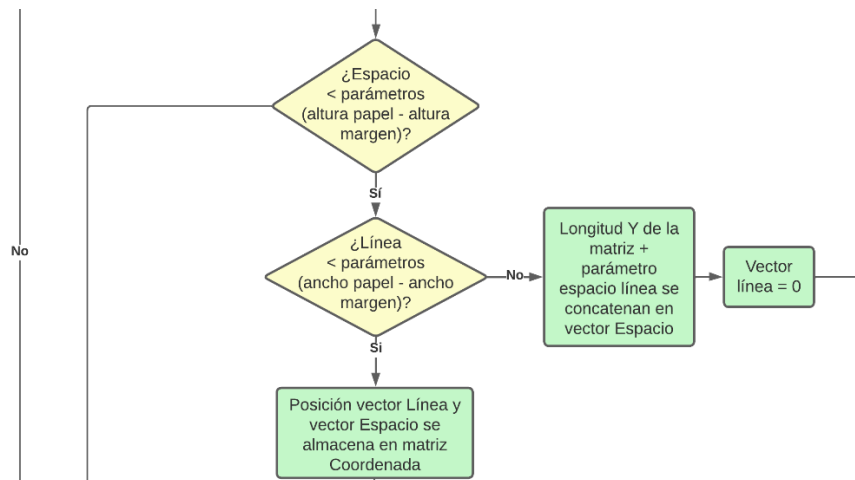
Diagrama de flujo (verificación de parámetros)



A continuación, se identifica si se ha ingresado un carácter (letra, número o símbolo) o un espacio en blanco (ver Figura 3.33); en caso de ser así, este pasa a conformar una matriz de 3x2, para a continuación almacenar su longitud junto al parámetro espacio entre letras, dentro del vector encargado de controlar la dimensión de las líneas. En caso contrario, se verifica si se ha ingresado un salto de línea, resultando en una matriz 3 x 2 con su longitud almacenada junto al parámetro espacio de línea dentro del vector que controla la cantidad de líneas dentro de la hoja, además de reiniciar el valor del vector Línea. Pero en caso de que no existan caracteres, espacios o saltos de línea, se vuelve a verificar los parámetros.

Figura 3.33*Diagrama de flujo (verificación de ingreso)*

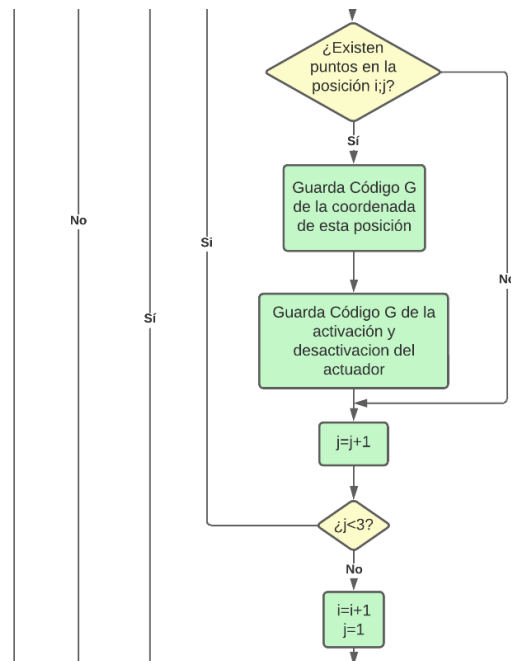
El siguiente paso es comprobar el espacio disponible en la hoja (ver Figura 3.34), iniciando con el espacio para una nueva línea, el mismo que compara el vector Espacio (eje Y) con el parámetro de altura del papel teniendo en cuenta el margen. Si esto no se cumple pasa a analizar si el código G ha sido descartado, pero si aún existe espacio en la hoja se comprueba que esté disponible el espacio dentro de la línea, comparando el vector Línea (eje X) con el parámetro ancho del papel teniendo en cuenta el margen; pasando a guardar los valores de los vectores X, Y en una matriz encargada de controlar las coordenadas si se ha cumplido la verificación anterior, pero si no lo ha hecho se almacena la longitud de la matriz junto al parámetro espacio de línea dentro del vector que controla la cantidad de líneas en la hoja, además de reiniciar el valor del vector Línea para poder pasar a una nueva comprobación de espacio.

Figura 3.34*Diagrama de flujo (verificación de espacio)*

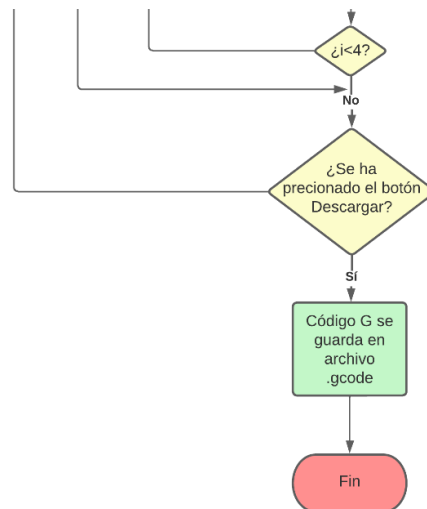
Seguido, se tiene la verificación de los puntos que existen dentro de la matriz 3x2 al comparar la letra con el carácter braille correspondiente a la misma (ver Figura 3.35), de tal forma en que se comprueba la primera fila y primera columna; si se presenta un punto en dicha posición se almacena el código G de la coordenada X, Y que se encuentra en la matriz Coordenada, así como también el código de activación y desactivación del actuador, pasando a incrementar el contador y verificar así la siguiente columna, lo que también ocurre en caso de que no exista un punto en esta posición. Después, se comprueba que el número de columna sea menor que 3, ya que si lo es vuelve a realizar el mismo proceso, de otro modo se incrementa el contador de la fila para pasar a la siguiente y se reinicia el número de columna.

Figura 3.35

Diagrama de flujo (verificación de puntos)



Finalmente, se constata si se ha guardado el código G (ver Figura 3.36), revisando primero que el número de filas sea menor que 4, si esto es así se vuelve a la verificación de puntos, pero si no lo es se comprueba que el botón Descargar haya sido presionado, pasando a guardar el archivo perteneciente a todo el código G generado y terminando el programa. Si no se ha accionado el botón, se vuelve al inicio hasta la verificación de parámetros.

Figura 3.36*Diagrama de flujo (verificación de guardado)*

3.5. Construcción del Dispositivo

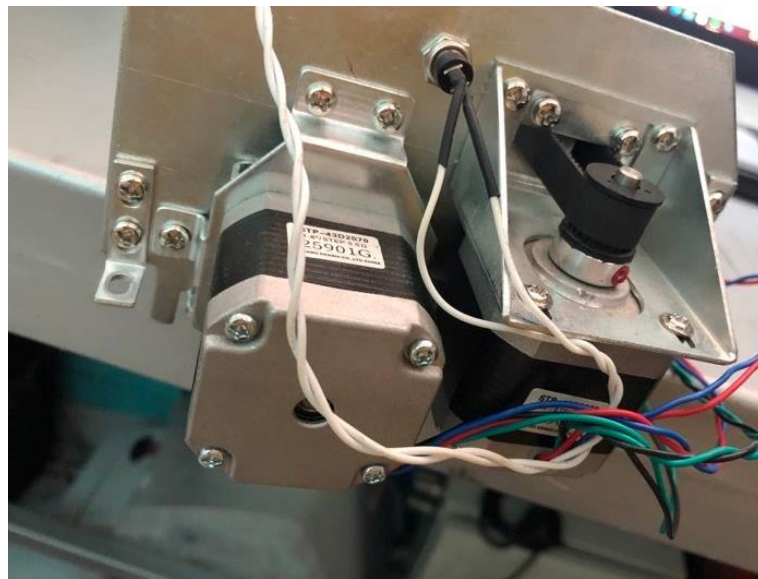
El primer paso dentro de la construcción del dispositivo es la obtención de la estructura, la misma que se encuentra dentro de la máquina electrónica cortadora de formas Sizzix eclips que ya no se encuentra en funcionamiento (ver Figura 3.37). Para ello es necesario realizar una limpieza profunda de la máquina, además de la desconexión de cables que aún se encuentran dentro de esta.

