



Diseño e implementación de una impresora Braille basada en un robot cartesiano para la generación de material didáctico para personas con discapacidad visual

Sailema Cobo, Cristian Fernando

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

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

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

Directora del Trabajo de Titulación

18 de agosto del 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido



Plagiarism and AI Content Detection Report

Tesis Sailema_Final_1.pdf

Scan details

Scan time: August 18th, 2023 at 22:15 UTC

Total Pages: 59

Total Words: 14629

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	2.7%	399
Minor Changes	0.6%	94
Paraphrased	4.3%	622
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage	Words
All text	0% 0
Human text	100% 14629

[Learn more](#)

Alerts: (1)

Cross Language: Same Document Language

Submitted language and cross-language text are the same language. No credits were used.

2/5 Severity



Plagiarism Results: (69)

Implementación de un prototipo de impresora brail... 1.6%

<https://1library.co/document/yd7k7ggj-implementac%ic3%b...>

Copyleaks Internal Database 1.4%

No introduction available.

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

C. C.: 0503354029



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, “Diseño e implementación de una impresora Braille basada en un robot cartesiano para la generación de material didáctico para personas con discapacidad visual”, fue realizado por el señor Sailema Cobo, Cristian Fernando; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga 18, agosto 2023

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

C. C.: 0503354029



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Responsabilidad de autoría

Yo, **Sailema Cobo, Cristian Fernando**, con cédula de ciudadanía N° 0604422279, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de una impresora Braille basada en un robot cartesiano para la generación de material didáctico para personas con discapacidad visual”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga 18, agosto 2023

Sailema Cobo, Cristian Fernando

C. C.: 0604422279



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Autorización de Publicación

Yo, Sailema Cobo, Cristian Fernando, con cédula de ciudadanía N° 0604422279, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “Diseño e implementación de una impresora Braille basada en un robot cartesiano para la generación de material didáctico para personas con discapacidad visual”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga 18, agosto 2023

Sailema Cobo, Cristian Fernando

C. C.: 0604422279

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de titulación a mis padres por haberme brindado su guía a lo largo de los años, impulsándome a seguir hacia delante y por haberme brindado su apoyo y cariño a través de mi carrera universitaria y educativa en general. A mis hermanos y abuelitos por otorgarme su cariño y acompañarme siempre.

Sailema Cobo, Cristian Fernando

Agradecimiento

Agradezco a mis padres y familiares por el apoyo brindado, a los hermanos que se vuelven amigos y a los amigos que se vuelven hermanos, por todo el cariño desde el inicio de mi carrera universitaria hasta la culminación del presente proyecto.

Agradezco a la Ingeniera Patricia Constante por su guía y oportuno consejo a lo largo de la realización del presente proyecto.

Sailema Cobo, Cristian Fernando

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de figuras.....	12
Índice de tablas.....	15
Resumen	16
Abstract.....	17
Capítulo I: Fundamentación Teórica	18
Introducción.....	18
Antecedentes	19
Objetivos	20
Objetivo General.....	20
Objetivos Específicos.....	20
Hipótesis	21

Variables Independientes.....	21
Variables Dependientes	21
Discapacidades en el Ecuador	22
Sistema Braille	22
Percepción háptica.....	29
Instrumentos manuales	29
Regleta	29
El punzón.....	30
Tipo de material utilizado.....	31
Papel braille:	31
Impresora Braille INDEX BASIC-D V5.....	33
Impresora Braille EVEREST-D V5.....	34
Motor a pasos.....	36
Drivers de motores a pasos.....	37
Arduino.....	39
ESP32.....	40
Robot Cartesiano y su configuración Morfológica	41
Capítulo II: Diseño del sistema mecánico.....	43
Especificaciones generales para el diseño del sistema	43
Método de selección: ponderación por puntos.....	45
Selección de componentes.....	45

	10
Motor NEMA 17HS4401.....	45
Motor NEMA 17 POLOLU SY42STH38-1684A	46
Motor NEMA 23 POLOLU SY57STH41-1006A	46
Selección de Motor a Pasos	47
Diseño del mecanismo del sistema percutor.....	51
Conceptos del mecanismo percutor	51
Cálculo del requerimiento del motor del mecanismo percutor	55
Diseño del mecanismo de desplazamiento X e Y	59
Mecanismo Desplazamiento en X.....	59
Mecanismo Desplazamiento en Y.....	72
Diseño del soporte de la hoja	81
ABS	82
PLA.....	83
PTEG.....	83
Capítulo III: Diseño de sistema electrónico y control	86
Selección de componentes.....	86
Selección de la Fuente de voltaje	86
Módulo controlador de motor a pasos TB6560 3A.....	86
Selección de la tarjeta controladora.....	88
Raspberry Pi 4 Modelo B	88
Arduino Uno.....	89

	11
ESP32 WROOM-32	90
Diseño de la electrónica asociada al control del desplazamiento.....	91
Algoritmo de traducción y generación de imágenes	93
Algoritmo de Traducción e Impresión Braille	93
Algoritmo de generación de imágenes en relieve.....	96
Capítulo IV: Implementación, pruebas y resultados	99
Pruebas de funcionamiento del sistema percutor	99
Pruebas de generación texto braille	101
Pruebas de generación de imágenes en relieve	102
Validación de hipótesis.....	105
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones	106
Conclusiones.....	106
Recomendaciones.....	106
Bibliografía.....	107
Anexos.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Símbolo generador del sistema Braille</i>	23
Figura 2	<i>Alfabeto Braille</i>	24
Figura 3	<i>Vocales Tildadas</i>	24
Figura 4	<i>Números en Braille</i>	25
Figura 5	<i>Signos de Puntuación</i>	26
Figura 6	<i>Signo de Mayúscula</i>	26
Figura 7	<i>Distancias en la celda Braille</i>	27
Figura 8	<i>Regleta Braille</i>	30
Figura 9	<i>Punzón</i>	30
Figura 10	<i>Máquina de escribir Braille</i>	32
Figura 11	<i>Impresora Braille INDEX BASIC-D V5</i>	34
Figura 12	<i>Impresora Braille EVEREST-D V5</i>	34
Figura 13	<i>Interior de un motor a pasos</i>	36
Figura 14	<i>Driver de un motor a pasos</i>	38
Figura 15	<i>Esquema de Raspberry Pi</i>	39
Figura 16	<i>Esquema de Arduino UNO</i>	40
Figura 17	<i>Módulo ESP-WROOM-32 ESP32 WiFi</i>	41
Figura 18	<i>Configuración cartesiana</i>	42
Figura 19	<i>Bosquejo de la impresora Braille</i>	44
Figura 20	<i>Motor Nema 17HS4401</i>	45
Figura 21	<i>Motor Nema POLOLU SY42STH38-1684A</i>	46
Figura 22	<i>Motor NEMA 23 POLOLU SY57STH41-1006A</i>	47
Figura 23	<i>Varilla roscada 8mm y tuerca viajera</i>	49
Figura 24	<i>Acople flexible de Aluminio</i>	49

Figura 25	<i>Varilla Lisa de 8mm</i>	50
Figura 26	<i>Rodamiento Lineal de 8mm</i>	51
Figura 27	<i>Concepto Percutor A: Piñón-Cremallera</i>	52
Figura 28	<i>Concepto Percutor B: Motor a Pasos y Eje roscado</i>	53
Figura 29	<i>Concepto Percutor C: Dos motores a pasos y Ejes roscados</i>	54
Figura 30	<i>Punzón Metálico</i>	56
Figura 31	<i>Mecanismo Percutor</i>	58
Figura 32	<i>Diagrama de Fuerzas del eje en X</i>	60
Figura 33	<i>Diagrama de fuerzas cortantes en el Eje X</i>	62
Figura 34	<i>Diagrama de esfuerzos flectores en el Eje X</i>	64
Figura 35	<i>Diagrama de fuerzas del eje del mecanismo Y</i>	73
Figura 36	<i>Diagrama de fuerzas cortantes en el Eje Y</i>	75
Figura 37	<i>Diagrama de esfuerzos flectores en el Eje Y</i>	76
Figura 38	<i>Modelo 3D del soporte de la hoja</i>	85
Figura 39	<i>Driver TB6560 3A</i>	87
Figura 40	<i>Combinaciones de los DIP switch para configurar los parámetros del motor</i>	87
Figura 41	<i>Raspberry Pi 4 Modelo B</i>	88
Figura 42	<i>Arduino Uno</i>	89
Figura 43	<i>Módulo ESP32 WROOM-32</i>	90
Figura 44	<i>Esquema de conexión eléctrica</i>	92
Figura 45	<i>Pines de la Raspberry Pi 4 B</i>	93
Figura 46	<i>Algoritmo de traducción de texto</i>	94
Figura 47	<i>Ejemplo del proceso para programar las funciones de cada carácter</i>	95
Figura 48	<i>Algoritmo para generar imágenes en relieve</i>	97
Figura 49	<i>Caja de control de la impresora Braille</i>	98
Figura 50	<i>Impresora Braille ensamblada</i>	98

Figura 51 *Medición del diámetro del punto*.....100

Figura 52 *Comprobación del material generado con un experto en Braille*.....104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Matriz de selección por puntos del motor a pasos</i>	47
Tabla 2 <i>Matriz de selección por puntos del concepto del percutor</i>	54
Tabla 3 <i>Selección del material de la tablilla de impresión Braille</i>	84
Tabla 4 <i>Selección de la tarjeta controladora</i>	90
Tabla 5 <i>Esquema de conexión eléctrica</i>	92

Resumen

El presente proyecto consistió en la implementación de una impresora Braille que además de generar texto en dicho sistema de lectoescritura sea capaz de imprimir imágenes en relieve, considerando las normativas recomendadas y los caracteres específicos del idioma español. La impresora Braille desarrollada está basada en la morfología de un robot cartesiano, con un eje para el movimiento en la coordenada "X" , un eje para el movimiento en la coordenada en "Y" , y un sistema percutor en la coordenada "Z". El movimiento se genera mediante motores a pasos, que dotan al equipo de precisión que requiere el sistema Braille para su correcta rotulación. Dichos motores están controlados por una tarjeta Raspberry Pi 4 B, la cual actúa con drivers específicos para los motores empleados. La tarjeta controladora interpreta los caracteres en texto y los convierte en caracteres Braille, de la misma manera resalta los elementos más importantes de la imagen. La programación está hecha en lenguaje Python y permite el ingreso de datos por teclado como por archivos de extensión ".txt". La programación admite varios formatos de imágenes, los cuales son jpg, png y jpeg. El objetivo principal del proyecto fue la generación de material didáctico que pueda ayudar a las personas con discapacidad visual, para lo cual se crearon tarjetas, imágenes y libros, todos ellos en relieve.

Palabras clave: impresora Braille, Raspberry, sistema Braille.

Abstract

The present project consisted of the implementation of a Braille printer that in addition to generating text in this system of reading and writing is capable of printing images in relief, considering the recommended standards and the specific characters of the Spanish language. The Braille printer developed is based on the morphology of a Cartesian robot, with an axis for the movement in the "X" coordinate, an axis for the movement in the "Y" coordinate, and a percussive system in the "Y" coordinate. and a percussive system in the "Z" coordinate. The movement is generated by means of stepper motors, which provide the equipment with the precision required by the Braille system for its correct labeling. These motors are controlled by a Raspberry Pi 4 B card, which acts with specific drivers for the motors used. The controller board interprets the characters in text and converts them into Braille characters, as well as highlighting the most important elements of the image. The programming is done in Python language and allows the input of data by keyboard as well as by ".txt" extension files. The programming supports several image formats, which are jpg, png and jpeg. The main objective of the project was the generation of didactic material that can help visually impaired people, for which cards, images and books were created, all of them in relief.

Keywords: Braille printer, Raspberry, Braille system.

Capítulo I

Fundamentación Teórica

Introducción

En el Ecuador el acceso a la información para personas con discapacidad visual es bastante limitado, ya que, según Ormaza Pincay & García García (2017) la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE es la única en todo el país que trabaja enfocada en este sector social vulnerable, encargándose de la traducción de textos al sistema Braille y audio-libros o a textos de tipo electrónicos que han sido repartidos en asociaciones de personas no videntes.

Para crear textos en Braille se requiere de equipos especializados que generen puntos en relieve, con fuerza suficiente para marcarlos en la hoja, pero que no perforen la misma. Los costos de las impresoras Braille comerciales son bastante elevados, con precios de venta que oscilan desde los 3095\$ hasta alcanzar valores de 39995\$ lo cual complica su adquisición (Villalobos Piña et al., 2018).

Para la educación del Braille es importante la innovación en los métodos de enseñanza, se debe contar con las adecuadas herramientas pedagógicas. En mucho de los casos los docentes no cuentan con el conocimiento adecuado acerca del sistema Braille por lo que la falta de traducción de textos e información se convierte en un obstáculo en la interacción entre personas que conocen el sistema Braille y las que no, dificultando el cumplimiento de los artículos 28 y 33 de la Ley Orgánica de Discapacidades que tratan acerca de la educación inclusiva y el acceso a la educación (Asamblea Nacional República del Ecuador, 2012).

Antecedentes

De acuerdo al Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS), las personas con discapacidad visual representan el 11.54% del total de personas con discapacidad (Vinueza et al., 2017).

La ceguera está definida como la falta de visión que no se puede corregir mediante el uso de lentes convencionales o con el uso de lentes de contacto, ya sea con una deficiencia parcial o total de la visión, misma que puede estar dado por varias causas como accidentes, diabetes y varias enfermedades oculares o incluso llegando a haber casos donde la ceguera se produce de forma repentina, por lo que se precisó de un método de comunicación enfocado a este tipo de personas (Medline plus, 2021).

El alfabeto Braille es un sistema de lectura/escritura para personas invidentes, creado en el año 1825 por Luis Braille, en Francia. El sistema táctil cuenta con 3 filas y 2 columnas, ubicados a distancias específicas, que, mediante una combinación de puntos forman los diferentes caracteres del alfabeto. En el siglo XIX se desarrollaron las primeras máquinas de

En el mundo existen impresoras Braille comerciales que son capaces de imprimir caracteres del sistema de lecto/escritura Braille, pero sus precios son considerablemente elevados. En los países de la región de Latinoamérica el uso de estas impresoras no es frecuente a causa del factor económico, en el Ecuador se han desarrollado proyectos en los últimos años para crear impresoras Braille, principalmente modificando las impresoras matriciales o las impresoras de tinta y colocándoles un percutor para dotarlas con la capacidad de generar puntos en relieve sobre la hoja.

Al desarrollar la impresora Braille se busca una mejor interacción y comprensión del lenguaje entre una persona vidente y una persona no vidente, resultando de mucha utilidad al momento de plantear nuevas alternativas que faciliten el proceso de enseñanza del sistema

braille, además la impresora busca la precisión que la norma INEN 2850 requiere, puesto que los caracteres deben caber en la yema de los dedos para que sea legible, además de contar con un relieve adecuado y una correcta separación entre caracteres.

El Artículo 63 de la Ley Orgánica de Discapacidades detalla la promoción, por parte del Estado, al sistema Braille, las ayudas técnicas y tecnológicas, además de los mecanismos, medios y formatos aumentativos y alternativos de comunicación; con el objetivo de garantizarla inclusión y participación de las personas con discapacidad en la vida en común (Asamblea Nacional República del Ecuador, 2012).

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar una impresora Braille basada en un robot cartesiano para la generación de material didáctico para personas con discapacidad visual

Objetivos Específicos

- Diseñar una interfaz gráfica de usuario, mediante el software de programación apropiado, para que sea sencillo el uso de la máquina para el operador.
- Implementar un algoritmo que transforme el texto a sistema Braille y realizar pruebas de funcionamiento de dicho algoritmo.
- Diseñar y construir el sistema mecánico y electrónico de la impresora para posteriormente integrarla con los demás sistemas de la máquina.
- Imprimir material didáctico para personas con discapacidad visual, usando la impresora Braille, que cumpla la normativa INEN 2850.

Hipótesis

¿El diseño e implementación de una impresora Braille basada en un robot cartesiano favorecerá la generación de material didáctico, tanto en texto como en imágenes, para personas con discapacidad visual?

Variables Independientes

Impresora Braille basada en un robot cartesiano.

Variables Dependientes

Traducción de textos e imágenes al sistema Braille.

Discapacidades en el Ecuador

En el Ecuador existen 470 820 personas con discapacidad, de las cuales el 11.54%, es decir 54 332, corresponden a personas con discapacidad visual (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, 2021).

El país cuenta con leyes que garantizan la inclusión, así como la asistencia y acceso a la educación para este grupo vulnerable. El marco legal garantiza ayudas técnicas y tecnológicas para las personas con discapacidad, además de otras medidas de apoyo que promuevan su desarrollo académico y social.

