

Sistema de imagen táctil para la representación de texto e imágenes en relieve: Etapa de conversión

Oscar Daniel Martínez-Nambo, Guillermo Rey Peñaloza-Mendoza,
Alicia Campos-Hernández

Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro,
Ingeniería Biomédica,
México

{ciidtbiomedica, grey, acampos}@itspa.edu.mx

Resumen. Actualmente, existen tecnologías que apoyan a las personas con discapacidad visual, sin embargo, estas emplean herramientas sonoras lo que implica apartarlas de la lectura y la escritura, elementos esenciales en el proceso educativo. En el presente trabajo, se desarrolla la implementación de la tecnología de procesamiento digital de imágenes y textos para la creación del sistema de imagen táctil (TIS Tactile Imaging System), que tiene como objetivo brindar una herramienta que pueda mejorar la comunicación y, por tanto, el aprendizaje de las personas con discapacidades visuales. Esto se realiza mediante el diseño de un sistema capaz de procesar imágenes de texto alfanumérico o dibujos para obtener su equivalente en matriz Braille o en contornos, respectivamente, para posteriormente imprimir imágenes interpretables por tacto. En el caso del texto alfanumérico se realiza la detección del símbolo y se cambia por su equivalente en matriz Braille con respecto a una base de datos; en el caso de las imágenes, estas son binarizadas y posteriormente se aplica un filtrado para encontrar los contornos. De esta manera se busca dar solución a algunos problemas y mejorar la comunicación para personas con problemas visuales, fomentando la educación y dando oportunidades para un mejor desarrollo académico.

Palabras clave: Braille, discapacidad visual, imagen táctil, procesamiento de imágenes.

Tactile Imaging System for Embossed Text and Images Representation: Conversion Stage

Abstract. At present, there are technologies that support people with visual disabilities, however, they use sound tools, which implies separating them from reading and writing, essential elements in the educational process. In the present work, the implementation of digital image and text processing technology for the creation of the tactile image system (TIS) is developed, which aims to provide a tool that can improve communication and, therefore, learning. of people with visual disabilities. This is done by designing a system capable of processing alphanumeric text images or drawings to obtain their equivalent in Braille matrix or outlines, respectively, to subsequently print images that can be interpreted by touch. In the case of alphanumeric text, the detection of the symbol is carried out

and it is changed by its equivalent in Braille matrix with respect to a database; In the case of images, these are binarized and later a filter is applied to find the contours. In this way, it seeks to solve some problems and improve communication for people with visual problems, promoting education and giving opportunities for better academic development.

Keywords: Braille, visual disabilities, tactile image, image processing.

1. Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud, el término discapacidad se define como "cualquier restricción o falta de capacidad para realizar una actividad de la misma manera o en el grado que se considera normal para un individuo" [1].

Datos del INEGI reflejan que en México la segunda discapacidad con mayor población es la visual y se estima que afecta a alrededor de 2.7 millones de personas [2], solamente en Michoacán se tienen cerca de 70 mil discapacitados visuales.

Durante mucho tiempo se apropió la idea que las personas ciegas eran incapaces de ser educadas debido a que su vida es excesivamente limitada en actividades como la lectura y escritura, sin embargo, en el siglo XVI se iniciaron los trabajos en búsqueda de una herramienta que permitiera integrar a las personas con discapacidad visual a la educación [3].

Actualmente existen múltiples herramientas que pretenden cubrir determinadas necesidades de las personas con discapacidad visual, tales como métodos, dispositivos y equipos que permiten el tratamiento, apoyo o compensación de la discapacidad, algunas de las más populares son la regla Braille, cuya función es apoyar la escritura con una organización por matrices Braille, la máquina de escribir Perkins, la cual es una máquina de escribir que en lugar de tener letras contiene las teclas para formar una matriz Braille, los traductores de texto a voz que permiten que el usuario con discapacidad visual pueda acceder a lo existente en un libro o en el celular, entre otras. Sin embargo, estas herramientas son costosas, escasas o, en el caso de los traductores de texto a voz, alejan al usuario de la lectura y la escritura.