Figura 3.37*Máquina Sizzix eclips (obtención de su estructura)*

Una vez retirada la estructura de la máquina es posible ubicar los motores Nema 17 (ver Figura 3.38), los cuales se sujetan aprovechando los soportes que posee el lateral derecho. El motor correspondiente al eje X se conecta con la varilla encargada del ingreso de hojas, mientras que el del eje Y con la banda que permite el movimiento del actuador.

Figura 3.38

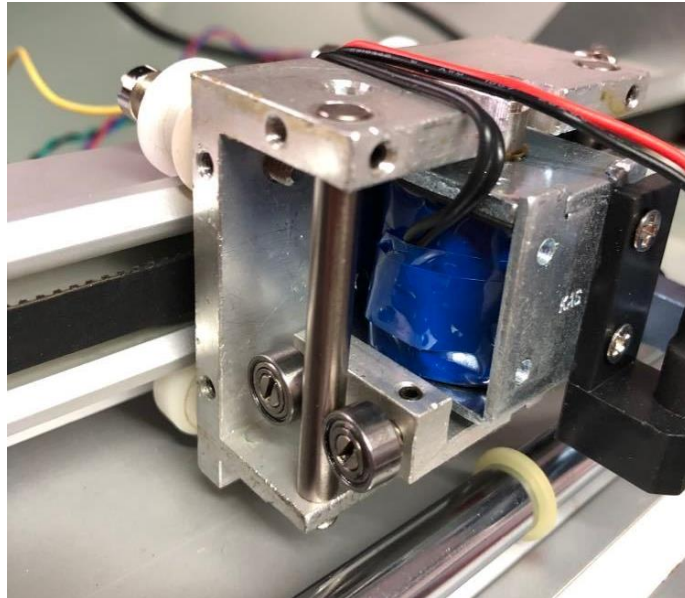
Ubicación de los motores



A continuación, se posiciona el solenoide de 12V (Ver Figura 3.39), retirando su carcasa y el vástago, dejando únicamente la bobina. Este componente se ubica en la estructura, dentro del carro que realiza los cortes de fomi para la máquina Sizzix eclips.

Figura 3.39

Posicionamiento del electroimán



El siguiente paso es la construcción y sujeción del punzón, para lo cual se emplea radios o rayos de bicicleta, realizando un corte y redondeo de punta de este, basando su forma en un punzón utilizado para la enseñanza del lenguaje Braille. La longitud del punzón es de 4,5cm ya que se ubica dentro del case de la cuchilla para corte de fomi (ver Figura 3.40), y es necesario que entre la hoja y la punta exista una distancia de aproximadamente 2mm para la correcta formación de los puntos.

Figura 3.40

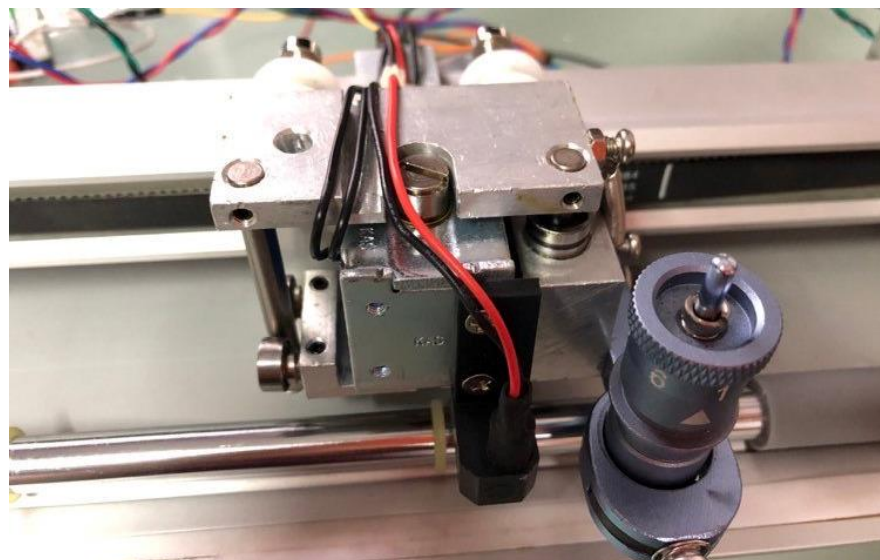
Ubicación del punzón



Después de contar con el punzón, este se posiciona junto al solenoide (Ver Figura 3.41), sujetándose bien en la estructura y asegurando su distancia por encima del papel.

Figura 3.41

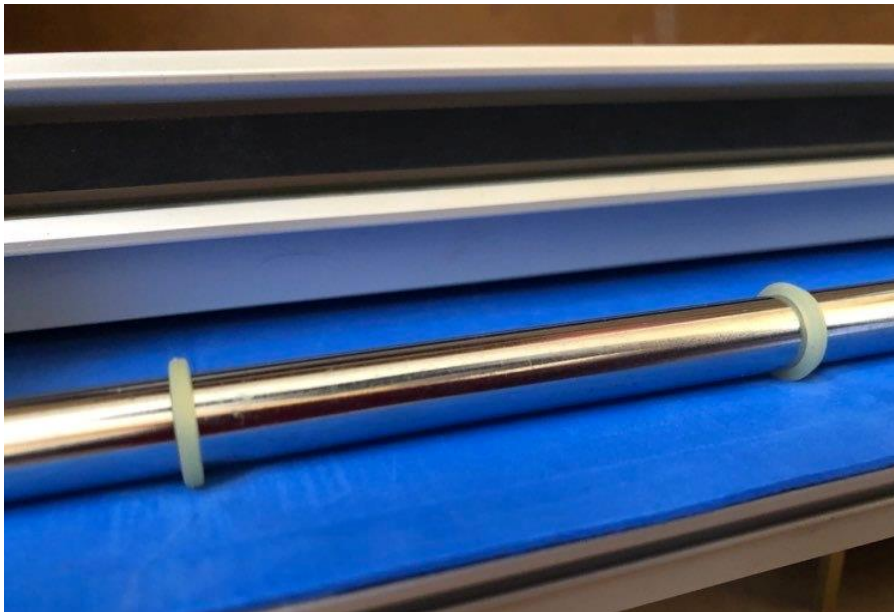
Posicionamiento del punzón



Con ayuda del giro del motor se ingresa una lámina de fomi, la cual permitirá la formación de los puntos mediante la presión del punzón. Una vez posicionado el material se fija en la base de la estructura con ayuda de cinta doble faz, permitiendo el ingreso de la hoja y garantizando el giro de los rodillos (ver Figura 3.42).