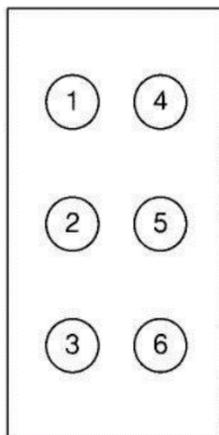
El país cuenta con leyes que garantizan la inclusión, así como la asistencia y acceso a la educación para este grupo vulnerable. El marco legal garantiza ayudas técnicas y tecnológicas para las personas con discapacidad, además de otras medidas de apoyo que promuevan su desarrollo académico y social (Asamblea Nacional República del Ecuador, 2012).

Sistema Braille

El sistema braille no se trata únicamente de un código especial de lectoescritura, sino que constituye también una forma de comunicación alterna a la visual, que emplea mecanismos psíquicos y neurofisiológicos completamente distintos a aquellos que intervienen en la lectura y escritura convencional. Dicho sistema cuenta con un elemento rectangular, formado por 3 filas y 2 columnas, llamado símbolo generador, como se puede visualizar en la Figura 1, a partir del cual se forman todos los caracteres mediante la combinación de puntos en relieve en las diversas posiciones disponibles (Martínez y Polo, 2004).

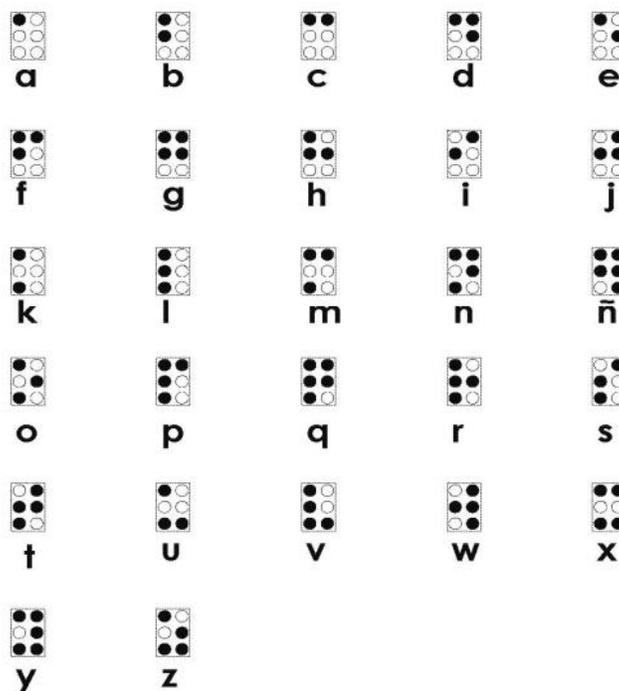
Figura 1

Símbolo generador del sistema Braille



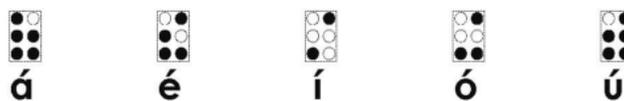
Nota. La nomenclatura habitual designa los puntos de la columna izquierda con los números 1, 2 y 3 y a la columna derecha con los números 4, 5 y 6. Tomado de *Desafíos didácticos de la lectura Braille* (p. 26), por Fernández del Campo (2001), Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE)

En la Figura 2 se observan las combinaciones con las que se representan los caracteres desde la letra “a” hasta la letra “z” en minúsculas en el idioma español.

Figura 2*Alfabeto Braille*

Nota. Tomado de NTE INEN 2850 Requisitos de accesibilidad para la rotulación (p. 27), por INEN (2014), obtenido de: https://www.riadis.org/wp-content/uploads/2020/10/norma_inen_2850_rotulacion.pdf

En el sistema Braille se emplean signos específicos del idioma en el que están escrito el texto en caracteres visuales (INEN, 2014). En la Figura 3 se muestran los signos correspondientes a las vocales tildadas empleadas en español.

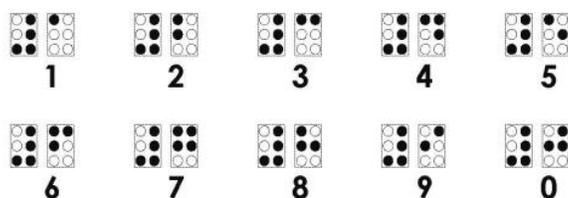
Figura 3*Vocales Tildadas*

Nota. Tomado de NTE INEN 2850 Requisitos de accesibilidad para la rotulación (p. 27), por INEN (2014), obtenido de: https://www.riadis.org/wp-content/uploads/2020/10/norma_inen_2850_rotulacion.pdf

Los números se representan como indica la figura 4.

Figura 4

Números en Braille



Nota. Tomado de NTE INEN 2850 Requisitos de accesibilidad para la rotulación (p. 28), por INEN (2014), obtenido de: https://www.riadis.org/wp-content/uploads/2020/10/norma_inen_2850_rotulacion.pdf

Los signos de puntuación se representan en español de la manera ilustrada en la Figura 5.

Figura 5

Signos de Puntuación



Nota. Tomado de NTE INEN 2850 Requisitos de accesibilidad para la rotulación (p. 28), por INEN (2014), obtenido de: https://www.riadis.org/wp-content/uploads/2020/10/norma_inen_2850_rotulacion.pdf

Para las letras mayúsculas se utiliza un signo especial antes del carácter, como se observa en la Figura 6.

Figura 6

Signo de Mayúscula

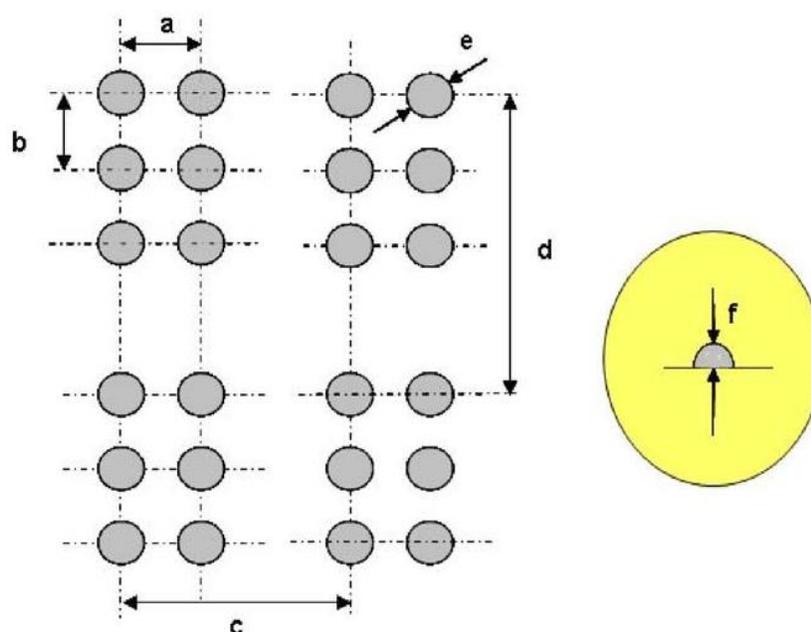
Signo braille	Puntos
	4 , 6

Nota. Tomado de NTE INEN 2850 Requisitos de accesibilidad para la rotulación (p. 29), por INEN (2014), obtenido de: https://www.riadis.org/wp-content/uploads/2020/10/norma_inen_2850_rotulacion.pdf

La celda Braille debe cumplir con ciertas dimensiones para una adecuada lectura, las cuales son dispuestas de la manera que se muestra en la Figura 7.

Figura 7

Distancias en la celda Braille



Nota. Se observan las distancias verticales y horizontales tanto dentro de una misma celda Braille como entre celdas aledañas. Tomado de NTE INEN 2850 Requisitos de accesibilidad para la rotulación (p. 23), por INEN (2014), obtenido de: https://www.riadis.org/wp-content/uploads/2020/10/norma_inen_2850_rotulacion.pdf

Donde:

a = Distancia horizontal entre los centros de puntos adyacentes dentro de una misma celda Braille, que varían desde 2,4 mm a 2,75 mm.

b = Distancia vertical entre los centros de puntos adyacentes dentro de una misma celda Braille, toma valores que van de 2,4 mm a 2,75 mm.

c = Distancia en dirección horizontal entre los centros de puntos equivalentes de celdas adyacentes: de 6,0 mm a 6,91 mm.

d = Distancia vertical entre los centros de puntos equivalentes de celdas adyacentes: 10,0 mm a 11,26 mm

e = Medida del diámetro de la base de los puntos, puede tener un valor entre 1,2 mm y 1,9 mm

f = Medida de la altura mínima del relieve del punto: 0,50 mm.

En la Tabla 1 se indican los valores recomendados de los diferentes parámetros para la construcción de los caracteres Braille.

Tabla 1

Parámetros recomendados del símbolo generador

Diámetros e	a	b	c	d
1,2	2,40	2,40	6,0	10,00
1,3	2,45	2,45	6,130	10,18
1,4	2,50	2,50	6,260	10,36
1,5	2,55	2,55	6,390	10,54
1,6	2,60	2,60	6,520	10,72
1,7	2,65	2,65	6,650	10,90
1,8	2,70	2,70	6,780	11,08
1,9	2,75	2,75	6,910	11,26

Nota. Tomado de NTE INEN 2850 Requisitos de accesibilidad para la rotulación (p. 24), por INEN (2014), obtenido de: https://www.riadis.org/wp-content/uploads/2020/10/norma_inen_2850_rotulacion.pdf

Existen ciertas diferencias entre el sistema de lectoescritura Braille y el sistema para personas videntes que se deben considerar, una de las principales es el sentido de escritura. En el sistema alfabético tradicional se escribe y se lee de izquierda a derecha, en cambio, el sentido de escritura en Braille es desde derecha hacia la izquierda, con los caracteres invertidos, para que al momento de la lectura los signos en relieve puedan leerse de manera correcta de izquierda a derecha.

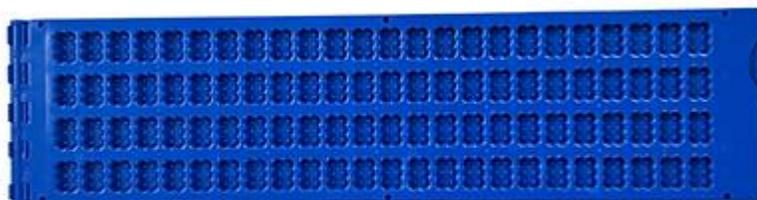
Percepción háptica

Según Ballesteros (1994) la percepción háptica se define como la acción en conjunto de la percepción táctil y la cinestésica, la cual permite obtener información detalladas sobre las particularidades de los objetos. Los receptores de la piel son los encargados de enviar datos en la percepción del tacto, en donde el observador se queda inmóvil ante el estímulo, por el contrario, en la percepción cinestésica son los músculos y los tendones quienes recopilan datos del objeto mediante el movimiento. La percepción háptica es la empleada en la lectura Braille al momento de interpretar los caracteres en relieve.

Instrumentos manuales

Regleta

La regleta consta de dos placas, las cuales se unen mediante una bisagra. La placa superior cuenta con cavidades a modo de guía por las que se desliza el punzón, mientras que la inferior tiene muescas circulares dispuestas en las posiciones del símbolo generador (Instituto Nacional para Ciegos, 2020). La regleta Braille se muestra en la Figura 8.

Figura 8*Regleta Braille*

Nota. Tomado de Regleta positiva pequeña [Fotografía], por Braille Chile (2022), obtenido de: <https://www.braillechile.cl/product-page/regleta-positiva-peque%C3%B1a>

El punzón

Según Instituto Nacional para Ciegos (2020), El punzón permite marcar en relieve los puntos, una vez colocada la regleta adecuadamente sobre el papel. Existen dos tipos de mangos del punzón, los cuales pueden ser redondos o tipo “oreja”. El punzón se ilustra en la Figura 9.

Figura 9*Punzón*

Nota. Tomado de Punzón plástico verde [Fotografía], por Braille Chile (2022), obtenido de: <https://www.braillechile.cl/product-page/punz%C3%B3n-pl%C3%A1stico-verde>

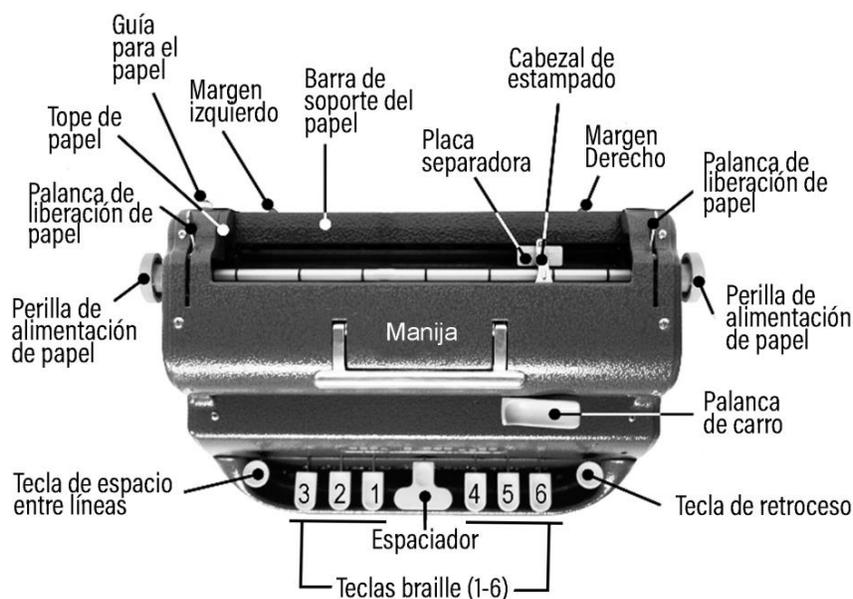
Tipo de material utilizado

Papel braille:

Existen diferentes opciones de material sobre el cual escribir en relieve, una de ellas es el papel plástico, conocido como thermoform, que presenta ventajas notables al no alterar las características del punto con la lectura Braille, la desventaja de este tipo de papel es que la sensación al contacto con la piel de los dedos no resulta cómoda. En contraposición el papel Braille, produce una sensación más grata al tacto pero se deteriora con el uso, cuenta con un grosor mayor que el de las hojas utilizadas comúnmente, con un calibre recomendado entre 90 y 115 de gramaje, Por estas particularidades, se debe almacenar de manera vertical para evitar que la presión de los libros reduzca la profundidad y la forma de los patrones en relieve. (Instituto Nacional para Ciegos, 2020)

Máquina de escribir Braille

La máquina de escribir Braille consta de 9 teclas. La tecla 1 se pulsa con el índice izquierdo, La tecla 2 con el corazón izquierdo, La tecla 3 con el anular izquierdo, La tecla 4 con el índice derecho, La tecla 5 con el corazón derecho, La tecla 6 con el anular derecho, La tecla espaciadora con el pulgar (Noboa et al., 2015). Cómo se observa en la Figura 10.

Figura 10*Máquina de escribir Braille*

Nota. Máquina de escribir Braille y sus elementos. Tomado de Máquina de escribir Perkins brailleur [Fotografía], por Ogalde (2023), obtenido de: <https://opencluster-tech.cl/2023/02/06/conoce-mas-sobre-maquina-de-escribir-perkins-brailleur/>

Adaptación de Impresora Convencional a Impresora Braille - Modelo Funcional

En Agüero Hemmes (2016) se realizó la implementación de un modelo funcional de impresora Braille que parte como base la modificación de una impresora convencional tipo “matriz de punto”, integrando un software que permita un interfaz gráfico de usuario (I.U.), intuitiva y de fácil uso para el usuario, de bajo costo por su construcción con componentes de fácil acceso. Para el mecanismo percutor se empleó un actuador eléctrico empleado en los seguros de automóvil, acoplado el punzón en la punta de dicho actuador. En la interfaz gráfica se ingresa el texto a traducir en una ventana localizada en el lado izquierdo, y el texto procesado se muestra en el lado derecho para que el usuario pueda observar la manera en que

se imprimirá el texto. Este modelo es capaz de imprimir 30 caracteres por cada línea , y 20 líneas por cada página A4.

Implementación de un prototipo de impresora braille de bajo costo, basado en hardware libre

En Vinueza et al. (2017) se implementó una impresora braille de costo accesible, dirigida para las personas con discapacidad visual, a partir de una impresora común. Se empleó un módulo Arduino Mega, el cual cuenta internamente con el microcontrolador ATmega2560, el cual recibe los caracteres del computador a través del software LabVIEW. Cuenta con un módulo para reproducir audio y una pantalla LCD.

Para el sistema percutor se colocó una bobina electromagnética sobre el carrete de impresión, en remplazo de los cartuchos de tinta. Esta impresora tiene la capacidad de imprimir 29 caracteres por fila y 24 filas por cada página.