Debido a esto, se plantea la necesidad de desarrollar herramientas auxiliares que sirvan para incrementar los recursos Braille existentes, debido a que los procesos de enseñanza-aprendizaje de este sistema no es fácil y se ven afectados por la falta de recursos, tales como libros, cuadernos y materiales didácticos, junto a la poca literatura y costosa tecnología existente.

2. Estado del arte

2.1. Impacto de la discapacidad visual

A nivel mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que aproximadamente 2200 millones de personas viven con alguna forma de deficiencia visual, de los cuales aproximadamente 1000 millones de personas padecen deterioro moderado o grave de la visión o ceguera [1]. Esta deficiencia tiene consecuencias que repercuten de manera muy preocupante en el desarrollo de las personas.

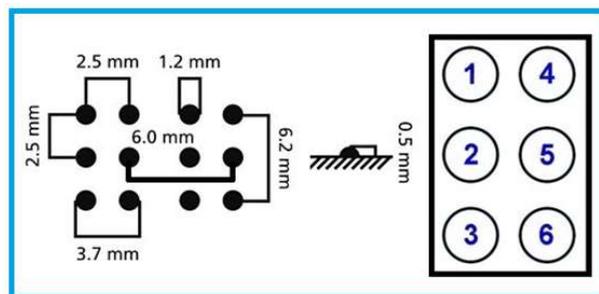


Fig. 1. Modelo de la matriz Braille y sus medidas

La sociedad como ente, es un ser que requiere de la interacción con su entorno, por lo cual, es indispensable el uso de nuestros sentidos para tener un desenvolvimiento integro en el día a día.

Esto se ve afectado si perdemos alguno de nuestros sentidos, principalmente la vista, ya que, una simple tarea como tomar un vaso de agua requiere ubicar en el espacio el vaso para tomarlo y llevarlo a nuestra boca.

En [4], se hace mención del gran impacto que tiene la discapacidad visual en las personas, por ejemplo: los niños pequeños que presentan deterioro grave desde temprana edad pueden sufrir retrasos en el desarrollo motor, lingüístico, emocional, social y cognitivo, con consecuencias para toda la vida.

El deterioro de la vista en una edad escolar disminuye el rendimiento académico. Así mismo, en adultos la participación en el mercado laboral y productivo se ve reducida, así como el incremento en la depresión.

2.1. Sistema Braille

Alrededor del año 1821, el oficial de artillería Charles Barbier inventó una técnica de escritura que servía para que los soldados se pudieran comunicar por la noche sin hablar. Esta técnica consistía en la creación de una matriz de puntos de 6x2 que representaba todos los sonidos del idioma francés.

Sin embargo, este método fue tomado y trabajado por Louis Braille y para el año 1824 lo redujo a una matriz 3x2, codificando los símbolos alfanuméricos en lugar de los sonidos del idioma [5].

El Braille es la representación de un alfabeto con letras, signos y números, a través de puntos en relieve que sirve como un sistema de lectura y escritura para personas ciegas. De manera general, la matriz Braille corresponde a una celda de seis puntos en relieve que representa un símbolo, se encuentra organizada como una matriz de tres filas y dos columnas, la cual, debe ser contenida con un tamaño tal que pueda caber en la yema de los dedos [6, 7], tal como se observa en la Figura 1.

Como referencia la Figura 2 muestra la correspondencia entre el alfabeto español y el alfabeto Braille.