Figura 3.42

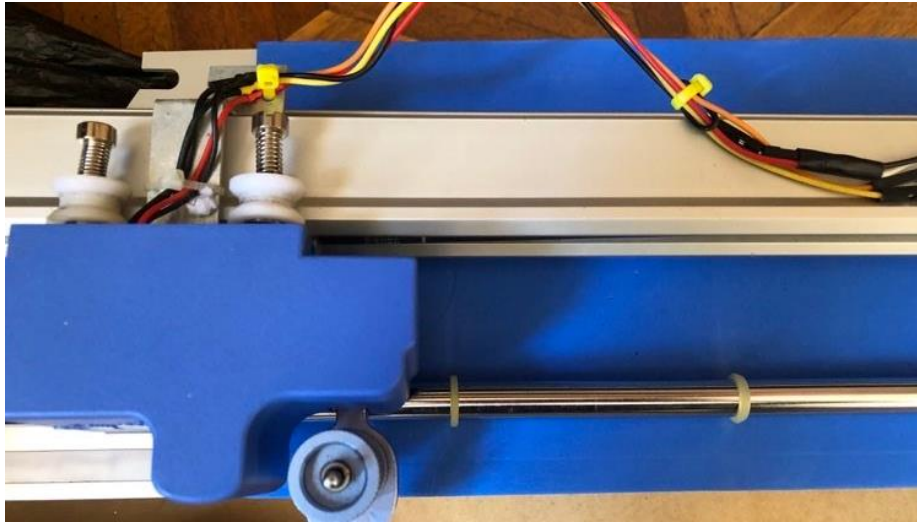
Fijación del fomi



Posteriormente, se efectúa el cableado del solenoide y de un led de 5V que ayudará a verificar la formación de cada punto (ver Figura 3.43). Para a continuación pasar a sujetar los cables con la ayuda de bridas y así asegurar el desplazamiento de estos dentro de la estructura.

Figura 3.43

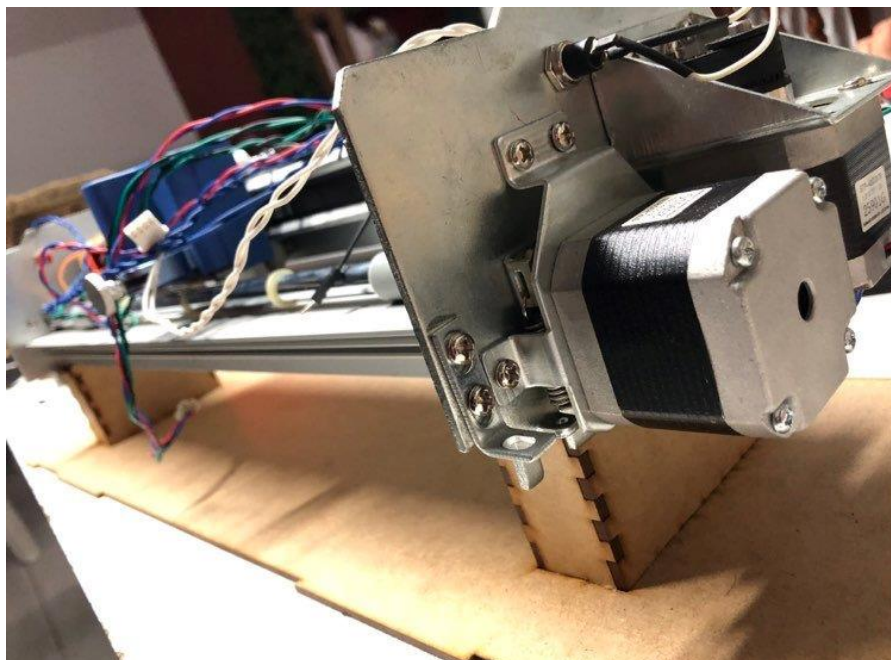
Cableado y sujeción



La siguiente parte es la sujeción de la estructura en su base (ver Figura 3.44), la misma que brinda estabilidad y proporciona junto a la tapa, una cubierta a la impresora. Se construye en MDF y se emplea pernos para sujetarla.

Figura 3.44

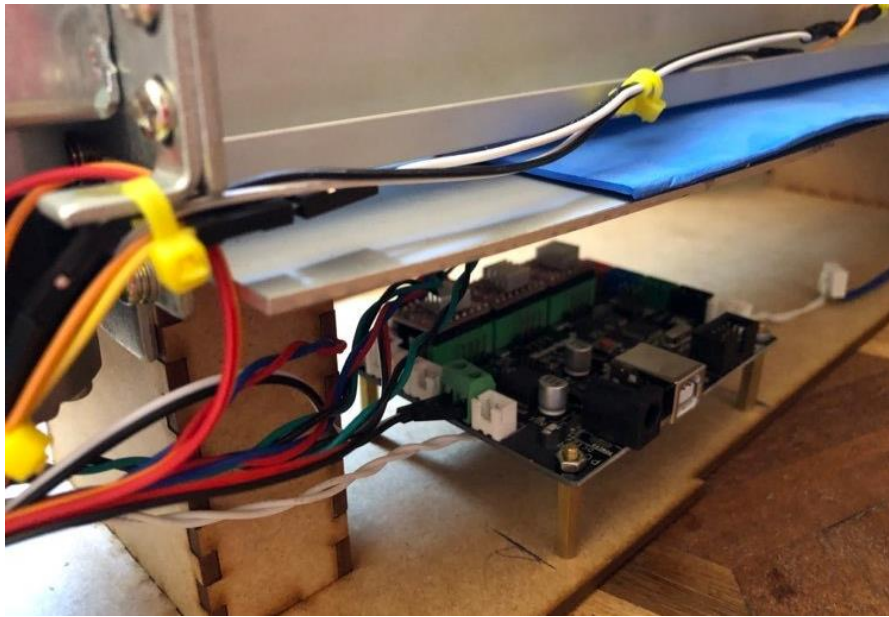
Sujeción de la estructura



Para ubicar la placa de control se utilizan pernos de anclaje (ver Figura 3.45), lo que le brinda a la placa la elevación necesaria para una mejor manipulación, así como también estabilidad al fijarse a la base. Una vez sujeta, es posible realizar la conexión de los motores y el electroimán como se detalla en el diagrama de conexiones (ver Figura 3.21).

Figura 3.45

Ubicación de la placa de control



Cuando todos los componentes se encuentran sujetos en su lugar, se puede colocar la tapa de la cubierta (ver Figura 3.46), la misma que se ajuste mediante presión y cuenta con espacio para las conexiones de la placa, ingreso y salida de la hoja, y una ventana de acrílico que permite observar el proceso de formación de los caracteres.

Figura 3.46

Instalación de la cubierta



Finalmente, se presenta en la Tabla 3.14 el informe de costos del quipo, donde se detallan cada uno de los elementos que componen la impresora, así como también el costo por trabajo de ingeniería, lo que inicia con el proceso de diseño y termina con la máquina completamente construida.

Tabla 3.14

Presentación detallada de los costos que componen el costo total de la impresora

N°	Descripción	Cantidad	Costo
	Máquina electrónica cortadora de formas Sizzix		
1	eclips	1	\$20
2	Motor paso a paso Nema 17 bipolar	2	\$34
3	Solenoides 12 V	1	\$11
4	Placa de control Makerbase MKS DLC V2.0	1	\$30
5	Módulo driver para motores paso a paso A4988	2	\$5
6	Fuente de 12 V 2 A	1	\$5
7	Cable USB Tipo B	1	\$1,2
8	Radio de bicicleta	1	\$4
9	Cable puente	10	\$6
10	Lámina de fomi	1	\$1
11	Perno M3	5	\$1
12	Perno de anclaje M3	4	\$2
13	Brida plástica	5	\$5
14	Cinta Doble Faz	1	\$3
15	Base MDF	1	\$5
16	Cubierta MDF	1	\$15
17	Tapa de acrílico	1	\$10
Costo Equipo			\$158
			Costo por
		Horas de trabajo	hora
	Trabajo de ingeniería	110	\$3
Costo Trabajo			\$330
Costo Total			\$488

Se puede concluir que el costo de la impresora Braille, solo incluyendo los elementos que la componen es de 158 USD, mientras que, al incluir los costos por el proceso de diseño y construcción, se obtiene un valor total de 488 USD.