Impresora Braille INDEX BASIC-D V5

La impresora Braille comercial INDEX BASIC-D V5, la cual se observa en la Figura 11, utiliza un papel continuo para la impresión, es capaz de imprimir 140 caracteres por segundo, con tamaño de fuente Braille 2.2, 2.5 y 3.2mm. El usuario tiene la facultad de especificar el tamaño de impresión, con formatos que van desde 25 a 431mm de largo, y el ancho varía desde 100 a 325mm. La impresora Braille INDEX BASIC-D V5 incluye un cortador de papel. (Grupo Social ONCE, 2013)

El precio de este modelo comercial de impresora Braille es de 3252.86 \$USD. (Tenyus Social Ware, 2023)

Figura 11*Impresora Braille INDEX BASIC-D V5*

Nota. Tomado de Impresora Braille Index Basic-D V5 + Campana [Foto], por Grupo Social ONCE (2013), obtenido de: https://cti.once.es/catalogo-comercial/buscador-del-catalogo-comercial/view_item?prodcodid=027&prodcodanid=2021

Impresora Braille EVEREST-D V5

Esta impresora, que se muestra en la Figura 12, es alimentada por hojas cortadas, tiene la capacidad de imprimir 400 páginas de tamaño A4 por cada hora, además de gráficos táctiles. La velocidad de impresión es de 110 caracteres por segundo. La fuente Braille incluye tamaños de 2.2, 2.5 y 3.2mm. Tiene un precio en el mercado de 4772.68 \$USD. (Tenyus Social Ware, 2023)

Figura 12*Impresora Braille EVEREST-D V5*



Nota. Tomado de (Tenyus Social Ware, 2023)

En la Tabla 2 se observa la comparación de los distintos parámetros de los modelos de impresora mencionados, comerciales y no comerciales.

Tabla 2

Parámetros de impresoras Braille

	Adaptación de Impresora Convencional a Impresora Braille – Modelo Funcional	Implementación de un prototipo de impresora braille de bajo costo, basado en hardware libre	Impresora Braille INDEX BASIC-D V5	Impresora Braille EVEREST-D V5
Velocidad de impresión (Caracteres por Segundo)	0.5 CPS	0.17 CPS	140 CPS	110 CPS
Rendimiento (Hojas A4 por hora)	2.5	0.91	(No especificado)	400
Capacidad de imprimir gráficos en relieve	NO	NO	SI	SI
Costo total de la implementación	6.99 \$USD	Económico (No especificado)	3252.86 \$USD (Precio de venta)	4772.68 \$USD (Precio de venta)

Nota. Comparación de parámetros relevantes entre prototipos desarrollados y modelos comerciales.

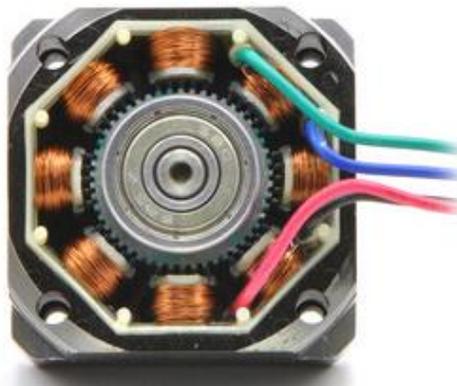
Motor a pasos

Un motor a pasos, que se muestra en la Figura 12, es un elemento electromecánico que transforma pulsos de naturaleza eléctrica, aplicados a la entrada, en un movimiento rotatorio de salida. La dirección en la que el motor gira está vinculada con la secuencia en la que los pulsos son aplicados. La frecuencia de los pulsos eléctricos determina la velocidad que alcanza el motor, así como el número de pulsos establece el ángulo de desplazamiento angular (Pérez Castillo, 2005).

Este tipo de motor difiere de los motores CD, que giran de manera continua, en que su eje rota en ángulos discretos, llamados generalmente pasos, donde el valor del paso varía de acuerdo al diseño del motor.

Figura 13

Interior de un motor a pasos



Nota. Tomado de Stepper Motor: Bipolar, 200 Steps/Rev, 28x32mm, 3.8V, 0.67 A/Phase

[Fotografía], por Pololu Corporation (2023), obtenido de: <https://www.pololu.com/product/1205>

Los motores a pasos pueden clasificarse en motores de imanes permanentes, reluctancia variable y motores híbridos. Los motores de imán permanente cuentan con un imán permanente en el rotor, lo que le proporciona cierto par incluso al no estar energizados. Los motores de reluctancia variable alcanzan velocidades mayores e inercias menores que el primer tipo de motores mencionado, posee un rotor formado de hierro dulce, este material tiene una magnetización residual tendente a ser nula, lo que causa que cuando la corriente no transita por los devanados del estator el par de resistencia sea prácticamente cero (Caum, 2006).

Los motores híbridos combinan las características de los motores de imán permanente y de reluctancia variable, entregando pares elevados y altas velocidades de giro, además de un par de detención de valor considerable.

Drivers de motores a pasos

Un driver, conocido también como controlador, es un dispositivo que amplifica la corriente, que hace posible convertir las señales de entrada, es decir las señales de control, en señales con una corriente más elevada, que tienen como fin el activar los devanados de la fase de potencia. Existen diferentes tipos de drivers dado las variadas aplicaciones que tienen los motores a pasos en la actualidad. En la Figura 13 se observa un driver de motor a pasos (Machado Díaz y Coto Fuentes, 2022).

Figura 14

Driver de un motor a pasos



Nota. Tomado de Desarrollo de control de motores a pasos por hardware utilizando microcontroladores PSoC, por Machado Díaz & Coto Fuentes (2022, pág. 91), Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo

La Raspberry Pi puede considerarse de varias maneras, como un computador monoplaca, una computadora de escritorio, un computador portátil o un dispositivo inteligente. Consta de una única placa de circuito. Es un equipo de tamaño reducido, pese a esto cuenta con una gran potencia y eficiencia (Pérez Tavera, 2021).

La plataforma Raspberry Pi posee un sistema operativo basado en Linux, posee herramientas propias de uso sencillo e intuitivo, además permite la instalación del sistema operativo que corresponda a las necesidades de cada aplicación esperada. La fundación encargada del desarrollo Raspberry Pi promociona de manera oficial al sistema Raspbian como su sistema operativo principal, el cual es un sistema operativo GNU/Linux con base en Debian.

Este tipo de computador monoplaca admite programación directamente desde la línea de comandos, es decir desde la Shell, es posible programar en lenguajes como Java, C, C++, Visual Basic, Ruby, además de lenguajes como Python. El sistema operativo Raspbian cuenta

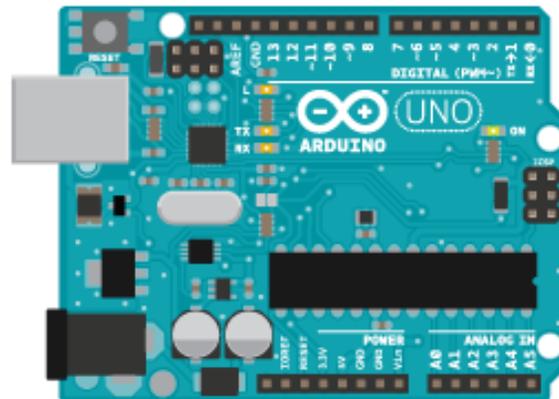
El IDE, entorno de desarrollo integrado, emplea un lenguaje similar a C++, que posibilita editar, compilar y enviar el código a la placa. Las aplicaciones son capaces de funcionar de manera autónoma, sin que sea necesario el estar conectado a una computadora, además Arduino puede interactuar con otros programas en el computador, como MatLab o Labview.

Esta plataforma cuenta con entradas analógicas y digitales, a las que se puede conectar sensores. Es capaz de controlar mediante sus salidas, luces, motores y demás actuadores.

(Herrero Herranz y Sánchez Allende, 2015)

Figura 16

Esquema de Arduino UNO



Nota. Tomado de What is ARDUINO? [Fotografía], por ARDUINO (2023) , obtenido de:

<https://www.arduino.cc/>

ESP32

El ESP32, mostrado en la Figura 17, es un módulo apropiado para el desarrollo de productos de IoT, debido a la integración de la comunicación inalámbrica Bluetooth, y la comunicación Wi-Fi. El Wi-Fi hace posible la conexión a una red LAN, y la conexión a Internet mediante un Router, mientras que el Bluetooth permite conectar dispositivos como celulares de manera directa.

El ESP32 es capaz de integrar una variedad de periféricos tanto de entrada como de salida tales como sensores touch capacitivos, amplificadores de un nivel de ruido bajo, interfaz para tarjeta SD, sensores Hall, entre otros. (Haro Vilaña y Morales Arévalo, 2019)

Figura 17

Módulo ESP-WROOM-32 ESP32 WiFi



Nota. Tomado de Módulo ESP-WROOM-32 ESP32 WIFI [Fotografía], por Naylamp Mechatronics (2016), obtenido de: <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/382-modulo-esp-wroom-32-esp32-wifi.html>

Robot Cartesiano y su configuración Morfológica

Los robots con este tipo de configuración morfológica se caracterizan porque pueden realizar movimientos a lo largo de sus tres ejes X Y Z, el nombre proviene de la alusión a las coordenadas cartesianas, las que son adecuadas para definir la posición de la máquina. (Salazar Jarrín y Urbano Castillo, 2016)

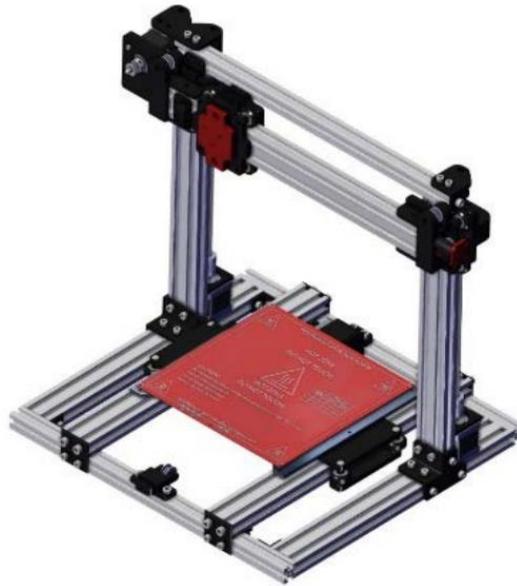
La configuración cartesiana es ampliamente utilizada en máquinas como impresoras 3D, ya que su implementación es sencilla y el sistema es robusto, aunque requiere un número superior de partes y opera a velocidades menores. Posee tres ejes ortogonales que permiten

efectuar el movimiento, en donde el cabezal y la base están fijados a ejes distintos. (Hernández Chalco, 2018)

La configuración descrita se muestra en la Figura 18.

Figura 18

Configuración cartesiana



Nota. Tomado de Investigación Formativa en Ingeniería (p. 568), por Serna (2020), Editorial Instituto Antioqueño de Investigación

Capítulo II: Diseño del sistema mecánico

Especificaciones generales para el diseño del sistema

Se pretende imprimir caracteres en Braille de acuerdo a los parámetros establecidos por la norma INEN 2850. En base a la Tabla 1 el valor seleccionado del diámetro del punto es de 1.9mm, la distancia horizontal "a" tiene un valor de 2.75mm, la distancia vertical "b" toma un valor de 2.75mm, la distancia horizontal "c" es igual a 6.91mm y la distancia vertical "d" tiene un valor de 11.26mm. Se requiere que el valor del relieve del punto sea de 0.5mm como medida mínima recomendada. Los caracteres Braille se forman a partir de la combinación de puntos dispuestos en 3 filas y 2 columnas en el signo generador. Se requiere imprimir en papel de formato A4, cuyas dimensiones son 297mm de alto y 210 mm de ancho, con un gramaje recomendado de un valor de 90.

Adicionalmente se busca la impresión de imágenes cuyos puntos en relieve cuenten con el valor recomendado por la norma INEN 2850.

El costo general de la impresora debe ser económico e inferior al precio de las impresoras comerciales.

Para el desarrollo de la impresora Braille se ha elegido la configuración cartesiana, debido a la naturaleza matricial del símbolo generador Braille. En donde cada eje de movimiento puede relacionarse con un elemento del signo generador Braille

La impresora Braille debe poseer movimientos tanto en el eje X, en el eje Y como en el eje Z, que en este caso está representado por el mecanismo percutor o punzón, para ser capaz de generar los caracteres.

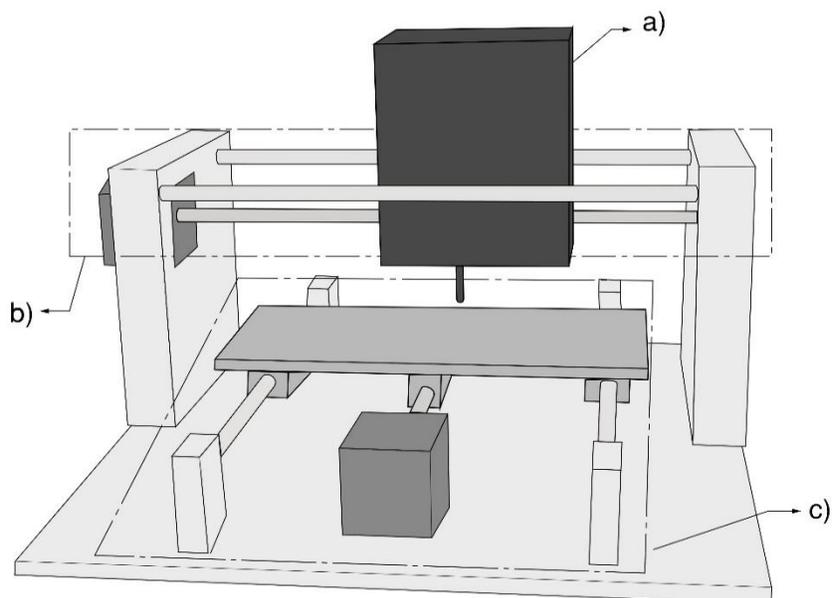
Para cumplir con las distancias recomendadas para las dimensiones de los diferentes caracteres en Braille se requieren movimientos con una precisión de centésimas de milímetro.

Los motores a pasos son capaces de efectuar movimientos rotatorios de 1.8° además cuentan con una gran precisión de posicionamiento y repetibilidad (Pérez Castillo, 2005, págs. 21-22). Por lo que la utilización de motores a pasos es una opción adecuada.

En la Figura 19 se observa el bosquejo de la impresora Braille con los tres mecanismos mencionados.

Figura 19

Bosquejo de la impresora Braille



Nota. El bosquejo de la impresora Braille señala los tres mecanismos de movimiento, a) Mecanismo percutor, b) Mecanismo de desplazamiento en Y, c) Mecanismo de desplazamiento en X

Método de selección: ponderación por puntos

Para determinar el componente a ser utilizado, se emplea una matriz de selección en la cual se asigna un porcentaje de importancia a los parámetros a considerar en la construcción de la máquina, se califica cada opción y finalmente se compara los resultados, estableciendo como primer lugar a aquel que consiga un mayor valor (Ulrich y Eppinger, 2013, pág. 154).

Selección de componentes

Motor NEMA 17HS4401

El motor NEMA 17HS4401 que se observa en la Figura 20, es un modelo híbrido de dos fases, cuenta con una resolución de 1.8 grados, es decir que es capaz de dar una revolución completa en 200 pasos. La corriente nominal por cada fase es de 1.7 A y su voltaje de alimentación de 12 V. Cuenta con un torque de Retención 4000 g/cm (40 N*cm) y un peso de 280g. (Motion King, 2020)

Figura 20

Motor Nema 17HS4401



Nota. Tomado de Motor a Pasos NEMA17 – 17HS4401 [Fotografía] por San Do Robotics (2022) obtenido de: <https://sandorobotics.com/producto/hs2237/>

Motor NEMA 17 POLOLU SY42STH38-1684A

El motor que se muestra en la Figura 21, es un motor bipolar, completa una revolución en 200 pasos. El valor del voltaje de alimentación es de 2.8V, con una corriente de 1.7 A por cada fase. El torque de retención que es capaz de ejercer es de 3.7 kg cm. El tamaño de este componente es de $42^2 \times 38$ mm, con un peso de 285g. (Pololu Corporation, 2023)

Figura 21

Motor Nema POLOLU SY42STH38-1684A



Nota. Tomado de (Pololu Corporation, 2023)

Motor NEMA 23 POLOLU SY57STH41-1006A

El motor que se observa en la Figura 22 es capaz de ejercer un torque con un valor de 4Kg cm, un voltaje de alimentación de 5.7 V así como una corriente de 1 A por fase. Cuenta

con 200 pasos por cada revolución. Tiene unas dimensiones iguales a : $56.4^2 \times 41$ mm, además el peso es de 450g. (Pololu Corporation, 2023)

Figura 22

Motor NEMA 23 POLOLU SY57STH41-1006A



Nota. Tomado de (Pololu Corporation, 2023)

Selección de Motor a Pasos

Tabla 3

Matriz de selección por puntos del motor a pasos

Factor	Peso	Motor 1		Motor 2		Motor 3	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Torque	0.35	9	3.15	7	2.45	9	3.15
Peso	0.2	9	1.8	8	1.6	6	1.2

Factor	Peso	Motor 1	Motor 2	Motor 3			
Medidas	0.2	8	1.6	8	1.6	7	1.4
Costo	0.25	8	2	7	1.75	4	1
TOTAL	1		8.55		7.4		6.75

Luego de ponderar los criterios mediante la Tabla 3, se encuentra en la primera posición el motor Nema 17HS001, que tiene la calificación más alta y presenta ventajas respecto a los otros modelos de motores paso a paso propuestos.