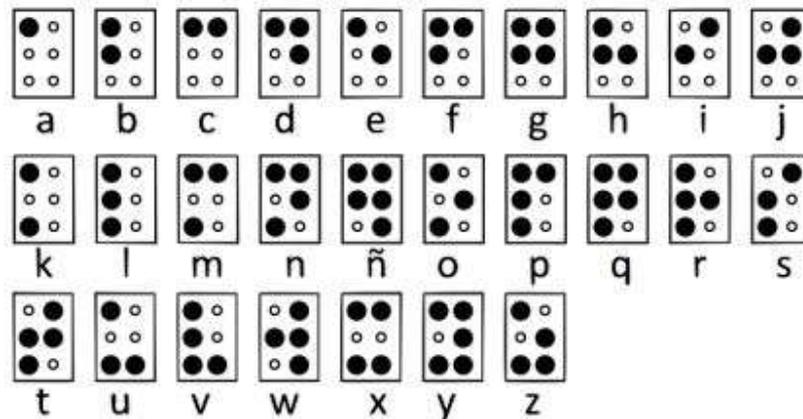


Fig. 2. Correspondencia entre el alfabeto español y el Braille

Para el proceso de enseñanza-aprendizaje de las personas con discapacidad visual existen dos herramientas fundamentales, los sistemas de traducción de texto a voz y el sistema Braille, sin embargo, el primero elimina las actividades de lectura y escritura, perjudicando el proceso cognitivo del aprendizaje [8].

Para emplear el sistema Braille como herramienta de enseñanza-aprendizaje, se requiere que los usuarios tengan acceso a elementos didácticos que les permitan entrenar su tacto ya que la lectura requiere emplear los dedos índices de ambas manos para desplazarlos al igual que en una lectura visual, por la línea de los símbolos de izquierda a derecha y de arriba abajo, leyendo matriz por matriz para asociarlas a su correspondiente símbolo y construir las palabras.

Como herramienta complementaria al sistema Braille, se han creado materiales didácticos que potencializan el uso del tacto, tales como imágenes en relieve, geometrías delimitadoras, juguetes con Braille, tablas de trabajo con canalillos para desplazar una plumilla y crear la representación de imágenes y símbolos, entre otros [9].

2.2. Tecnología para reproducción de imágenes a tacto

Las tecnologías existentes para percibir el mundo con el tacto han incrementado exponencialmente con el uso de la tecnología 3D, sin embargo, los recursos didácticos y herramientas en el proceso enseñanza-aprendizaje aún son escasos, ejemplo de esto son las impresoras Braille, las cuales existen desde hace años, pero su costo ha impedido que llegue a toda la población.

Actualmente, existen investigaciones y tecnologías en desarrollo que tratan de mejorar la percepción del mundo para las personas con discapacidad visual, ejemplos son: El sistema denominado Graille, fue desarrollado por investigadores de la Universidad de Tsinghua en China, el cual incluye una computadora y una pantalla compuesta por una matriz de 7200 puntos táctiles que permite representar imágenes para ser percibidas por el tacto.



Fig. 3. Sistema de cámara 2C3D.

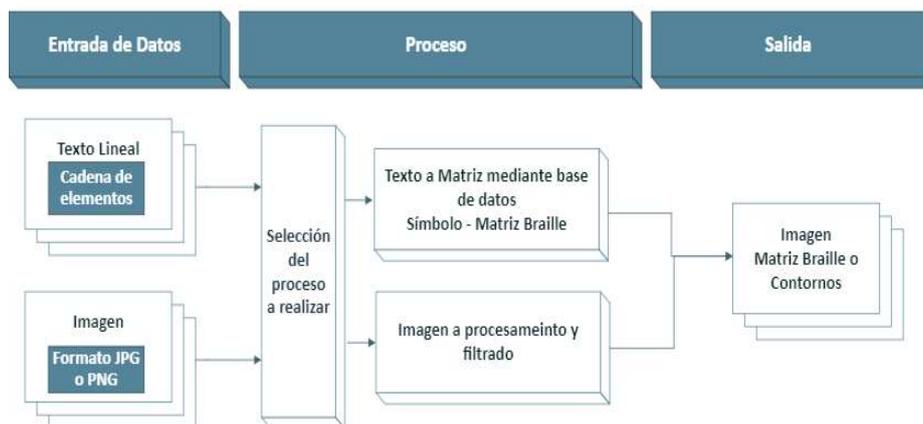


Fig. 4. Diagrama a bloques del funcionamiento del código.

La cámara 2C3D, Figura 3, desarrollada por Oren Geva del Shenkar College of Engineering and Design de Israel, permite a las personas con discapacidad visual percibir imágenes a través de píxeles 3D que cambian de posición de acuerdo a la imagen deseada [10].