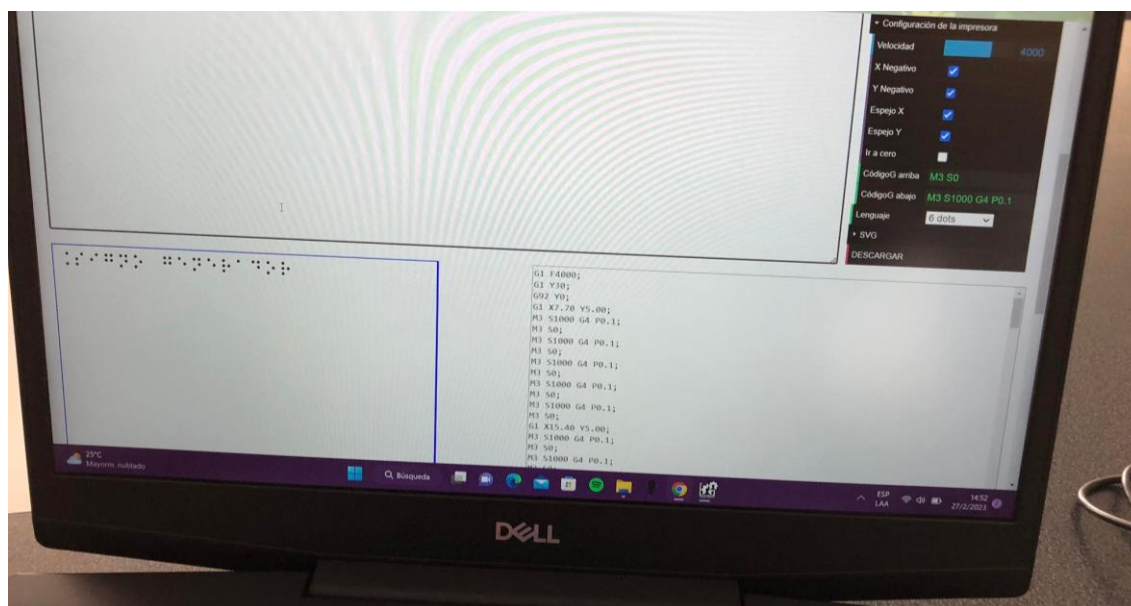
3.6. Pruebas del dispositivo

Las pruebas de funcionamiento de la impresora Braille se desarrollan en el Centro De Apoyo Pedagógico Especial Imbabura, con la presencia de la presidenta de la Asociación De No Videntes De Imbabura, Ruht Noemí Trejo. En las cuales se verifica el ingreso de los textos desde el computador, los mismo que se imprimen como caracteres Braille empleando el dispositivo, para posteriormente pasar a su lectura y comprobación de los parámetros del lenguaje.

La primera parte de la prueba da inicio designando la frase a evaluar, la cual es “Signo generador”, la misma que primeramente es ingresada desde el computador (ver Figura 3.47).

Figura 3.47

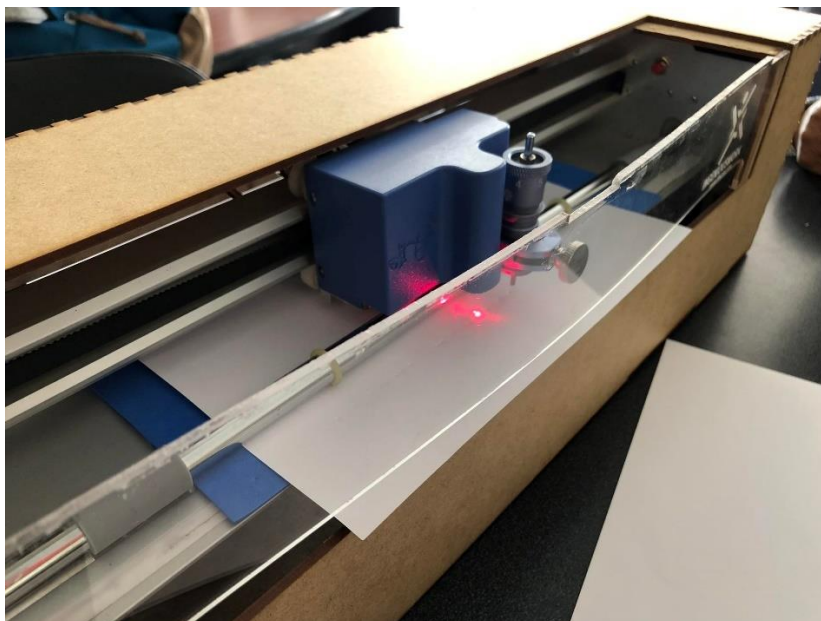
Ingreso de la frase para evaluar el dispositivo



A continuación, inicia su impresión en cartulina utilizando la impresora Braille (ver Figura 3.48).

Figura 3.48

Impresión de la frase a evaluar



Finalmente, la directora del centro pedagógico realiza la lectura de la frase, para verificar la correcta formación de los carteres, así como también su fácil lectura (ver Figura 3.49).

Figura 3.49

Lectura y evaluación de la impresión



Para la segunda parte de la prueba, se ingresan todas las letras del alfabeto, así como también varios signos de puntuación, signos matemáticos y las vocales tildadas. Con el objetivo de verificar que los caracteres sean los correctos y demostrar que la impresora es capaz de plasmar información de igual manera que al emplear una regleta, pero de una forma más rápida y precisa.

Posteriormente, se realiza la impresión de la información, para que al final, la coordinadora realiza una lectura de todos los caracteres, para asegurar que sean los correctos y no exista ningún error en futuras impresiones (ver Figura 3.50).

Figura 3.50

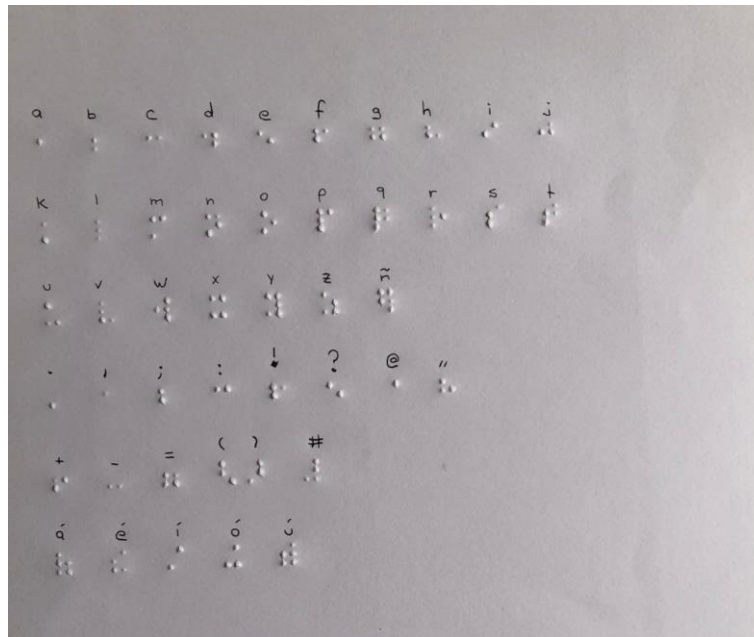
Lectura del alfabeto, signos de puntuación y matemáticos Braille



A continuación es posible observar el resultado de la impresión, incluyendo letras, signos y símbolos en español, así como también su impresión en caracteres Braille (ver Figura 3.51).

Figura 3.51

Caracteres Braille y su traducción



CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se describen a continuación, las conclusiones a las que se llega a partir del cumplimiento de los objetivos propuestos, así como también las recomendaciones que se plantean para futuros trabajos.