Varilla roscada THSL-8D y tuerca viajera 8mm

Es una varilla de rosca trapezoidal, de 8mm de diámetro y un paso de 2mm por vuelta, está hecha de acero inoxidable, presenta resistencia a la corrosión. Ampliamente empleada en aplicaciones como impresoras 3D y máquinas CNC. La tuerca viajera se desplaza a lo largo del eje roscado. (NovatronicEC, 2023)

La tuerca está hecha de latón. El Latón es una aleación de Cobre y Zinc. (QUIMICA.ES, 2023)

En la Figura 23 se observa el eje o varilla roscada junto con su respectiva tuerca.

Figura 23

Varilla roscada 8mm y tuerca viajera



Nota. Tomado de (NovatronicEC, 2023)

Acople flexible de aluminio de 5mm a 8mm

Este acople, que se muestra en la Figura 24, Se emplea para transmitir la potencia del motor seleccionado hacia el eje roscado, tiene una longitud de 25mm y su diámetro exterior tiene un valor de 18mm, posee diámetros exteriores de 5mm y 8mm. (Naylamp Mechatronics, 2023)

Figura 24

Acople flexible de Aluminio



Nota. Tomado de (NovatronicEC, 2023) *mejorar CITA*

Varilla Lisa de 8mm de diámetro

Varilla de acero de 8mm de diámetro, que se muestra en la Figura 25, puede emplearse como eje lineal.

Figura 25

Varilla Lisa de 8mm



Nota. Tomado de (Grupo Electrostore, 2019)

Rodamiento Lineal SC8LUU de 8mm

Cuenta con un diámetro interno de 8mm, se coloca sobre el eje lineal para disminuir la fricción y permitir un deslizamiento efectivo. Se observa al rodamiento en la Figura 26.

Figura 26

Rodamiento Lineal de 8mm



Nota. Tomado de (Yorobotics, 2021)

Diseño del mecanismo del sistema percutor

Para determinar el mecanismo del sistema percutor, que estará encargado de presionar sobre la hoja para crear los puntos en relieve se tienen tres diferentes conceptos que son detallados a continuación.

Conceptos del mecanismo percutor

Concepto Percutor A: Piñón-Cremallera. En este concepto, mostrado en la Figura 27, el percutor es accionado mediante un servomotor, el cual tiene sujeto a su eje un engrane que a su vez está conectado con una cremallera. Este juego de rueda dentada y cremallera tiene como objetivo convertir el movimiento circular, entregado por el motor, en movimiento lineal aprovechable para presionar la hoja de papel en el proceso de impresión Braille.

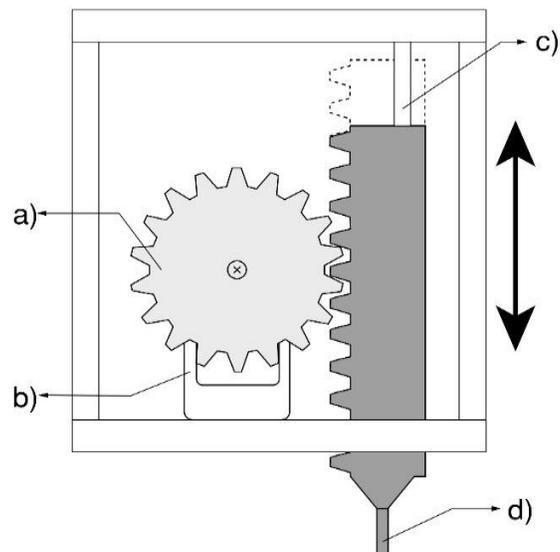
La cremallera terminará en punta, y será el elemento “punzón” del mecanismo, además cuenta con un taladrado por donde se introduce la guía lineal del movimiento.

El servomotor puede moverse de manera precisa a través de 180 grados, requiere de pulsos PWM de entrada para poder ser controlado.

El mecanismo piñón-cremallera tiende a desgastarse por su roce constante al momento de su activación.

Figura 27

Concepto Percutor A: Piñón-Cremallera



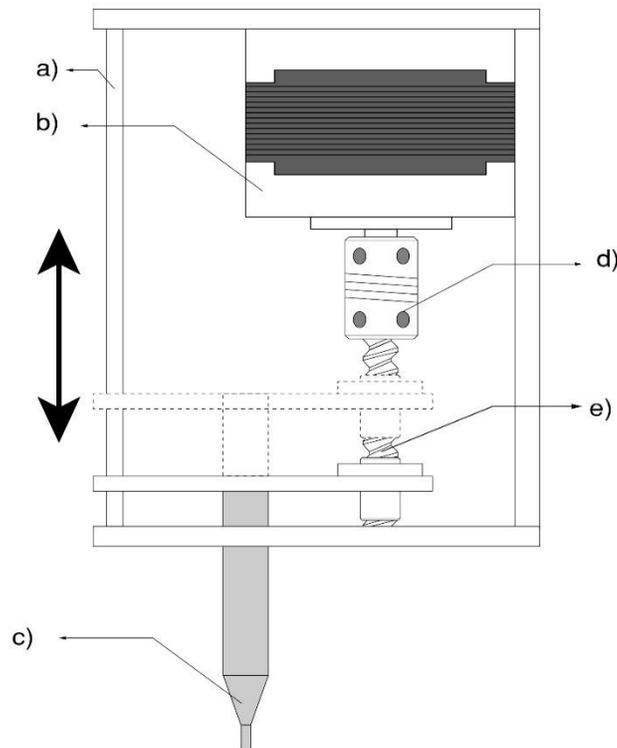
Nota. a) Piñón, b) servomotor, c) guía lineal, d) punzón adherido a la cremallera.

Concepto Percutor B: Motor a Pasos y Eje roscado. Este concepto de percutor, que se observa en la Figura 28, se compone de un motor a pasos conectado a un eje roscado mediante un acople, en dicho eje se deslizará una tuerca que transmitirá un movimiento lineal hacia el punzón, al estar sujeta a una guía metálica.

El motor a pasos tiene la ventaja de girar de manera controlada en ambas direcciones, con gran precisión, aunque su control puede llegar a ser complejo.

Figura 28

Concepto Percutor B: Motor a Pasos y Eje roscado



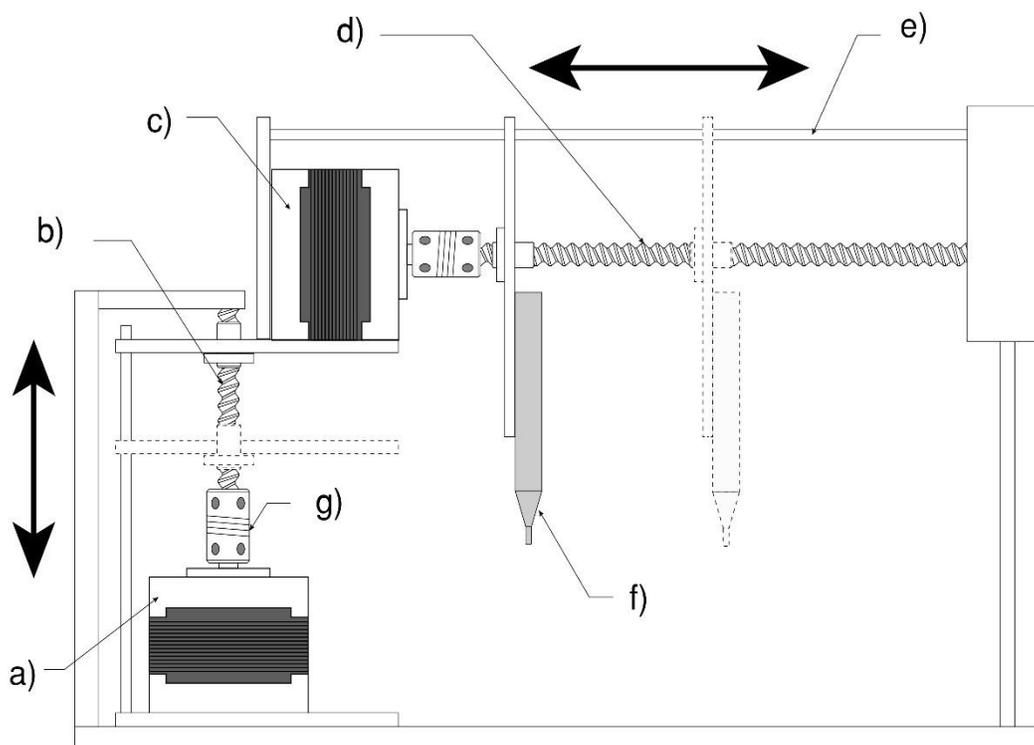
Nota. a) Guía metálica, b) motor a pasos, c) punzón, d) acople, e) eje roscado

Concepto Percutor C: Dos motores a pasos. En este percutor, que se muestra en la Figura 29, un motor a pasos se encarga de posicionar el punzón de manera precisa a lo largo de un eje horizontal, y el elemento punzón está unido a la guía y a la tuerca.

Una vez posicionado, el segundo motor tiene como objetivo mover hacia abajo y hacia arriba el mecanismo. Dicho motor se encuentra acoplado a un eje roscado, en donde una tuerca viajera eleva o desciende una plataforma que sostiene al motor que posiciona el punzón.

Figura 29

Concepto Percutor C: Dos motores a pasos y Ejes roscados



Nota. a) motor a pasos número 1, b) eje roscado 1, c) motor a pasos número 2, d) eje roscado 2, e) guía lineal, f) punzón, g) acople del motor.

En la Tabla 4 se realiza la selección por puntos del concepto percutor.

Tabla 4

Matriz de selección por puntos del concepto del percutor

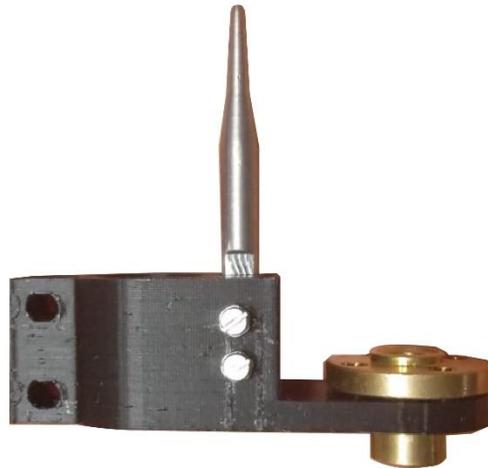
Factor	Peso	Concepto A	Concepto B	Concepto C
		Calif. Pond.	Calif. Pond.	Calif. Pond.

Factor	Peso	Concepto A	Concepto B	Concepto C			
Precisión	0.2	9	1.8	9	1.8	9	1.8
Facilidad de control	0.2	6	1.2	8	1.6	8	1.6
Durabilidad	0.3	7	2.1	9	2.7	7	2.1
Facilidad de manufactura	0.2	7	1.4	8	1.6	5	1
Costo	0.1	8	0.8	7	0.7	5	0.5
TOTAL	1	7.3	8.4	7			

El concepto que obtuvo una mayor valoración fue el concepto B: motor a pasos y guía lineal, frente a los dos conceptos restantes propuestos.

Cálculo del requerimiento del motor del mecanismo percutor

La pieza que conecta la tuerca viajera con la guía lineal y que es la que sostiene al punzón metálico, impresa en PLA tiene una masa de 30g, el punzón metálico tiene una masa a su vez 7g, dando un total de 37g a ser movidos en posición vertical hacia arriba y hacia abajo.

Figura 30*Punzón Metálico*

Nota. El punzón metálico está ensamblado a la pieza de plástico de soporte para desplazarse a lo largo del eje del mecanismo.

$$W = m * g \quad (1)$$

$$W = 0.037[kg] * 9.81\left[\frac{m}{s^2}\right]$$

$$W = 0.363[N]$$

La carga a elevar tiene un valor de 0.363 N

Según Iglesias Calderón (2016) La reacción sobre el eje roscado se ve modificado por la geometría de la rosca, en este caso es una rosca ACME.

El momento torsional necesario para elevar la carga de un tornillo de potencia con collarín es:

$$T = \frac{1 + \mu_1 \pi * dp * \sec \theta}{\pi * dp - \mu_1 \sec \theta} * \frac{W dp}{2} + \frac{\mu_2 * \pi dc}{2} \quad (2)$$

Para descender la carga es:

$$T = \frac{\mu_1 \pi * dp * \sec \theta - 1}{\pi * dp - \mu_1 \sec \theta} * \frac{W dp}{2} + \frac{\mu_2 * \pi dc}{2} \quad (3)$$

Donde:

T= Momento Torsional

μ_1 = Coeficiente de rozamiento del tornillo

μ_2 = Coeficiente de rozamiento del collarín

W= Carga a mover

$\theta = 14.5^\circ$ Angulo de la rosca ACME

dp= 7mm Diámetro medio del tornillo de potencia

dc= mm Diámetro medio del collarín

Donde se considera el coeficiente de rozamiento entre el acero del eje roscado y el bronce de la tuerca con collarín con un valor de $\mu_1=0.15$, y para el coeficiente de rozamiento entre la pieza de PLA y el collarín se usa un valor de $\mu_2=0.16$.

El diámetro medio del collarín es de 16mm.

Con dichas ecuaciones se obtiene el momento torsional para elevar la carga:

$$T = \frac{1 + (0.15)\pi * (0.007m) * \sec(14.5^\circ)}{\pi * (0.007m) - (0.15)\sec(14.5^\circ)} * \frac{(0.363N)(0.007m)}{2} + \frac{(0.16) * \pi(0.016m)}{2}$$

$$T = \frac{1.003472}{-0.1329} * \frac{(0.363N)(0.007m)}{2} + \frac{(0.16) * \pi(0.016m)}{2}$$

$$T = -0.005.572 Nm$$

Se obtiene también el momento torsional requerido para descenderla

$$T = \frac{(0.15)\pi * (0.007m) * \sec(14.5^\circ) - 1}{\pi * (0.007m) - (0.15)1\sec(14.5^\circ)} * \frac{(0.363N)(0.007m)}{2} + \frac{(0.16) * \pi(0.016m)}{2}$$

$$T = 0.0095341 + 0.00402$$

$$T = 0.0136 Nm$$

El motor Nema 17HS4401 posee un torque de 0.4Nm, el cual es mayor a los requeridos para el desplazamiento, garantizando el correcto funcionamiento del mecanismo percutor observado en la Figura 31.

Figura 31

Mecanismo Percutor



Nota. Mecanismo percutor con el motor a pasos seleccionado y el punzón metálico ensamblados

Diseño del mecanismo de desplazamiento X e Y

Considerando el tipo de mecanismo percutor seleccionado se diseñan los mecanismos para ejecutar los movimientos restantes. El mecanismo del movimiento en el eje Y es el encargado de desplazar el percutor a lo largo de dicho eje, tanto en una como en otra dirección, por lo que el eje roscado soporta una carga causada por el percutor.

El movimiento en el eje X tiene la finalidad de desplazar de izquierda a derecha la tablilla de impresión Braille, por lo tanto, dicha tablilla genera una carga aplicada en dos puntos, sobre el eje roscado conectado al motor.

Mecanismo Desplazamiento en X

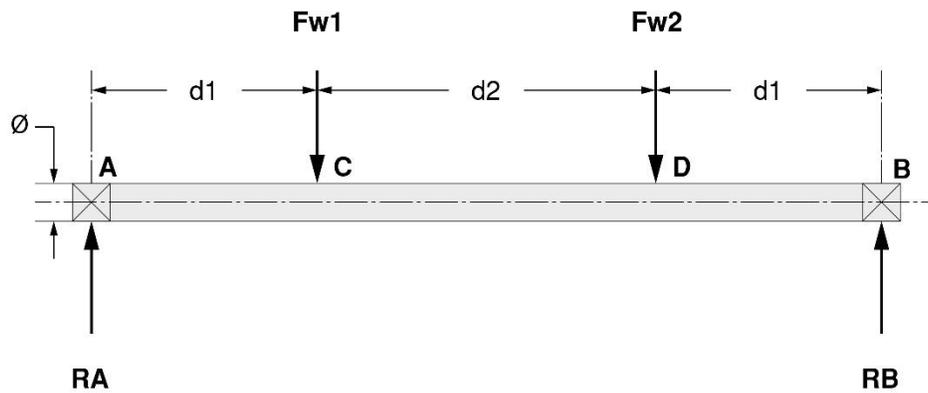
El mecanismo de desplazamiento en X cuenta con un motor a pasos, un eje roscado de 8mm, con paso de 2mm y una hélice trapezoidal, además de 2 guías lineales.