En [11] se muestra el uso de la impresión 3D en la producción de materiales didácticos para la enseñanza de la historia del arte, la cultura popular y la literatura universal.

Considerando el desarrollo tecnológico realizado en Latinoamérica, la tecnología aplicada como apoyo para personas con discapacidad visual se basa en juguetes para enseñar formas geométricas u objetos, aplicaciones móviles para la traducción de texto a voz y algunos accesorios para múltiples, sin embargo, no son muchas empresas que invierten en nuevos desarrollos, una de ellas es Access Technology & Braille, mejor conocida como AT-BRAILLE, la cual tiene como objetivo dar a conocer tecnología auxiliar existente para personas con discapacidad, la cual es adaptada para Latinoamérica.

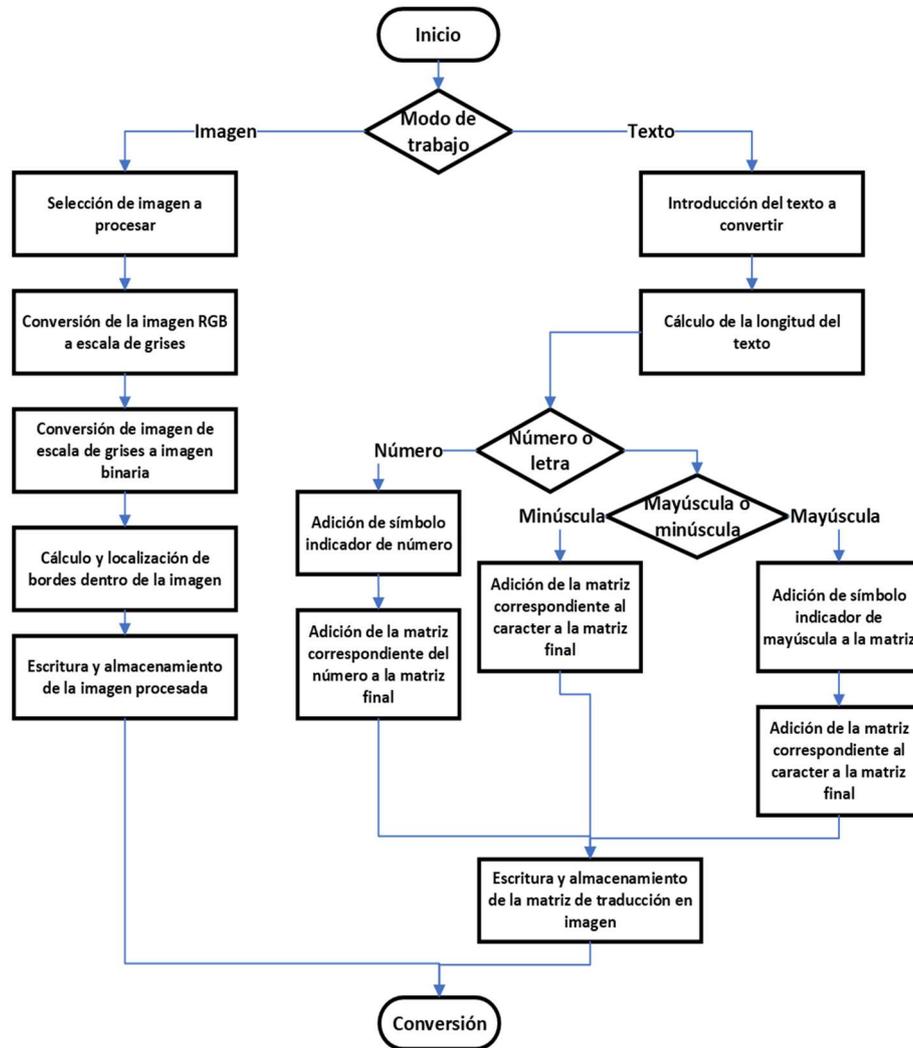


Fig. 5. Algoritmo de procesamiento del texto e imágenes.