Conclusiones

- La impresora cumple en su totalidad con las reglas y parámetros establecidos por el lenguaje Braille, tales como el diámetro de los puntos, las distancias entre centros y cajetines. Además, los caracteres del idioma español se encuentran implementados correctamente y verificados por los docentes de la Asociación de No Videntes de Imbabura.
- Al analizar diferentes propuestas de diseño con distintas configuraciones, fue posible la selección de estructura de la máquina electrónica cortadora de formas “Sizzix eclips”, lo cual permitió que la impresora Braille tenga un costo menor, pueda garantizar la correcta formación de los caracteres y sea de fácil uso; efectuando estos criterios a través del uso de elementos que han cumplido su vida útil, pero pueden ser aprovechados.
- Los elementos seleccionados, tales como el solenoide, placa y motores, pudieron ser exitosamente implementados dentro de la estructura. Además de que, junto a los componentes de la carcasa, lograron conformar y completar al equipo de manera satisfactoria; todo esto se alcanzó mediante un proceso de diseño que empleó el método QFD y ayudó a que la construcción de la máquina sea más sencilla.
- Gracias al uso de software libre, desarrollado utilizando un lenguaje de programación con el que previamente se ha trabajado (JavaScript), fue posible su modificación para que el cambio en la interfaz, el ingreso de los parámetros de impresión y la integración

de los caracteres Braille en español, se puedan realizar de manera sencilla y sin problemas al tener que trabajar con un código previamente escrito.

- La documentación sobre el sistema Braille a través de cursos y tutorías con los miembros de la Asociación de No Videntes de Imbabura, dio la posibilidad de poseer un conocimiento previo del lenguaje, el mismo que fue implementando en la impresora. Como resultado, los caracteres plasmados con el equipo no son diferentes a los realizados utilizando regleta y punzón; logrando que puedan ser leídos por estudiantes iniciales y experimentados por igual.
- La impresora Braille posee un costo total de 488 USD, permitiendo así, demostrar que su precio es mucho menor que el de impresoras presentes en el mercado, siendo de una sexta parte con respecto al equipo más económica disponible por aproximadamente 3.000 USD. Así también, se cumple de forma satisfactoria con el requerimiento de costo de la máquina, la cual no debe superar los 500 USD.

Recomendaciones

- Realizar la búsqueda de información y documentación con profesionales que conozcan completamente el tema, para asegurar que los conocimientos adquiridos sean los correctos y no generen confusiones durante el desarrollo del proyecto.
- El aprovechamiento de equipos o elementos que ya no se encuentran en uso es una gran ayuda durante el proceso de construcción, ya que de esta manera es posible encontrar componentes que permiten solucionar determinados problemas, mientras se abaratan costos.
- El uso de lenguaje de programación de control numérico (Código G) dentro de equipos que necesitan de mucha precisión al recorrer pequeñas distancias, es la mejor opción,

ya que facilita el manejo de los motores y la formación de matrices, al definir los movimientos por coordenadas.

- Un mantenimiento preventivo cada año es recomendado, realizando una limpieza profunda para evitar obstrucciones en los diferentes sistemas que conforman la impresora Braille, asegurando así, un óptimo funcionamiento de esta.
- Se recomienda para trabajos futuros, el desarrollo de una aplicación que combine la herramienta para conversión de texto a Código G y la encargada de ejecutar el mismo, logrando conformar una sola.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. C. Rodríguez Fernández, «Alumnos con discapacidad visual: análisis del procedimiento de apoyo educativo realizado desde la ONCE», Universidad de Cantabria, 2017.
- [2] R. Párraga Macías, «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», Tesis de Maestría, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2015.
- [3] Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, «Estadísticas de Discapacidad. Obtenido de Total de personas con discapacidad visual registradas en el registro nacional de discapacidad», septiembre de 2021.
<https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- [4] D. León Veliz y L. Roso Barreto, «Inclusión en la educación de jóvenes con discapacidad visual», Universidad Estatal de Milagro, Milagro, 2018.
- [5] TENYUS, «Productos Braille», 6 de enero de 2022.
https://www.tenyus.com/ciegos/tenyus/ceguera_66_1_ap.html
- [6] R. E. Fernández Martínez y P. M. Llamuca Torres, «Diseño y construcción de material tiflotécnico que facilite la impresión de información en sistema braille a niños de la unidad educativa especializada de no videntes de Cotopaxi», Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, 2015.
- [7] C. P. Vinueza Escobar, «Diseño y construcción de una impresora braille de bajo costo, utilizando plataforma hardware de código abierto.», Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2017.

- [8] A. Noboa, D. Noboa, E. Tipán, y A. Ibarra, «Diseño e Implementación de un Sistema Electrónico con Interface a PC para Automatizar una Máquina de Escribir Braille», *MASKAY*, vol. 5, n.º 1, pp. 1-9, dic. 2015, doi: 10.24133/maskay.v5i1.119.
- [9] Á. B. Gamarra Miranda y L. J. Parraguez De La Cruz, «DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D PARA IMPRIMIR PIEZAS CON POLÍMEROS CON VOLUMEN MÁXIMO DE 30 CM x 30 CM x 30 CM PARA LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN», Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2019.
- [10] X. A. Cáceres Sagbay y P. J. Monge Romo, «Laser engraving and milling CNC machine: design and construction», Universidad San Francisco de Quito, Quito, 2019.
- [11] ONCE, «El Braille: lectura, aprendizaje, alfabeto y signos», 2022.
<https://www.once.es/servicios-sociales/braille>
- [12] ONCE, «Parámetros dimensionales del Braille», en *Documento técnico B 1*, 1.^a ed. Madrid: Comisión Braille Española, 2014, pp. 4-5.
- [13] TENYUS, «IMPRESORA BRAILLE BASIC-D V5», 2022.
https://www.tenyus.com/productos-especificos/ceguera/impresora-braille-basic-d-v5_319_66_680_0_1_pro.html
- [14] TENYUS, «IMPRESORA BRAILLE EVEREST D-V5», 2022.
https://www.tenyus.com/productos-especificos/top-ventas/impresora-braille-everest-d-v5_313_12_527_0_1_pro.html
- [15] TENYUS, «IMPRESORA MOUNTBATTEN», 2022.
https://www.tenyus.com/productos-especificos/ceguera/impresora-mountbatten_180_66_685_0_1_pro.html

- [16] D. Cánovas Pérez, «Diseño de actuadores lineales para dispositivos protésicos robotizados», Universidad Politécnica De Cartagena, Cartagena, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/8471#.Y1hIR6HLeHw.mendeley>
- [17] E. Bedriñana Enciso, «Modelamiento de la válvula de control Teknocraft 202316 para la incubadora neonatal», Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2011.
- [18] FLOWTREND, «¿Qué es un solenoide y para qué sirve?», 20 de julio de 2020. <https://flowtrend.com/en-us/news/que-es-un-solenoide-y-para-que-sirve>
- [19] D. Y. Jaimes y F. Fajardo, «Caracterización de motores DC de imán permanente mediante un sistema motor-generador», *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 44, 2022, doi: 10.1590/1806-9126-rbef-2022-0199.
- [20] J. E. Jimbo Tacuri, «Caracterización del funcionamiento de un motor eléctrico de corriente continua sin escobillas Brushless con 1000 watts de potencia», Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2015.
- [21] J. S. Gómez González, «Desarrollo de un prototipo basado en sistemas embebidos para obtener el modelo matemático de la superficie cóncava en lentes oftalmológicas.», Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2019.
- [22] J. I. Medrano Trujillo, «Brazo robot de bajo coste con motores paso a paso que escribe», Universidad de Sevilla, Sevilla, 2020.
- [23] M. Herrera Acevedo y M. J. Peláez Morales, «Diseño e implementación de un dispositivo para la automatización del disparo de un arma de fuego hechiza mediante señales EMG obtenidas con el sensor MYO», Universidad Tecnológica de Pereira, 2018.