Se analiza el eje roscado del desplazamiento en X como un eje sólido con el valor del diámetro igual a la medida del diámetro interior del eje roscado, es decir de 6mm.

Se analiza, en la Figura 32, el comportamiento de las fuerzas que intervienen en el eje X.

Figura 32

Diagrama de Fuerzas del eje en X



De forma experimental se aproxima las cargas soportadas por el eje roscado a 2 cargas de 70g de los 400g totales del soporte de la hoja. Por lo que cada carga es igual a 0.687 N.

$$F_{W1} = F_{W2} = m * g \quad (4)$$

$$F_{W1} = F_{W2} = (0.07g) * (9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$F_{W1} = F_{W2} = 0.687N$$

Donde

RA= Reacción en el punto A

RB= Reacción en el punto B

FW1= 0.687N carga producida por el peso del soporte de la hoja

FW2= 0.687N carga producida por el peso del soporte de la hoja

$d_1=0.210$ m distancia 1

$d_2= 0.220$ m distancia 2

Se calcula el valor de las reacciones mediante sumatoria de fuerzas y sumatoria de momentos.

Sumatoria de fuerzas en el eje Y.

$$+\uparrow \sum F_y = 0 \quad (5)$$

$$R_A + R_B - F_{W1} - F_{W2} = 0 \quad (6)$$

$$R_A = F_{W1} + F_{W2} - R_B$$

Sumatoria de momentos en el punto A.

$$+\cup \sum M_A = 0 \quad (7)$$

$$R_B(2 * d_1 + d_2) - F_{W1}(d_1) - F_{W2}(d_1 + d_2) = 0 \quad (8)$$

$$R_B(2 * d_1 + d_2) = F_{W1}(d_1) + F_{W2}(d_1 + d_2)$$

$$R_B = \frac{F_{W1}(d_1) + F_{W2}(d_1 + d_2)}{(2 * d_1 + d_2)}$$

$$R_B = \frac{0.687 \text{ N}(0.21\text{m}) + 0.687 \text{ N}(0.21\text{m} + 0.22\text{m})}{(2 * 0.21\text{m} + 0.22\text{m})}$$

$$\mathbf{R_B = 0.687 \text{ N}}$$

Una vez obtenida el valor de la reacción en el punto B se determina el valor que tiene la reacción en el punto A, a partir de la ecuación obtenida por la sumatoria de fuerzas respecto al eje Y:

$$R_A = F_{W1} + F_{W2} - R_B$$

$$R_A = 0.687N + 0.687N - 0.687N$$

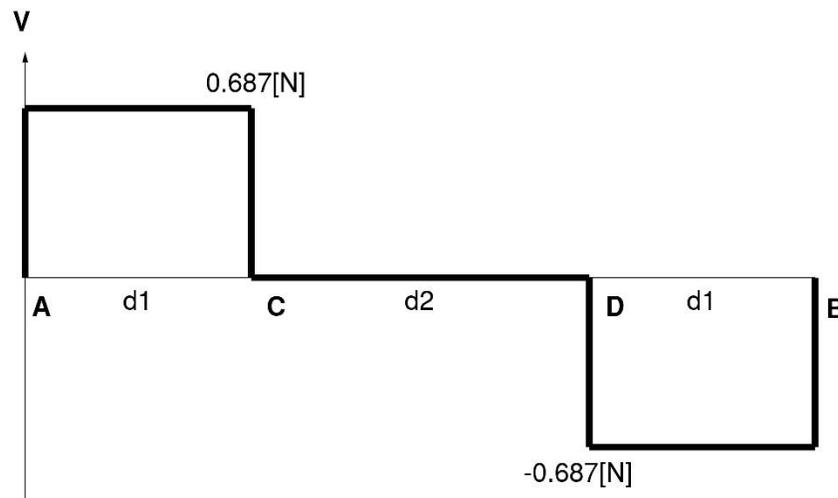
$$R_A = 0.687N$$

Con el valor de las dos reacciones, se dibuja el diagrama de fuerzas cortantes.

En la Figura 33 se observa el diagrama de fuerzas cortantes en el Eje X

Figura 33

Diagrama de fuerzas cortantes en el Eje X



A partir del diagrama de fuerzas cortantes se determina el valor de los momentos flectores a través del método de áreas.

$$M_{A1} = R_A * d1 \tag{9}$$

$$M_{A1} = 0.687N * 0.21m$$

$$\mathbf{M_{A1} = 0.144 Nm}$$

Se calcula el momento del área ubicada en la mitad.

$$M_{A2} = 0 * d2 \quad (10)$$

$$\mathbf{M_{A2} = 0Nm}$$

Se calcula el área número 3

$$M_{A3} = R_B * d1$$

$$M_{A3} = 0.687 N * 0.21m$$

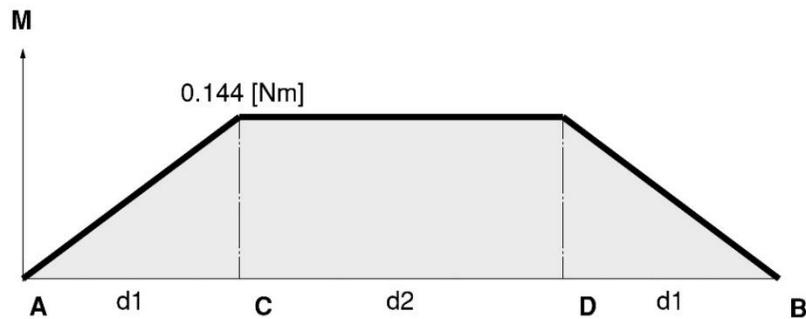
$$\mathbf{M_{A3} = 0.144 Nm}$$

Como el área número 3 está ubicada debajo del eje horizontal, el momento se considera negativo.

En la Figura 34 se observa el diagrama de esfuerzos flectores en el Eje X

Figura 34

Diagrama de esfuerzos flectores en el Eje X



El punto C y el punto D es el lugar donde se aplica el mayor momento flector sobre el eje del mecanismo de movimiento en X, por lo cual se analizan los demás esfuerzos en ese punto.

$$\sigma_x = \frac{M * c}{I} \quad (11)$$

$$\sigma_x = \frac{M * r}{\pi * \frac{r^4}{4}} \quad (12)$$

$$\sigma_x = \frac{4M}{\pi * r^3} \quad (13)$$

$$\sigma_x = \frac{4(0.144Nm)}{\pi * (0.003m)^3}$$

$$\sigma_x = 6790610.905 Pa$$

$$\sigma_x = 6.79MPa$$

Se calcula el esfuerzo causado por la torsión

$$\tau_{xy} = \frac{16(T_m)}{\pi(\emptyset)^3} \quad (14)$$

Donde el T_m representa el torque que le transmite el motor al eje y es igual a 0.4Nm, y \emptyset es el diámetro del eje.

$$\tau_{xy} = \frac{16(0.4Nm)}{\pi(0.006)^3}$$

$$\tau_{xy} = 9431404.035Pa$$

$$\tau_{xy} = 9.43MPa$$

Mediante la teoría de la energía de distorsión se procede con el análisis de falla estática, y se obtiene el esfuerzo de Von Mises con la siguiente expresión.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (15)$$

$$\sigma' = \sqrt{(6.79MPa)^2 + (0)^2 - (6.79MPa)(0) + 3(9.43Pa)^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{312.88 MPa^2}$$

$$\sigma' = 17.69MPa$$

Para evitar que el eje falle de manera estática el factor de seguridad se recomienda un valor superior a 3.

$$\sigma' \geq \frac{FS}{S_y} \quad (16)$$

El material del que está fabricado el eje es acero inoxidable 304.

En la Tabla 5 se observan los valores de resistencia a la tensión de diferentes materiales.

Tabla 5

Matriz de Resistencia de varios materiales metálicos

Resistencia (a la tensión)								
Número	Material	Condición	Fluencia S_y , MPa (kpsi)	Última S_u , MPa (kps)	A la fractura, σ_f , MPa (kpsi)	Coefficiente σ_o , MPa (kpsi)	Resistencia a la deformación, exponente m	Resistencia a la fractura ϵ_f
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) ↑	620 (90.0)	0.25	1.05
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) ↑	992 (144)	0.14	0.49
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) ↑	758 (110)	0.24	0.85
1045	Acero	TyR 600°F	1520 (220)	1580 (230)	2380 (345) ↑	1880 (273) ↑	0.041	0.81
4142	Acero	TyR 600°F	1720 (250)	1930 (210)	2340 (340) ↑	1760 (255) ↑	0.048	0.43
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1520 (221) ↑	1410 (205) ↑	0.51	1.16
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1600 (233) ↑	1270 (185)	0.45	1.67
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) ↑	620 (90)	0.28	0.10
2024	Aleación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) ↑	689 (100)	0.15	0.18
7075	Aleación de aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) ↑	882 (182)	0.13	0.18

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2011)

$$S_y = 276 \text{ MPa}$$

$$FS = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (17)$$

$$FS = \frac{276 \text{ MPa}}{17.69 \text{ MPa}}$$

$$FS = 15.6$$

Se comprueba que el factor de seguridad es superior a 3, por lo cual el eje del mecanismo de movimiento en X no fallará de forma estática.

Se analiza al eje del mecanismo X bajo el criterio de fallo por fatiga mediante la siguiente ecuación.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (18)$$

Dónde:

k_a : factor de superficie

k_b : factor de tamaño

k_c : factor de carga

k_d : factor de temperatura

k_e : factor de confiabilidad

k_f : factor de efectos varios

S'_e : límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

El límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria S'_e , se calcula empleando la expresión:

$$S'_e = 0.5S_{ut} \quad (19)$$

El eje está hecho de acero inoxidable 304 por lo cual:

$$S_{ut} = 568\text{Mpa}$$

Con este valor se calcula el límite de resistencia a la fatiga rotatoria, reemplazando los datos en la fórmula establecida.

$$S'_e = 0.5(568\text{MPa})$$

$$S'_e = 284\text{MPa}$$

Se calcula el factor de superficie:

$$k_a = aS_{ut}^b \quad (20)$$

Con los datos establecidos en la Tabla 6:

Tabla 6

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S _{ut} , kpsi	S _{ut} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.0995

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2011)

$$k_a = 4.51(568)^{-0.265}$$

$$k_a = 0.8399$$

El factor de tamaño k_b se determina considerando el diámetro del eje.

$$b = \begin{cases} \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} = 0.879 d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2\text{pulg} \\ 0.91 d^{-0.157} & 2 < d \leq 10\text{pulg} \\ \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} = 1.24 d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51\text{mm} \\ 1.51 d^{-0.157} & 51 \leq d \leq 254\text{mm} \end{cases} \quad (21)$$

$$k_b = 1.24 d^{-0.107}$$

$$k_b = 1.24(6)^{-0.107}$$

$$k_b = 1.0237$$

El factor de carga k_c toma un valor de 1 al tener una carga de flexión.

$$k_c = 1$$

El factor de temperatura k_d , se asume con el valor de 1.

$$k_d = 1$$

Se asume una confiabilidad del 99% , en base a la Tabla 7 y se obtiene el siguiente factor:

Tabla 7

Factor de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_e
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2011)

$$k_e = 0.814$$

El factor de efectos varios k_f , se toma con un valor de 1.

$$k_f = 1$$

Al reemplazar los datos se obtiene el límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = (0.8399)(1.0237)(1)(1)(0.814)(1)(284MPa)$$

$$S_e = 198.77 MPa$$

Una vez obtenido el límite de resistencia a la fatiga se calculan los esfuerzos fluctuantes.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (22)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (23)$$

Al reemplazar los datos de esfuerzos cortantes se tiene.

$$\sigma_m = \frac{6.79MPa + (-6.79MPa)}{2}$$

$$\sigma_m = 0$$

$$\sigma_a = \frac{6.79MPa - (-6.79MPa)}{2}$$

$$\sigma_a = 6.79MPa$$

Se reemplazan los valores de los esfuerzos cortantes por flexión.

$$\tau_m = \frac{9.43MPa - (-9.43MPa)}{2} = 9.43MPa$$

$$\tau_a = \frac{9.43MPa + (-9.43MPa)}{2} = 0$$

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}$$

$$\sigma_a = \sqrt{6.79MPa^2 + 3(0)^2}$$

$$\sigma_a = 6.79MPa$$

$$\sigma_m = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2}$$

$$\sigma_m = \sqrt{0^2 + 3(9.43MPa)^2}$$

$$\sigma_m = 16.33MPa$$

En la ecuación del criterio de Goodman modificada es.

$$\frac{1}{FS} = \frac{\sigma_a}{Se} + \frac{\sigma_m}{Sut} \quad (24)$$

Al despejar para obtener el factor de seguridad y reemplazar los valores obtenidos.

$$FS = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{Se} + \frac{\sigma_m}{Sut}}$$

$$FS = \frac{1}{\frac{6.79MPa}{198.77 MPa} + \frac{16.33MPa}{568Mpa}}$$

$$FS = 15.89$$

Al tener un factor de seguridad de 15 el eje no fallará por fatiga.

Mecanismo Desplazamiento en Y

El mecanismo de desplazamiento en Y está conformado por un motor a pasos, un eje roscado de 8mm de diámetro y dos guías lineales, este mecanismo es el encargado de mover el mecanismo percutor

Para el diseño del eje del mecanismo encargado del desplazamiento en Y, se analiza el núcleo de tornillo como un eje sólido, considerando su diámetro con el valor del diámetro interior del eje roscado. Por lo tanto, el diámetro a considerar será de 6mm.

Se analiza el comportamiento de las fuerzas que intervienen en el eje Y.

Se determinó de manera experimental que el eje roscado soporta 145g de los 420g totales del mecanismo del punzón. Por lo que la carga es igual a 1.42N.

$$F_W = m * g \quad (25)$$

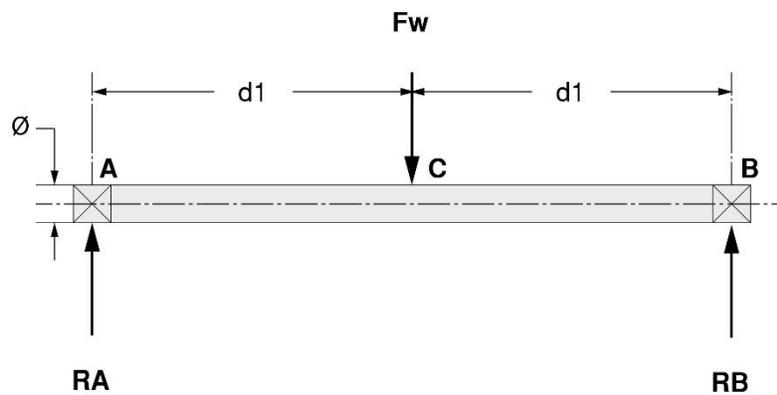
$$F_W = (0.145g) * (9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$F_W = 1.42N$$

En la Figura 35 se muestra el Diagrama de fuerzas en el eje del movimiento Y.

Figura 35

Diagrama de fuerzas del eje del mecanismo Y



Se calcula el valor de las reacciones mediante sumatoria de fuerzas y sumatoria de momentos.

Sumatoria de fuerzas en el eje Y.

$$+\uparrow \sum F_y = 0 \quad (26)$$

$$R_A + R_B - F_W = 0$$

$$R_A = F_W - R_B$$

Sumatoria de momentos en el punto A.

$$+\circlearrowleft \sum M_A = 0 \quad (27)$$

$$R_B(2 * d1) - F_W(d1) = 0$$

$$R_B(2 * d1) = F_W(d1)$$

$$B(2) = F_W$$

$$R_B = \frac{F_W}{2}$$

$$R_B = \frac{1.42N}{2}$$

$$\mathbf{R_B = 0.71 N}$$

Con el valor de la reacción en el punto B se puede determinar el valor que tiene la reacción en el punto A, a partir de la ecuación obtenida por la sumatoria de fuerzas respecto al eje Y:

$$R_A = F_W - R_B$$

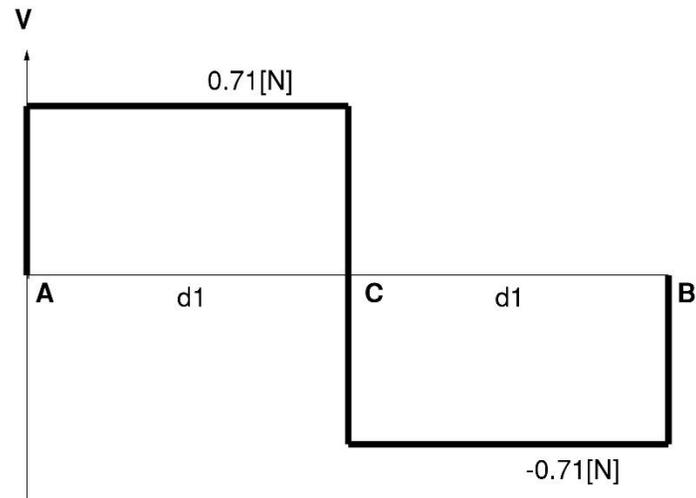
$$R_A = 1.42N - 0.71N$$

$$\mathbf{R_A = 0.71N}$$

Una vez conocido el valor de las dos reacciones, se dibuja el diagrama de fuerzas cortantes, mostradas en la Figura 36.

Figura 36

Diagrama de fuerzas cortantes en el Eje Y



A partir del diagrama de fuerzas cortantes se determina el valor de los momentos flectores a través del método de áreas.

$$M_{A1} = R_A * d1$$

$$M_{A1} = 0.71N * 0.25m$$

$$M_{A1} = \mathbf{0.1775 Nm}$$

De la misma forma se calcula el siguiente momento

$$M_{A2} = R_B * d1$$

$$M_{A2} = 0.71N * 0.25m$$

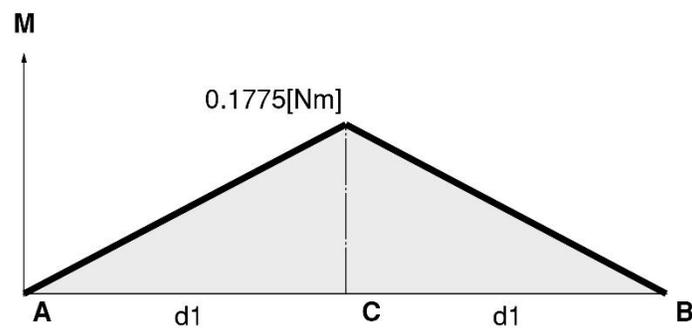
$$M_{A2} = \mathbf{0.1775 Nm}$$

Como la segunda área está ubicada debajo del eje horizontal el momento se considera negativo.

En la Figura 37 se observan los esfuerzos flectores en el Eje Y.

Figura 37

Diagrama de esfuerzos flectores en el Eje Y



El punto C es donde se aplica el mayor momento flector sobre el eje del mecanismo de movimiento en Y, por lo cual se analizan los demás esfuerzos en ese punto.

$$\sigma_x = \frac{M * c}{I}$$

$$\sigma_x = \frac{M * r}{\pi * \frac{r^4}{4}}$$

$$\sigma_x = \frac{4M}{\pi * r^3}$$

$$\sigma_x = \frac{4(0.1775Nm)}{\pi * (0.003m)^3}$$

$$\sigma_x = 8370371.081 Pa$$

$$\sigma_x = 8.37MPa$$

Se calcula el esfuerzo causado por la torsión mediante la ecuación 14.

Donde el T_m representa el torque que le transmite el motor al eje y es igual a 0.4Nm, y \emptyset es el diámetro del eje.

$$\tau_{xy} = \frac{16(0.4Nm)}{\pi(0.006)^3}$$

$$\tau_{xy} = 9431404.035Pa$$

$$\tau_{xy} = 9.43MPa$$

Mediante la teoría de la energía de distorsión se procede con el análisis de falla estática, y se obtiene el esfuerzo de Von Mises con la ecuación 15.

$$\sigma' = \sqrt{(8.37MPa)^2 + (0)^2 - (8.37MPa)(0) + 3(9.43Pa)^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{336.8316 MPa^2}$$

$$\sigma' = 18.35 MPa$$

Para evitar que el eje falle de manera estática el factor de seguridad debe tener un valor superior a 3.

$$\sigma' \geq \frac{FS}{S_y}$$

El material del que está fabricado el eje es acero inoxidable 304 y se toma su resistencia de la Tabla 5

$$S_y = 276 \text{ MPa}$$

$$FS = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$FS = \frac{276 \text{ MPa}}{18.35 \text{ MPa}}$$

$$FS = 15.04$$

$$FS \approx 15$$

El factor de seguridad es ampliamente superior a 3, por lo cual el eje del mecanismo de movimiento en Y no fallará de forma estática.

Luego del análisis estático, se analiza al eje bajo el criterio de fallo por fatiga mediante la siguiente ecuación 18.

El límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria, S_e' , se calcula considerando que el eje está hecho de acero inoxidable 304 por lo cual:

$$S_{ut} = 568 \text{ Mpa}$$

Con este valor se calcula el límite de resistencia a la fatiga rotatoria, reemplazando los datos en la ecuación 19.

$$S_e' = 0.5(568 \text{ MPa})$$

$$S_e' = 284 \text{ MPa}$$

Se calcula el factor de superficie con la ecuación 20, Con los datos establecidos en la Tabla 6.

$$k_a = 4.51(568)^{-0.265}$$

$$k_a = 0.8399$$

El factor de tamaño k_b se determina considerando el diámetro del eje con la ecuación 21.

$$k_b = 1.24d^{-0.107}$$

$$k_b = 1.24(6)^{-0.107}$$

$$k_b = 1.0237$$

El factor de carga k_c toma un valor de 1 al tener una carga de flexión.

$$k_c = 1$$

El factor de temperatura k_d , se asume con el valor de 1.

$$k_d = 1$$

Se asume una confiabilidad del 99% y se obtiene el siguiente factor de la Tabla

$$k_e = 0.814$$

El factor de efectos varios k_f , se toma con un valor de 1.

$$k_f = 1$$

Al reemplazar los datos se obtiene el límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = (0.8399)(1.0237)(1)(1)(0.814)(1)(284MPa)$$

$$S_e = 198.77 MPa$$

Una vez obtenido el límite de resistencia a la fatiga se calculan los esfuerzos fluctuantes.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

Al reemplazar los datos de esfuerzos cortantes se tiene.

$$\sigma_m = \frac{8.37MPa + (-8.37MPa)}{2}$$

$$\sigma_m = 0$$

$$\sigma_a = \frac{8.37MPa - (-8.37MPa)}{2}$$

$$\sigma_a = 8.37MPa$$

Se reemplazan los valores de los esfuerzos cortantes por flexión.

$$\tau_m = \frac{9.43MPa - (-9.43MPa)}{2} = 9.43MPa$$

$$\tau_a = \frac{9.43MPa + (-9.43MPa)}{2} = 0$$

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}$$

$$\sigma_a = \sqrt{8.37MPa^2 + 3(0)^2}$$

$$\sigma_a = 8.37MPa$$

$$\sigma_m = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2}$$

$$\sigma_m = \sqrt{0^2 + 3(9.43MPa)^2}$$

$$\sigma_m = 16.33MPa$$

En la ecuación 24 se obtiene el factor de seguridad reemplazando los valores.

$$FS = \frac{1}{\frac{8.37MPa}{198.77 MPa} + \frac{16.33MPa}{568Mpa}}$$

$$FS = 14.113$$

$$FS \approx 14$$

Al tener un factor de seguridad de 14 el eje no fallará por fatiga.

Diseño del soporte de la hoja

El Soporte donde se posiciona la hoja para generar los puntos en relieve, de manera análoga a la regleta Braille manual, cuenta con una serie de símbolos generadores en

“negativo”, lo que significa que presentan cavidades donde el punzón presiona para generar el punto.

Está compuesta por 23 filas con 28 celdas Braille por cada fila, los símbolos generadores están dispuestos en las diferentes distancias recomendadas por la norma INEN 2850, tanto de manera horizontal como vertical, entre los espacios de un mismo símbolo generador como entre caracteres.

Las distancias escogidas para las celdas Braille elegidas en base a los parámetros recomendados de la Tabla1 son:

$e = 1.9\text{mm}$ Diámetro del punto

$a = 2.75\text{ mm}$

$b = 2.75\text{ mm}$

$c = 6.91\text{ mm}$

$d = 11.26\text{ mm}$

El soporte de la hoja se crea mediante impresión 3d, para lo cual se debe determina el material más adecuado para obtener resultados óptimos.

Se analizan los diferentes materiales disponibles y sus características.

ABS

Es un tipo de plástico que se crea mediante la combinación de tres materiales, el acronitrilo, el butadieno y el estireno. Obtiene su nombre de las siglas en inglés de dicha materia prima. El ABS tiene una notable resistencia mecánica y rigidez, a causa del estireno, el

butadieno le otorga tenacidad sin verse afectado por la temperatura, mientras que el acronitrilo lo vuelve resistente a ataques químicos, también le aporta dureza, rigidez y estabilidad ante temperaturas elevadas. (Martínez V. , 2021)

PLA

PLA o Ácido Poliláctico, es un plástico biodegradable derivado del ácido láctico, debido al cual obtiene su nombre, se producen a partir de materia prima renovable con cantidades grandes de almidón, como el trigo, la remolacha o el maíz. Presenta una gran cantidad de texturas y colores. A causa de sus propiedades mecánicas y características de olor, por las materias de origen orgánico, se emplea en una gran variedad de aplicaciones industriales. (Palacios, 2023)

PTEG

El PETG es un tipo de plástico que se consigue con la combinación entre el PET (Tereftalato de Polietileno) con glicol. El PET posee buena resistencia a ataques química y resistencia térmica, además presenta características de rigidez, dureza y resistencia al desgaste y a la corrosión. Al añadir el glicol se vuelve menos frágil y más sencillo de procesar.

Por estas propiedades el PTEG es ampliamente utilizado en procesos de impresión 3D. (Ramirez, 2018)

En la Tabla 8 se realiza la selección del material para la tablilla.

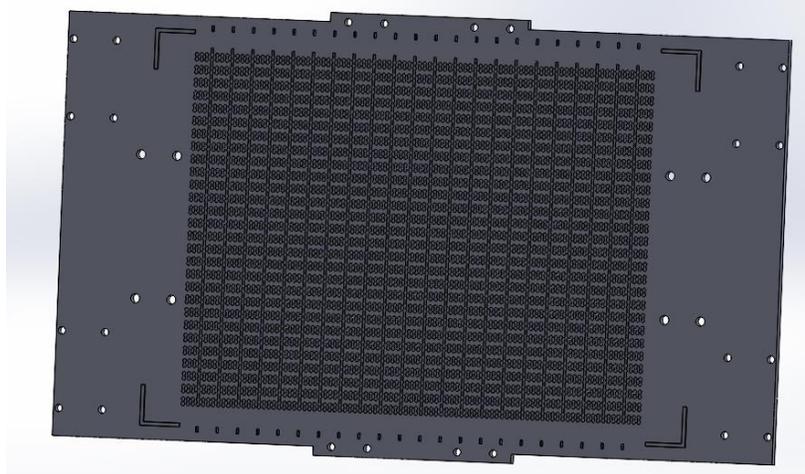
Tabla 8*Selección del material de la tablilla de impresión Braille*

Factor	Peso	ABS		PLA		PETG	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Resistencia a la flexión	0.3	7	2.1	9	2.7	8	2.4
Calidad de acabado	0.3	9	2.7	9	2.7	8	2.4
Amabilidad con el medio ambiente	0.2	7	1.4	10	2.0	7	1.4
Costo	0.2	7	1.4	8	1.6	7	1.4
TOTAL	1		7.6		9.0		7.6

Por estas propiedades Por lo cual se elige al PLA como material para imprimir al soporte de la hoja. En la Figura 38 se observa el modelo 3d de dicho soporte.

Figura 38

Modelo 3D del soporte de la hoja



Capítulo III: Diseño de sistema electrónico y control

Selección de componentes

Selección de la Fuente de voltaje

El voltaje requerido para la operación de los motores a pasos NEMA 17 es de 12 V. La corriente de cada bobinado estará limitada a un valor máximo de 1.6A mediante la configuración del controlador, dando como resultado 3.2A consumidos por cada motor, se requiere por lo tanto 9.6A para los tres motores. Con estos datos se puede calcular la potencia requerida.

$$P = V * I \quad (28)$$

$$P = 12V * (3.2A + 3.2A + 3.2A)$$

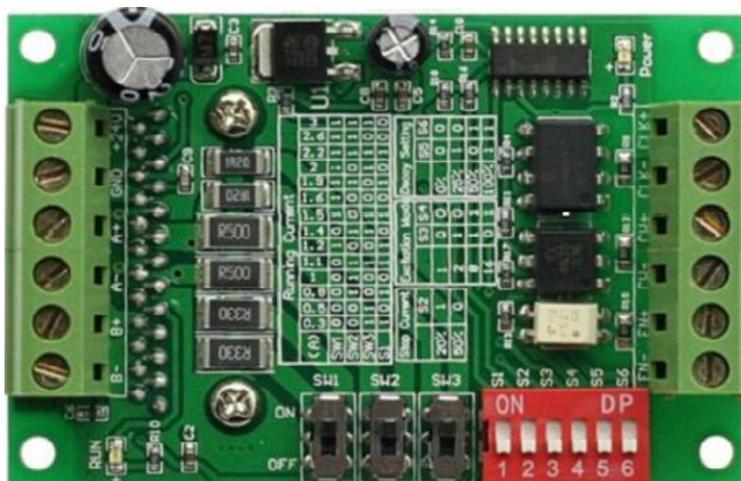
$$P = 12V * (9.6A)$$

$$P = 115.2W$$

Para esta aplicación se requiere una Fuente de voltaje de 12V, con una potencia máxima de 115.2[W]

MÓDULO CONTROLADOR DE MOTOR A PASOS TB6560 3A

El driver TB6560 3A, que se muestra en la Figura 39, cuenta con una alimentación que va desde los 10 V hasta los 35 V de corriente directa, la corriente de salida toma un valor que va desde 0.3A hasta 3 A. y que se configurarse mediante una serie de combinaciones en las posiciones de encendido y apagado en los interruptores DIP. (All Electronics, 2018)

Figura 39*Driver TB6560 3A*

Nota. Tomado de (Shenzhen Global Technology Co., Ltd, 2019)

Este tipo de driver es adecuado para motores a pasos de 4 o 6 cables, además como característica a destacar, es capaz de reducir la resolución del paso del motor a 1/2, 1/8 e incluso 1/16 lo que incrementa notablemente la precisión que puede alcanzar el motor. En la Figura 40 se muestran las combinaciones de los DIP switch.

Figura 40

Combinaciones de los DIP switch para configurar los parámetros del motor

Peak Current Selection														
Amps	0.3	0.5	0.8	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.9	2.0	2.2	2.6	3.0
SW1	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON						
SW2	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	ON	ON
SW3	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	ON
dip S1	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF

Stop Current		
	20%	50%
dip S2	ON	OFF

Excitation Mode				
division	1	1/2	1/4	1/16
dip S3	OFF	ON	ON	OFF
dip S4	OFF	OFF	ON	ON

Delay Settings				
	0%	25%	50%	100%
dip S5	OFF	ON	OFF	ON
dip S6	OFF	OFF	ON	ON

Nota. Se muestran las combinaciones para modificar diversos parámetros como el valor de la corriente de trabajo, la resolución de los pasos entre otros . (Shenzhen Global Technology Co., Ltd, 2019)

Selección de la tarjeta controladora

Raspberry Pi 4 Modelo B

Este modelo, que se observa en la Figura 41, se caracteriza por tener un procesador de alto rendimiento de cuatro núcleos de 64 bits. Cuenta con dos puertos micro-HDMI que permite conectar dos pantallas con resoluciones de hasta 4K, también posee puertos USB para la conexión de dispositivos periféricos. Se alimenta con una fuente de corriente directa de 5V y 3A, puede operar en temperaturas desde 0-50 °C.

Cuenta con 40 pines GPIO , es decir, pines de Entrada/Salida de propósito general, una ranura para tarjeta de memoria SD donde se carga el sistema operativo. El sistema operativo oficial de Raspberry Pi es Raspbian el cual al momento de instalarlo cuenta con el IDE :Thonny, que emplea el lenguaje de programación Python. (The Raspberry Pi Foundation, 2023)

Figura 41

Raspberry Pi 4 Modelo B



Nota. Tomado de The Raspberry Pi Foundation (2023)

Arduino Uno

La tarjeta controladora Arduino Uno es una placa diseñada en base al microcontrolador ATmega328P, posee 14 pines de entrada/salida digitales, 6 de dichos pines pueden emplearse como salidas PWM, tiene además 6 entradas de naturaleza analógica. Cuenta con conexión USB, un botón de reseteo, un conector de alimentación tipo Jack. (ARDUINO, 2023)

En la Figura 42 se observa la placa Arduino Uno.