- [24] BricoGeek, «Motor paso a paso 3.2 Kg/cm NEMA 17», 2022. <https://tienda.bricogeek.com/motores-paso-a-paso/546-motor-paso-a-paso-nema-17-32kg-cm.html>
- [25] YOROBOTICS, «Tarjeta Control Cnc Grbl Makerbase 328 MKS DLC V2.0», 2021. <https://yorobotics.co/producto/tarjeta-control-cnc-grbl-makerbase-328-mks-dlc-v2-0-offline>
- [26] Makerbase, «MKS DLC», 15 de enero de 2018. <https://github.com/makerbase-mks/MKS-DLC>
- [27] S. I. Jijón Orozco y C. A. Rosero Mantilla, «Control automatizado en la máquina cortadora de moldes en la planta de producción calzado J7», Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2015.
- [28] G-Code Tutor, «CNC G Codes», 2022. <https://gcodetutor.com/cnc-machine-training/cnc-g-codes.html>
- [29] K. N. Heredia Tipán, «Implementación de un prototipo NAS con Raspberry Pi con software libre», Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2022.
- [30] HOSTINGER, «¿Qué es GitHub y Cómo Usarlo?», 22 de julio de 2022. <https://www.hostinger.es/tutoriales/que-es-github>
- [31] Arthur Masson, «BrailleRap», *GitHub*, 22 de octubre de 2016. <https://github.com/crocsG/BrailleRap/blob/master/Documentation/documentation-fr.md>
- [32] OpenBuilds, « OpenBuilds CONTROL - Machine Interface Controller», 2022. <https://software.openbuilds.com/>

- [33] D. L. Goetsch y S. Davis, *Quality Management for Organizational Excellence: Introduction to Total Quality*, 7.^a ed. Pearson, 2014.
- [34] TECmikro, «Solenoid Electroimán 12VCD 2.6 kg», 2022.
<https://tecmikro.com/motores/561-solenoid-electroiman-12vcd.html>
- [35] TECmikro, «Motor Nema 17», 2022. <https://tecmikro.com/motores/412-motor-nema-17.html>
- [36] TECmikro, «A4988 Módulo Driver Para Motores PAP», 2022.
<https://tecmikro.com/motores/333-a4988-modulo-driver-para-motores-pap.html>
- [37] Allegro, «DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection», Massachusetts, 2022.
- [38] Robotics Ecuador, «Placa De Control Laser CNC MKS DLC V2.0», 2022.
<https://roboticsec.com/producto/placa-de-control-laser-cnc-mks-dlc-v2-0/>
- [39] Sizzix, «Sizzix eclips Starter Kit w/Sure Cuts A Lot Computer Software (eCAL)», 2022.
<https://www.sizzix.com/657700/sizzix-eclips-starter-kit-w-sure-cuts-a-lot-computer-software-ecal>

ANEXOS


CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO

RUHT NOEMÍ TREJO PRESIDENTA DE LA ASOCIACIÓN DE NO VIDENTES DE
IMBABURA Y COORDINADORA DEL CENTRO DE APOYO PEDAGÓGICO
ESPECIAL IMBABURA

CERTIFICA:

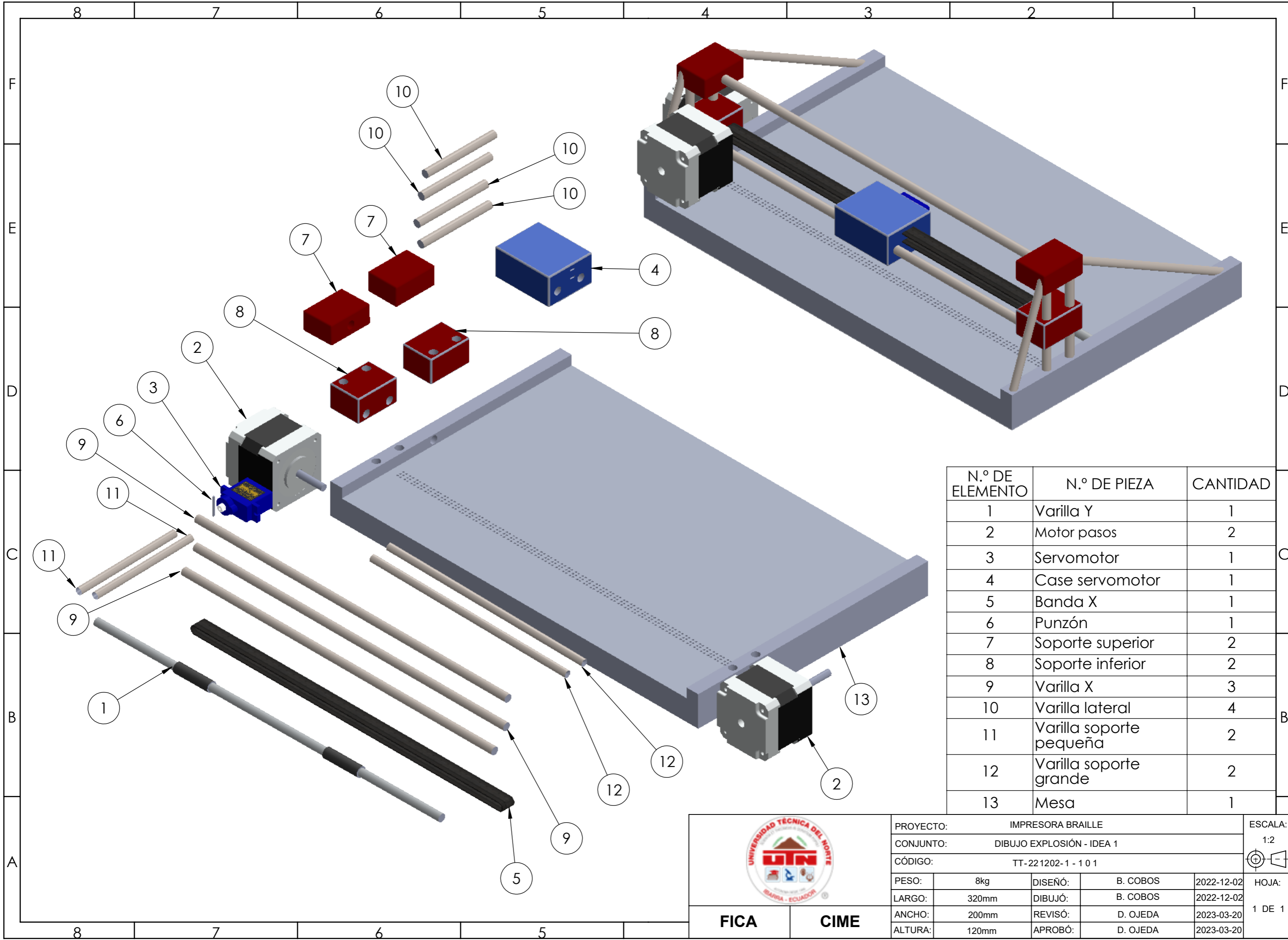
Que la impresora Braille desarrollada como base del proyecto de titulación “Impresora Braille de bajo costo”, cumple de manera acertada con los parámetros del lenguaje, así como también con los requerimientos previamente establecidos. Permitiendo una correcta formación de los caracteres, lo que pudo ser verificado mediante diversas pruebas de lectura realizadas por los miembros de la Asociación de No Videntes de Imbabura.

Ibarra, 27 de febrero de 2023



Centro de Educación
Popular Especial
CEPE-I - Imbabura

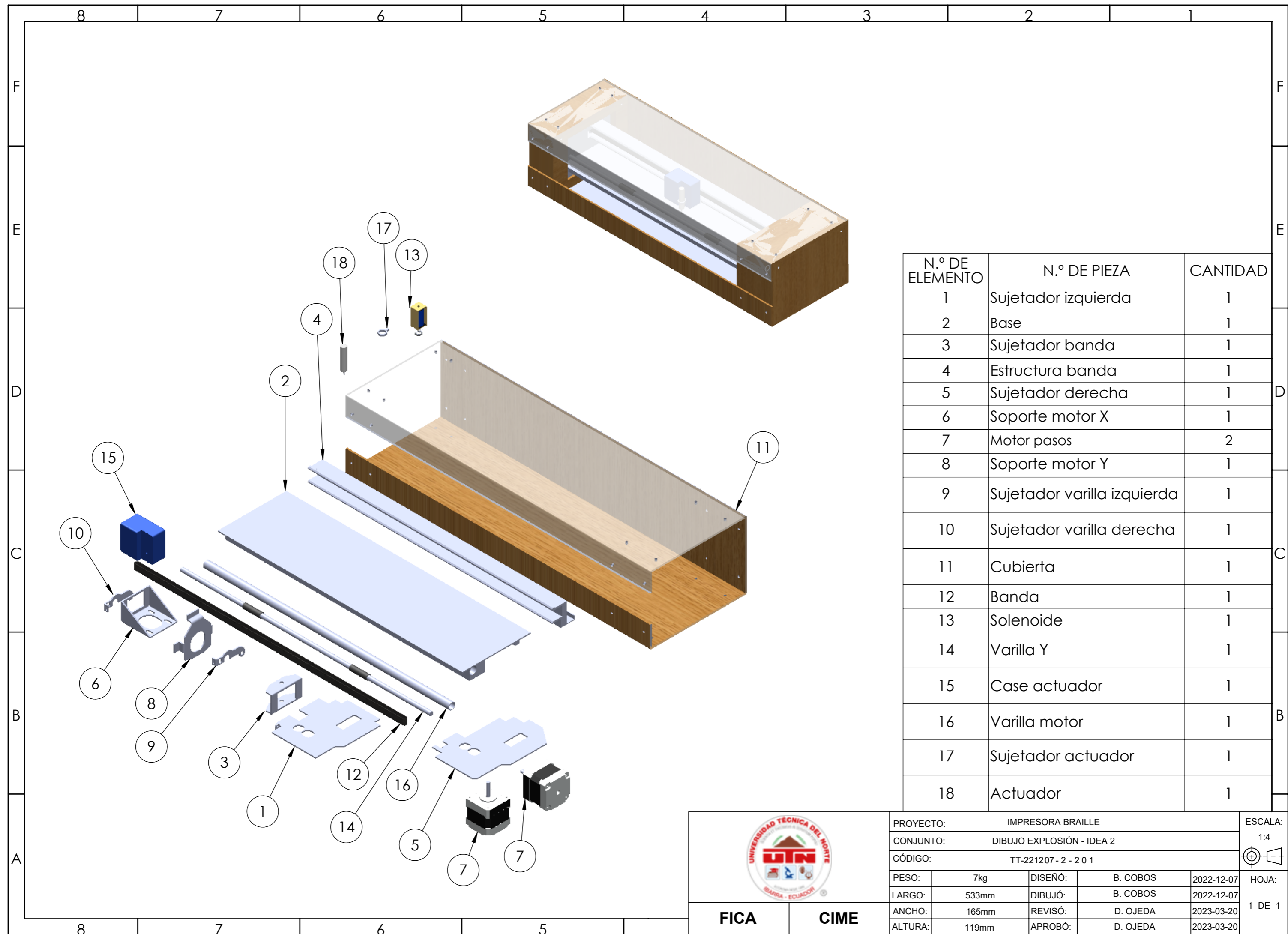




N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Varilla Y	1
2	Motor pasos	2
3	Servomotor	1
4	Case servomotor	1
5	Banda X	1
6	Punzón	1
7	Soporte superior	2
8	Soporte inferior	2
9	Varilla X	3
10	Varilla lateral	4
11	Varilla soporte pequeña	2
12	Varilla soporte grande	2
13	Mesa	1

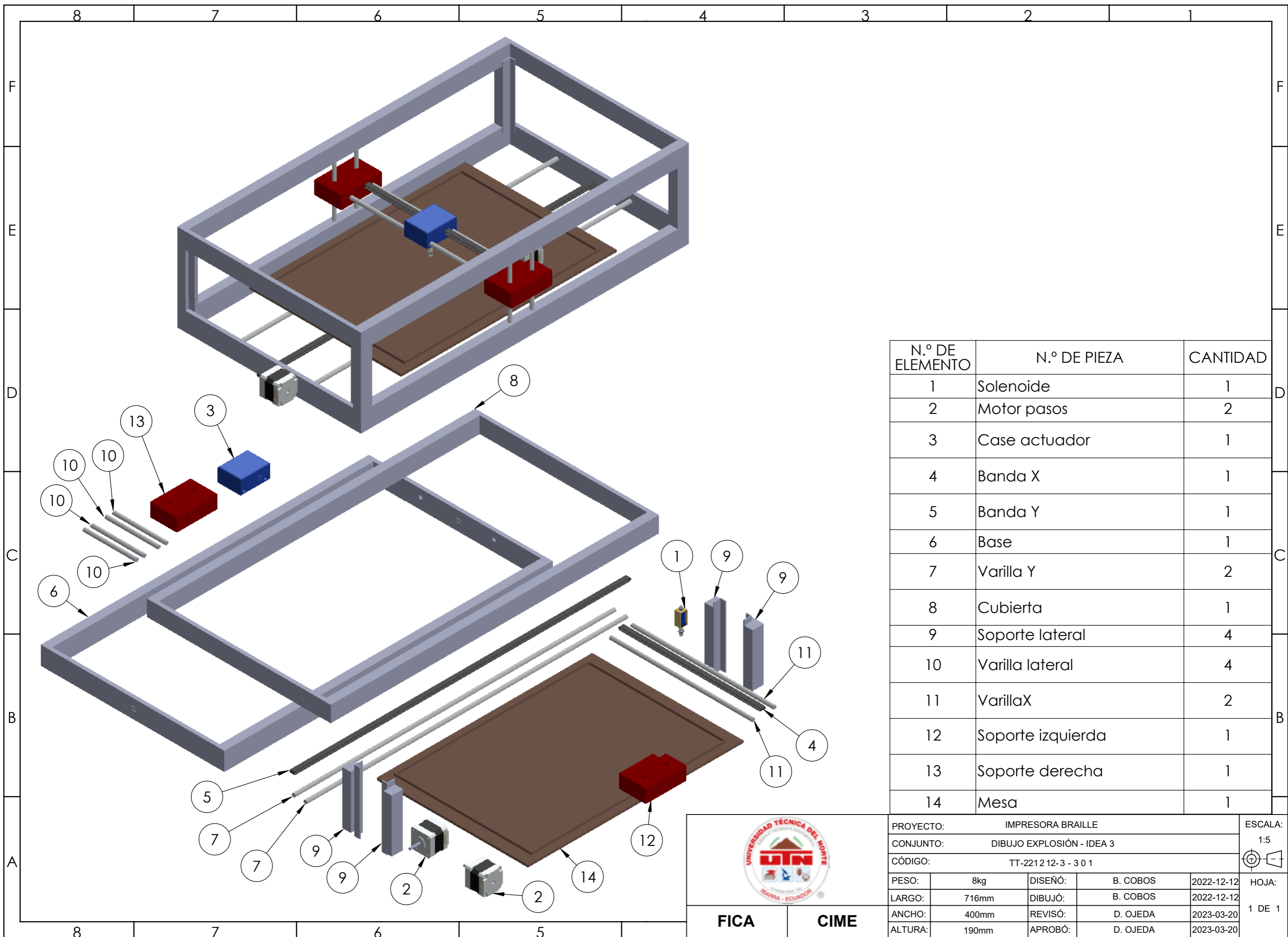
	PROYECTO: IMPRESORA BRAILLE			ESCALA: 1:2 	
	CONJUNTO: DIBUJO EXPLOSIÓN - IDEA 1				
	CÓDIGO: TT-221202-1 - 10 1			HOJA: 1 DE 1	
	PESO:	8kg	DISEÑO:		B. COBOS
LARGO:	320mm	DIBUJÓ:	B. COBOS		2022-12-02
ANCHO:	200mm	REVISÓ:	D. OJEDA	2023-03-20	
ALTURA:	120mm	APROBÓ:	D. OJEDA	2023-03-20	