Figura 42

Arduino Uno



Nota Tomado de What is ARDUINO? [Fotografía], por ARDUINO (2023) , obtenido de:

<https://www.arduino.cc/>

El Arduino Uno puede alimentarse con voltajes que se encuentran en el rango de 7V hasta 12V, es capaz de proporcionar 5V de salida para energizar los circuitos con los que se trabaje, las entradas admiten voltajes que van desde 0V a 5V.

ESP32 WROOM-32

Este módulo ESP32, mostrado en la Figura 43, tiene 30 pines, entre los pines de entrada y salida, incluidos además los de alimentación y de tierra, de comunicación de tipo serial (UART), de comunicación I2C, también incluye un pin de interrupción externa.

Dispone de Wi-Fi y Bluetooth, tiene compatibilidad con el IDE de Arduino , también con Lua y con Micro Python, entre otros. Opera con un voltaje de alimentación de 3.3V (Tec Micro, 2023)

Figura 43

Módulo ESP32 WROOM-32



Nota: Tomado de (Tec Micro, 2023)

En la Tabla 9 se encuentra la selección de la tarjeta controladora.

Tabla 9

Selección de la tarjeta controladora

Factor	Peso	Raspberry Pi		Arduino UNO		ESP32	
		4 B				WROOM-32	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Capacidad de Procesamiento	0.3	10	3	8	2.4	8	2.4
Facilidad de creación de HMI	0.4	10	4	7	2.8	7	2.8
Facilidad de Programación	0.2	9	1.8	9	1.8	9	1.8
Costo	0.1	4	0.4	8	0.8	10	1
TOTAL	1		9.2		7.8		8

Luego de realizar la matriz de selección se determina que la Raspberry Pi 4 B es la tarjeta controladora más adecuada para la presente aplicación.

Diseño de la electrónica asociada al control del desplazamiento

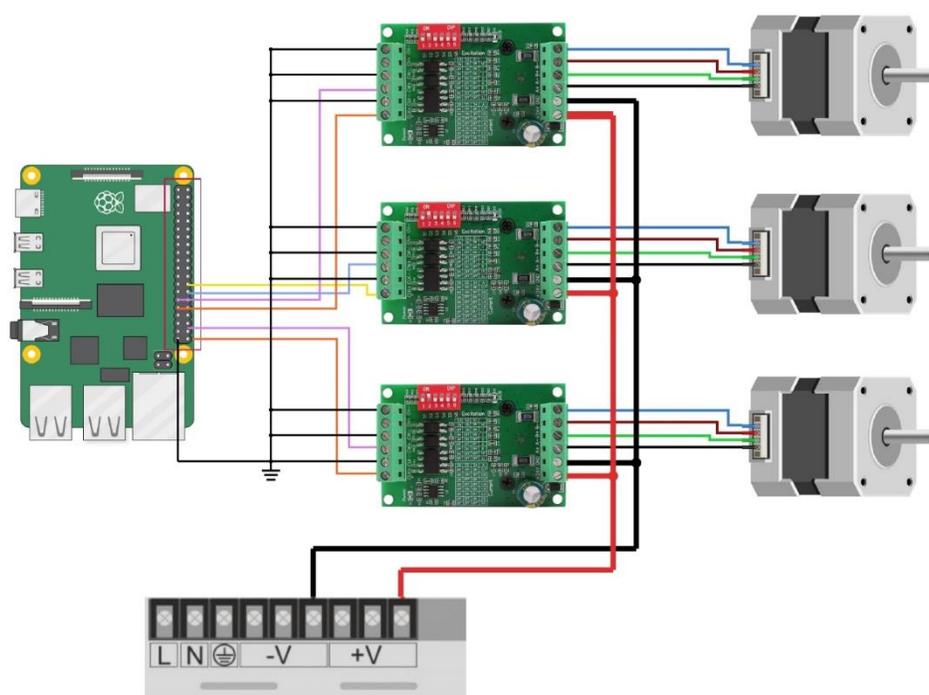
La tarjeta controladora Raspberry Pi 4 modelo B es la encargada de enviar las señales de control hacia el driver TB6560, en la secuencia adecuada para dotar a los motores de movimiento en un sentido o en el otro.

Los drivers están conectados a los motores a pasos, al mismo tiempo que se encuentran conectados a la fuente externa de alimentación de 12V. La estructura interna de estos dispositivos cuenta con un optoacoplador que aísla el circuito de control y el circuito de potencia.

Los pines GPIO N# y GPIO N# de la tarjeta están destinados para controlar los movimientos del mecanismo percutor, mientras que los pines GPIO N# y GPIO N# controlan el mecanismo del movimiento en el eje X. Por último, los pines GPIO N# y GPIO N# están designados para el mecanismo en el eje Y. En la Figura 44 se muestra el esquema de conexión.

Figura 44

Esquema de conexión eléctrica

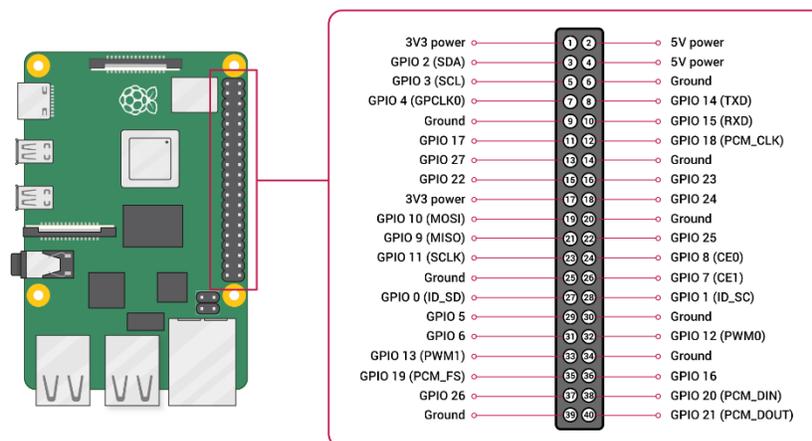


Nota. El esquema ilustra la forma de conexión de los elementos electrónicos de la impresora Braille que incluye la tarjeta Raspberry Pi 4, la fuente externa, los 3 motores a pasos y sus respectivos drivers.

En la Figura 45 se observa con mayor detalle el número de los pines de la Raspberry en configuración GPIO.

Figura 45

Pines de la Raspberry Pi 4 B



Nota. Número de los pines de la Raspberry Pi 4 B en configuración GPIO. Tomado de (The Raspberry Pi Foundation, 2023)

Algoritmo de traducción y generación de imágenes

Algoritmo de Traducción e Impresión Braille

El algoritmo de traducción está desarrollado en el lenguaje de programación Python, mediante el IDE de Raspberry Pi, Thonny, haciendo uso de varias librerías entre las cuales destaca la librería Tkinter que facilita la creación de una interfaz gráfica que permita al usuario interactuar con la impresora Braille.

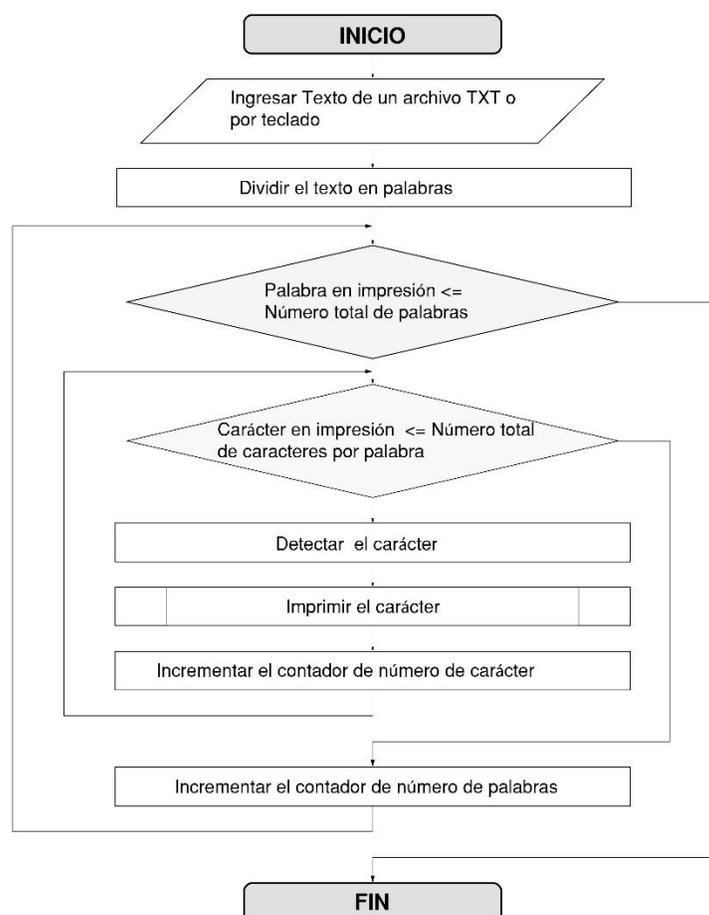
Para la traducción primero debe obtenerse el texto, ya sea de un archivo TXT o ingresado directamente por el teclado de la impresora. En el caso del archivo de extensión “.txt” se puede elegir un archivo del directorio.

La información a traducir se ubica en un cuadro de texto, del cual se toma y se almacena en un vector, luego dicho vector divide el texto y cada elemento corresponde a una palabra.

Conocido el número total de palabras se aplica un bucle, el cual contiene a su vez otro lazo en donde se analizan cada una de las letras de la palabra, detectando el carácter y generando los movimientos previamente establecidos para marcar los puntos en relieve, cuando se imprime la palabra completa se incrementa un contador interno y se avanza hacia la siguiente palabra. En la Figura 46 se observa el algoritmo descrito de forma gráfica mediante un diagrama de flujo.

Figura 46

Algoritmo de traducción de texto



La impresión de cada carácter es un proceso predefinido, como se puede evidenciar en el diagrama previamente presentado. Para cada carácter se ha generado una función que contenga los movimientos necesarios para imprimir en relieve.

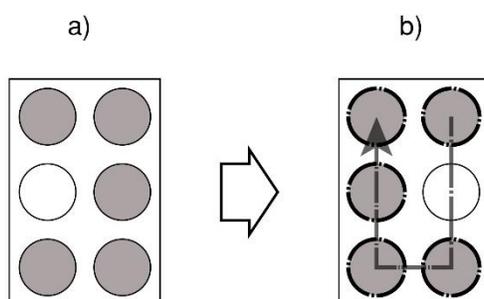
Es necesario recordar que la escritura Braille, de manera tradicional, se realiza de derecha a izquierda para que la lectura se ejecute de izquierda a derecha. Debido a que la impresora Braille del presente proyecto adopta esta forma de generación de texto es necesario seguir una serie de pasos para programar cada una de las funciones correspondientes a continuación, el proceso se detalla a continuación.

Primero se identifica el carácter a imprimir, luego se aplica simetría respecto al eje vertical, con el carácter invertido se obtienen los puntos en los cuales se presiona el punzón sobre la hoja, se posiciona el punzón sobre el extremo superior del símbolo generador invertido, el punzón se mueve desde el punto inicial hacia abajo recorriendo toda a columna, luego se dirige a la izquierda y asciende, programando la activación del punzón en caso de que se deba marcar el punto en relieve.

La Figura 47 muestra la trayectoria para formar un carácter.

Figura 47

Ejemplo del proceso para programar las funciones de cada carácter



Nota. a) símbolo “y” en Braille, b) carácter “y” en simetría respecto al eje vertical, la flecha gris punteada representa la trayectoria del punzón, los círculos negros remarcados con línea discontinua representan la activación del punzón para generar los puntos en relieve.

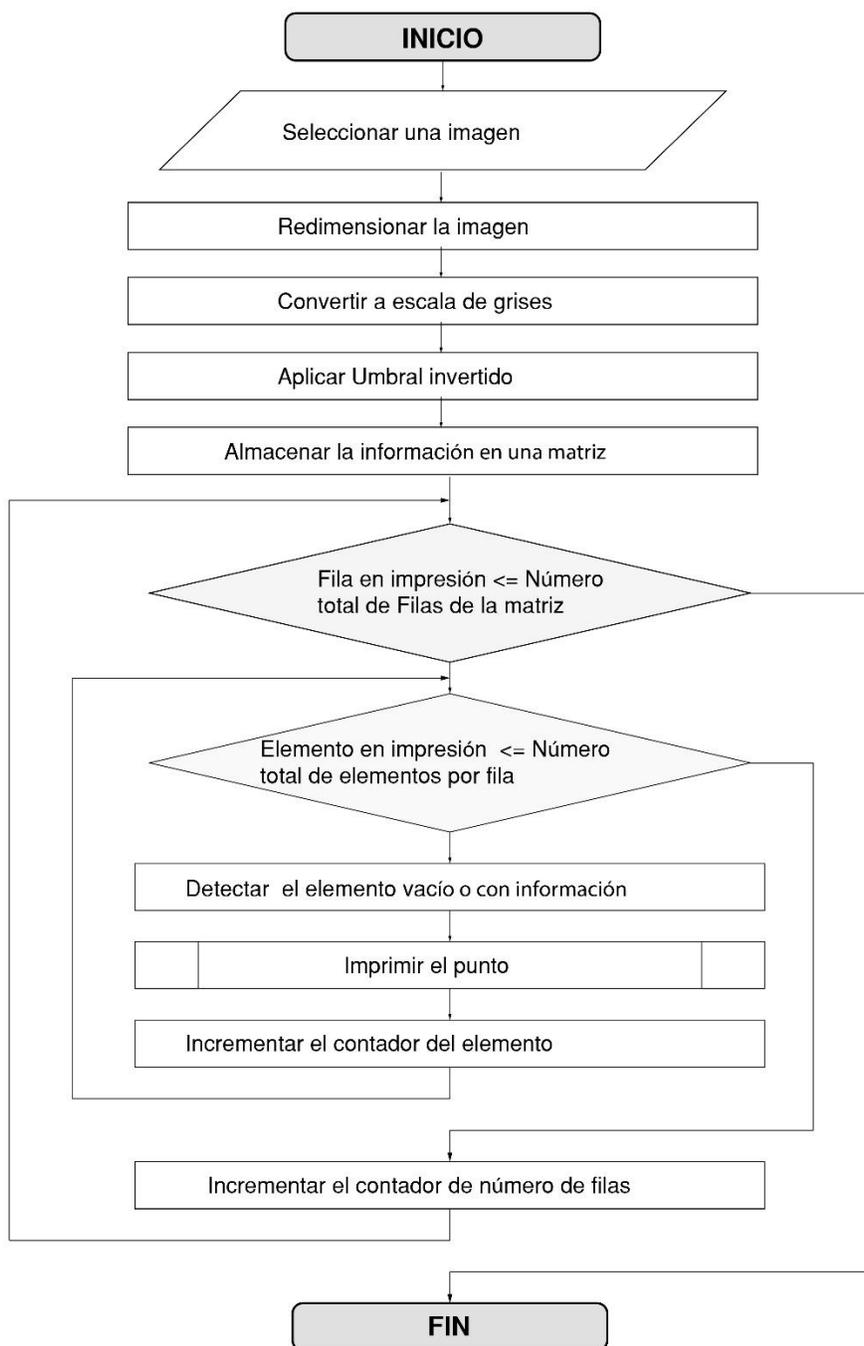
Una vez que el mecanismo percutor o punzón completa su recorrido se desplaza hacia la izquierda, sobre el punto del extremo superior derecho para poder iniciar la impresión del siguiente carácter.

Algoritmo de generación de imágenes en relieve

Una vez elegida la imagen para imprimir en relieve, el algoritmo se encarga de redimensionarla para ajustar sus dimensiones al espacio físico disponible para la impresión. Luego la imagen de entrada es transformada a la escala de grises, posteriormente se le aplica un umbral invertido para obtener únicamente la información de los píxeles que se deben plasmar sobre la hoja. En la Figura 48 se observa el algoritmo descrito.

Figura 48

Algoritmo para generar imágenes en relieve

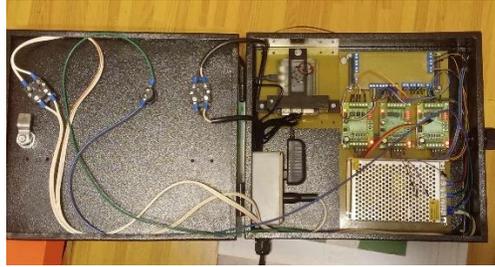


Integración del sistema mecánico y el sistema electrónico

En la Figura 49 se muestra el sistema eléctrico en su respectiva caja de control.