FICA **CIME**



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Sujetador izquierda	1
2	Base	1
3	Sujetador banda	1
4	Estructura banda	1
5	Sujetador derecha	1
6	Soporte motor X	1
7	Motor pasos	2
8	Soporte motor Y	1
9	Sujetador varilla izquierda	1
10	Sujetador varilla derecha	1
11	Cubierta	1
12	Banda	1
13	Solenoid	1
14	Varilla Y	1
15	Case actuador	1
16	Varilla motor	1
17	Sujetador actuador	1
18	Actuador	1

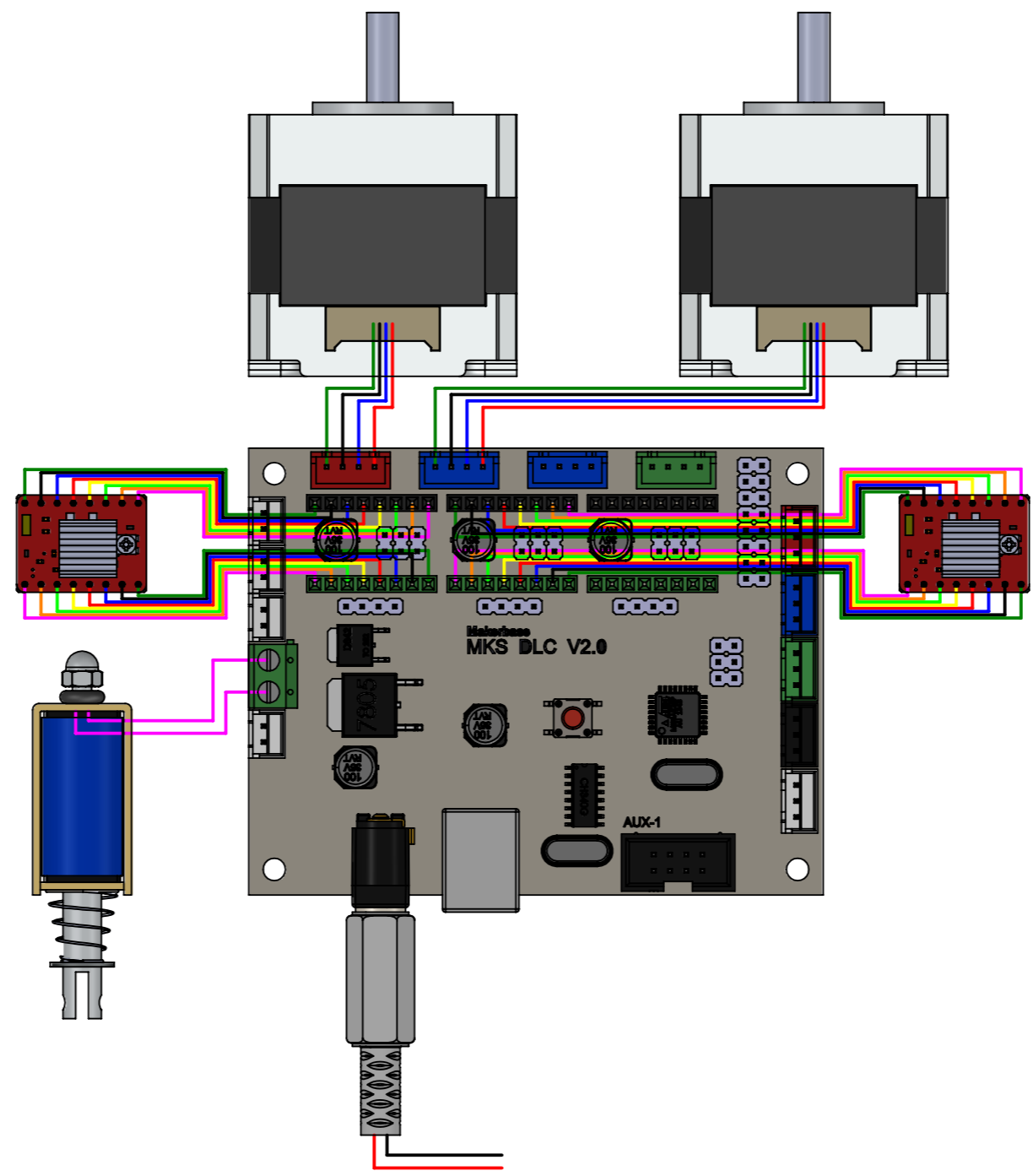
	PROYECTO: IMPRESORA BRAILLE			ESCALA: 1:4 		
	CONJUNTO: DIBUJO EXPLOSIÓN - IDEA 2					
CÓDIGO: TT-221207 - 2 - 2 0 1			HOJA: 1 DE 1			
PESO:	7kg	DISEÑO:			B. COBOS	2022-12-07
LARGO:	533mm	DIBUJÓ:			B. COBOS	2022-12-07
ANCHO:	165mm	REVISÓ:			D. OJEDA	2023-03-20
ALTURA:	119mm	APROBÓ:	D. OJEDA	2023-03-20		
FICA		CIME				



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Solenoides	1
2	Motor pasos	2
3	Case actuador	1
4	Banda X	1
5	Banda Y	1
6	Base	1
7	Varilla Y	2
8	Cubierta	1
9	Soporte lateral	4
10	Varilla lateral	4
11	VarillaX	2
12	Soporte izquierda	1
13	Soporte derecha	1
14	Mesa	1

FICA **CIME**

PROYECTO:		IMPRESORA BRAILLE			ESCALA: 1:5
CONJUNTO:		DIBUJO EXPLOSIÓN - IDEA 3			
CÓDIGO:		TT-2212 12-3 - 3 0 1			
PESO:	8kg	DISEÑO:	B. COBOS	2022-12-12	HOJA: 1 DE 1
LARGO:	716mm	DIBUJÓ:	B. COBOS	2022-12-12	
ANCHO:	400mm	REVISÓ:	D. OJEDA	2023-03-20	
ALTURA:	190mm	APROBÓ:	D. OJEDA	2023-03-20	



	PROYECTO: IMPRESORA BRAILLE			ESCALA:	
	PARTE: DIAGRAMA DE CONEXIONES			1:1	
CÓDIGO: TT-230110-4-401				TOLERANCIA: 0.5mm	
MATERIAL:	-	DISEÑO:	B. COBOS	2023-01-10	HOJA: 1 DE 1
TRATAMIENTO:	-	DIBUJÓ:	B. COBOS	2023-01-10	
RECUBRIMIENTO:	-	REVISÓ:	D. OJEDA	2023-03-20	
CANTIDAD:	1 unidad	APROBÓ:	D. OJEDA	2023-03-20	
FICA	CIME				