Figura 49

Caja de control de la impresora Braille



En la Figura 50 se muestra la máquina ensamblada

Figura 50

Impresora Braille ensamblada



Capítulo IV: Implementación, pruebas y resultados

Pruebas de funcionamiento del sistema percutor

La Tabla 10 presenta los resultados de las pruebas del sistema percutor, recolectando los datos tanto del diámetro del punto como de la profundidad, es decir de la longitud de relieve conseguido.

Tabla 10

Pruebas del sistema percutor

N°	Diámetro	Profundidad de relieve
1	1.90mm	0.68mm
2	1.90mm	0.67mm
3	1.89mm	0.50mm
4	1.90mm	0.67mm
5	1.90mm	0.65mm
6	1.90mm	0.6mm
7	1.91mm	0.68mm
8	1.90mm	0.62mm
9	1.87mm	0.45mm
10	1.90mm	0.65mm

Para determinar si las medidas obtenidas son lo suficientemente similares entre sí, se calcula la desviación estándar.

Desviación estándar de los diámetros de los puntos generado con el sistema percutor.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

$$\bar{X} = \frac{1.90 + 1.90 + 1.89 + 1.90 + 1.90 + 1.90 + 1.91 + 1.90 + 1.87 + 1.90}{10}$$

$$\bar{X} = 1.897$$

La media aritmética es igual a 1.897

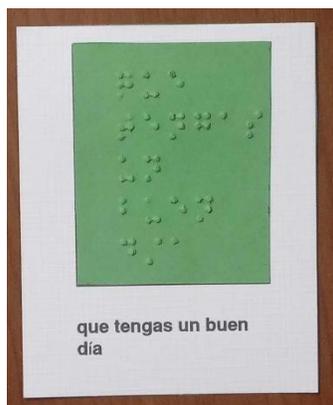
$$\sigma = 0,011$$

Luego de obtener el valor de la desviación estándar se verifica que dicho valor es cercano a cero, lo que comprueba que las medidas son lo suficientes cercanas entre sí. Cumpliendo con la normativa INEN 2050 como se señala en la Tabla 1.

En la Figura 56 se observa el texto impreso en Braille.

Figura 51

Medición del diámetro del punto



Nota. Material Braille generado

Se procede a calcular la desviación estándar de las medidas de relieve de los puntos. Para lo cual se calcula primero la media aritmética.

$$\bar{X} = \frac{0.68 + 0.67 + 0.50 + 0.67 + 0.65 + 0.6 + 0.68 + 0.62 + 0.45 + 0.65}{10}$$

$$\bar{X} = 0.617$$

$$\sigma = 0,08$$

Luego de aplicar el criterio de desviación estándar se establece que los datos de profundidad de relieve no son dispersos entre sí. Además, que cumple con la recomendación de 0.5mm que establece la norma INEN

Pruebas de generación texto braille

La Tabla N# muestra los resultados de las distancias entre puntos en relieve, tanto entre puntos del carácter como la distancia entre caracteres.

Tabla 11

Pruebas de generación de texto Braille

N°	“a”	“b”	“c”	“d”
1	2.75mm	2.75mm	6.90mm	11.25mm
2	2.75mm	2.76mm	6.93mm	11.26mm
3	2.76mm	2.75mm	6.95mm	11.26mm
4	2.75mm	2.74mm	6.87mm	11.27mm
5	2.74mm	2.75mm	6.91mm	11.26mm
6	2.75mm	2.74mm	6.91mm	11.25mm
7	2.73mm	2.74mm	6.91mm	11.26mm
8	2.75mm	2.75mm	6.89mm	11.26mm
9	2.75mm	2.76mm	6.91mm	11.23mm
10	2.75mm	2.75mm	6.88mm	11.24mm

Determinación de la desviación estándar de la distancia a:

$$\bar{X} = 2.748$$

$$\sigma = 0,007$$

Se establece que la distancia a cumple con el valor establecido por la norma INEN.

Determinación de la desviación estándar de la distancia b:

$$\bar{X} = 2.749$$

$$\sigma = 0,007$$

El valor obtenido mediante las pruebas de generación de texto en Braille está en concordancia con los valores propuestos con la norma.

Determinación de la desviación estándar de la distancia c:

$$\bar{X} = 6.905$$

$$\sigma = 0,024$$

Determinación de la desviación estándar de la distancia d:

$$\bar{X} = 11.254$$

$$\sigma = 0,011$$

El texto generado en Braille obtenido con el presente proyecto acata la norma INEN para la rotulación.

Pruebas de generación de imágenes en relieve

En la Tabla 12 se muestra el procesamiento de diferentes imágenes para analizar si es o no satisfactorio, en donde se observa que empleando el algoritmo propuesto las imágenes de formas sencillas conservan son propicias para la impresión pues conservan sus elementos frente a las imágenes de formas más complejas.

Tabla 12

Pruebas del procesamiento de imágenes.

N°	Imagen Original	Escala de Grises	Umbral Invertido	Calidad del Procesamiento
1				Satisfactorio
2				Satisfactorio
3				Satisfactorio
4				No Satisfactorio

En la Tabla 13 se muestra la impresión en relieve de las imágenes que resultaron satisfactorias en el proceso anterior.

Tabla 13

Pruebas del procesamiento de imágenes.

N°	Umbral Invertido	Imagen en Relieve	Calidad de Impresión
1			Satisfactorio
2			Satisfactorio
3			Satisfactorio

El señor Juan Carlos Yumbito, que se muestra en la Figura 52, persona no vidente con sólidos conocimientos en Braille mencionó al ser entrevistado que los puntos en relieve tienen dimensiones adecuadas para la lectura Braille, además apuntó que el papel de gramaje 90

utilizado es agradable al tacto. Confirmó la correcta escritura de los caracteres para la generación de texto. Afirmó que las imágenes en relieve cuentan con un relieve adecuado para distinguir las formas.

Figura 52

Comprobación del material generado con un experto en Braille



Nota. En orden de aparición de izquierda a derecha: el autor, el señor Juan Carlos Yumbito quien verifica la calidad del material Braille generado.

En la Tabla 14 se muestra el material generado con el cumplimiento de la norma INEN recomendada para la escritura Braille.

Tabla 14

Material generado

Tipo de Material	Cantidad
Tarjetas	10
Imágenes	5
Libros	1

Validación de hipótesis

H0: El diseño e implementación de una impresora Braille basada en un robot cartesiano no favorecerá la generación de material didáctico, tanto en texto como en imágenes, para personas con discapacidad visual

H1: El diseño e implementación de una impresora Braille basada en un robot cartesiano favorecerá la generación de material didáctico, tanto en texto como en imágenes, para personas con discapacidad visual

Debido a que se verificó la creación del material didáctico que cumple con la normativa INEN 2850 para la escritura del sistema Braille se rechaza la hipótesis Nula y se acepta la hipótesis alternativa: El diseño e implementación de una impresora Braille basada en un robot cartesiano favorecerá la generación de material didáctico, tanto en texto como en imágenes, para personas con discapacidad visual

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Mediante el desarrollo del presente proyecto Se puede concluir que El diseño e implementación de una impresora Braille basada en un robot cartesiano favorecerá la generación de material didáctico, tanto en texto como en imágenes, para personas con discapacidad visual

Recomendaciones

Se recomienda para futuros proyectos usar valores menores recomendados por la norma INEN para que sea posible escribir más caracteres y brindar mayor resolución a las imágenes en relieve.

BIBLIOGRAFÍA

- Agüero Hemmes, M. G. (2016). *Adaptación de impresora convencional a impresora Braille - modelo funcional [Tesis de Ingeniería, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Rioja]*. Repositorio Institucional Abierto UTN, La Rioja - Argentina.
<http://hdl.handle.net/20.500.12272/1193>
- ARDUINO. (2023). *What is Arduino?* Arduino Education : <https://www.arduino.cc/>
- Asamblea Nacional República del Ecuador. (2012). *Ley Orgánica de Discapacidades*. Registro Oficial Administración del Sr. Rafael Correa Delgado : https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/02/ley_organica_discapacidades.pdf
- Ballesteros, S. (1994). Percepción de propiedades de los objetos a través del tacto. *Integración: Revista digital sobre ceguera y deficiencia visual*(15), 29-30. Retrieved 20 de Febrero de 2023, from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2707463>
- Braille Chile. (2022). *Punzón plástico verde*. Retrieved 15 de Marzo de 2023, from Comercializadora Braille: <https://www.braillechile.cl/product-page/punz%C3%B3n-pl%C3%A1stico-verde>
- Braille Chile. (2022). *Regleta positiva pequeña*. Retrieved 15 de Marzo de 2023, from Comercializadora Braille: <https://www.braillechile.cl/product-page/regleta-positiva-peque%C3%B1a>
- Caballero Julián, F. G., Morales Hernández, M., Silva-Cruz, E. M., y Caballero Cantarell, D. G. (2020). Raspberry Pi, conectividad y programación mediante puertos GPIO. *Revista de Ingeniería Innovativa*, IV(14), 1-13.
https://web.archive.org/web/20210510035022id_/https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Innovativa/vol4num14/Revista_de_Ingenieria_Innovativa_V4_N14_1.pdf
- Caum, J. (23 de Enero de 2006). *Motores paso a paso Aproximación teórica*. microPap easy motion: <https://www.micropap.com/manuales/historicos/TeorPaP.pdf>
- CONADIS. (2 de Febrero de 2016). *Estadísticas personas con discapacidad*. Retrieved 02 de Abril de 2016, from http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/estadisticas_discapacidad.pdf
- Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades. (Octubre de 2021). *CONADIS - Estadísticas de Discapacidad*. Ministerio de Salud Pública:
<https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>

- Fernández del Campo, J. E. (2001). *Desafíos didácticos de la lectura Braille*. Madrid: Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE).
http://sid.usal.es/idocs/F8/FDO5148/desafios_didacticos_lectura_braille.pdf
- Grupo Social ONCE. (09 de Diciembre de 2013). *Impresora Braille Index Basic-D V5 + Campana*. Centro de Tiflotecnología e Innovación : https://cti.once.es/catalogo-comercial/buscador-del-catalogo-comercial/view_item?prodcodid=027&prodcodanid=2021
- Haro Vilaña, I. V., y Morales Arévalo, F. D. (2019). *Implementación de un sistema de monitoreo y control automático de riego para invernaderos mediante tecnología LORA con ESP32 [Tesis de Ingeniería, Universidad Israel]*. Repositorio Intitucional Universidad Israel, Quito.
<http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2142>
- Hernández Chalco, L. A. (2018). *Diseño y construcción de un escáner 3D e integración en una impresora 3D [Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional]*. Repositorio Institucional Escuela Politécnica Nacional, Quito. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19138>
- Herreño, M., Roa Perdomo, Y. T., y Rueda Serna, J. É. (2018). *Albatización a Través del Alfabeto Braille, para personas Ciegas del Municipio de San Luis Antioquia [Tesis de Licenciatura, Corporación Universitaria Adventista Colombia]*. Repositorio Institucional Corporación Universitaria Adventista Colombia, Medellín. <http://repository.unac.edu.co/handle/11254/886>
- Herrero Herranz, J. C., y Sánchez Allende, J. (Mayo de 2015). Una mirada al mundo ARDUINO. *Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*, XIII(1), 1-28.
https://revistas.uax.es/index.php/tec_des/article/view/617/573
- INEN. (2014). *NTE INEN 2850 Requisitos de accesibilidad para la rotulación [versión PDF]*. Quito.
https://www.riadis.org/wp-content/uploads/2020/10/norma_inen_2850_rotulacion.pdf
- Instituto Nacional para Ciegos. (2020). *Interactuando con el Braille*. Bogotá: Imprenta Nacional para Ciegos.
- Machado Díaz, E., y Coto Fuentes, H. (2022). Desarrollo de control de motores a pasos por hardware utilizando microcontroladores PSoC. *Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*, 89-96.
<http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2022/CID-098.pdf>
- Martínez, I., y Polo, D. (2004). *Guía didáctica para la lectoescritura braille [versión PDF]*. Madrid : Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE).
http://bibliorepo.umce.cl/libros_electronicos/diferencial/edtv_30.pdf
- Medline plus. (23 de Noviembre de 2021). *Ceguera y pérdida de la visión*. Medline plus Información para de salud para usted: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003040.htm>

- Motion King. (s.f.). Retrieved 4 de Julio de 2023, from http://www.motionking.com/products/Hybrid_Stepper_Motors/17HS_Stepper_Motor_42mm_1.8degree.htm
- Naylamp Mechatronics. (04 de Agosto de 2016). *Módulo ESP-WROOM-32 ESP32 WIFI*. Microcontroladores : <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/382-modulo-esp-wroom-32-esp32-wifi.html>
- Noboa, A., Noboa, D., Tipán, E., y Ibarra, A. (2015). Diseño e Implementación de un Sistema Electrónico con Interface a PC para Automatizar una Máquina de Escribir Braille. *MASKAY*, 5(1), 1-9. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8384094>
- Ogalde, D. (06 de Febrero de 2023). *Máquina de escribir Perkins brailler*. OpenCluster Tech: <https://opencluster-tech.cl/2023/02/06/conoce-mas-sobre-maquina-de-escribir-perkins-brailler/>
- Ormaza Pincay, M. d., y García García, V. C. (19 de Septiembre de 2017). Servicios bibliotecarios para personas con discapacidad visual de la Universidad Técnica de Manabí. *Revista CCCSS Contribuciones a las Ciencias Sociales*. <http://www.eumed.net/rev/cccss/2017/03/servicios-bibliotecarios-discapacidad.html>
- Párraga, R. (2015). 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, Guayas, Ecuador. Retrieved 10 de Julio de 2022, from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10032/1/UPS-GT000857.pdf>
- Pérez Castillo, E. A. (2005). *Diseño de un control BACKSTEPPING para un motor de pasos [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]*. Repositorio Institucional Universidad Autónoma de Nuevo León, México. <http://eprints.uanl.mx/5566/1/1020151104.PDF>
- Pérez Tavera, I. H. (2021). Raspberry Pi. *Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 4*, 09(17), 40-41.
- Pololu Corporation. (2023). *Stepper Motor: Bipolar, 200 Steps/Rev, 28x32mm, 3.8V, 0.67 A/Phase*. Pololu Robotics & Electronics: <https://www.pololu.com/product/1205>
- Salazar Jarrín, M. A., y Urbano Castillo, C. M. (2016). *Implementación de la tecnología Generic Motion Control y Powerlink sobre un robot industrial de configuración cartesiana para la empresa CAE SOLUTIONS EC [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]*. Repositorio Digital Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/5972/1/108T0151.pdf>
- SENPLADES. (16 de Octubre de 2014). *Plan nacional del buen vivir 2013-2017*. Retrieved 12 de 04 de 2016, from <http://www.buenvivir.gob.ec/discapacidades>

- Serna, E. (2020). *Investigación Formativa en Ingeniería* (Cuarta ed.). Medellín – Antioquia: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. https://www.researchgate.net/profile/Edgar-Serna-M/publication/344418700_Investigacion_formativa_en_ingenieria_4/links/5f739a03a6fdcc008648239a/Investigacion-formativa-en-ingenieria-4.pdf
- Tenyus Social Ware. (2023). Retrieved 2 de Agosto de 2023, from https://www.tenyus.com/productos-especificos/top-ventas/impresora-braille-everest-d-v5_313_12_527_0_1_pro.html
- Tenyus Social Ware. (2023). Retrieved 2 de Agosto de 2023, from https://www.tenyus.com/productos-especificos/top-ventas/impresora-braille-everest-d-v5_313_12_527_0_1_pro.html
- The Raspberry Pi Foundation. (2023). *Getting started with Raspberry Pi*. The Raspberry Pi Foundation: <https://projects.raspberrypi.org/en/projects/raspberry-pi-getting-started>
- Ulrich, K. T., y Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos* (Quinta ed.). México, D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Villalobos Piña, F. J., Esparza González, M. S., y Muñoz Correa, J. J. (2018). Diseño de Impresora Braille a Partir de Impresora de Matriz de Puntos [Artículo Académico, Instituto Tecnológico de Aguascalientes]. *Conciencia Tecnológica*(56). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94457671008>
- Vinueza, C., Moreno, F., Morales, J., Velasteguí, H., y Vallejo, G. (2017). Implementación de un prototipo de impresora braille de bajo costo, basado en hardware libre. *Revista Publicando*, 4(12), 89-107. <https://core.ac.uk/download/pdf/236645178.pdf>
- Yuste, J. (12 de Octubre de 2018). *Cultura Inquieta*. Cultura Inquieta: <https://culturainquieta.com/es/inspiring/item/4840-edicion-braille-de-el-principito.html>

ANEXOS