En el proceso de enseñanza – aprendizaje de personas con discapacidad visual la tecnología es escasa, mucha de ella son trabajos de investigación y desarrollo tecnológico de universidades que han presentado interés en el tema y han colaborado con instancias de educación especial, ejemplo de esto lo tenemos en [12], donde en la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador se diseñó y desarrolló un prototipo electromecánico de línea Braille de bajo costo que tiene como función leer correos web, leer documentos PDF y convertirlos de texto a Braille o de texto a voz.

En [13] se presenta el diseño y fabricación de un dispositivo de lectoescritura del Braille que, junto con un tutor, se busca determinar y analizar los factores que facilitan el proceso de aprendizaje.

```
# Carácter a
a=np.array([
  [1,1,0,0,0],
  [1,1,0,0,0],
  [0,0,0,0,0],
  [0,0,0,0,0],
  [0,0,0,0,0],
  [0,0,0,0,0],
  [0,0,0,0,0],
  [0,0,0,0,0],
  [0,0,0,0,0]])

#Carácter b
b=np.array([
  [1,1,0,0,0],
  [1,1,0,0,0],
  [0,0,0,0,0],
  [1,1,0,0,0],
  [1,1,0,0,0],
  [0,0,0,0,0],
  [0,0,0,0,0],
  [0,0,0,0,0],
  [0,0,0,0,0]])
```

Fig. 6. Matriz numérica para la conversión de letra a Braille.

3. Planteamiento del problema y solución propuesta

Datos del INEGI muestran que más del 58% de la población de todo México presenta algún tipo de deficiencia visual [2], las tecnologías actuales ayudan a estas personas a integrarse a la sociedad, sin embargo, es preocupante el casi inexistente proceso de enseñanza - aprendizaje del Braille junto al limitado uso de materiales inclusivos en la educación, limita el desarrollo de las personas con discapacidad visual.

Con esto se tienen los problemas siguientes principales, la existencia casi nula de recursos didácticos para personas con discapacidad visual y los costos elevados de las herramientas para elaborar materiales Braille, imposibilitan brindarles una oportunidad a las personas con discapacidad visual de tener la experiencia de la lectura y la percepción de las imágenes del mundo.

Por lo tanto, se propone el desarrollo de un sistema capaz de tomar como entrada del mismo un texto escrito alfanuméricamente o una imagen, para obtener de salida una imagen que represente el texto en sistema braille o la imagen en bordes, de tal forma que cualquier dispositivo CNC pueda grabarlo sobre una superficie.

Con esto, se busca generar un impacto social positivo alto, ayudando a mejorar la percepción, comunicación y el aprendizaje de las personas con discapacidad visual.

4. Metodología de desarrollo

El desarrollo del proyecto, en esta etapa de conversión, se divide en dos partes, la primera consiste en realizar un código de programación capaz de hacer la transformación de un texto a una imagen de matrices Braille equivalente, mientras que la segunda es el procesamiento de imágenes para obtener una representación de contornos de la misma.

Como se puede observar en el diagrama de la Figura 4, el sistema toma como entrada un texto o una imagen a convertir, selecciona el procesamiento a realizar y entrega como salida una imagen que representa la transformación realizada.

De manera general, el algoritmo del procesamiento de texto e imágenes se muestra en la Figura 5, como se observa, el primer paso es determinar si se desea procesar un texto o una imagen, después se realiza las operaciones necesarias sobre el producto de entrada acuerdo al caso que se determine; si fuese texto se analiza la cadena de

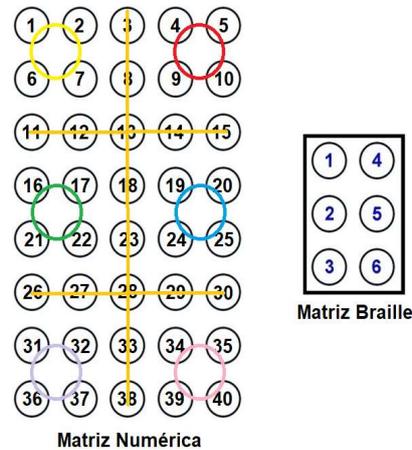


Fig. 7. Relación entre la matriz numérica y la matriz Braille.

```
for cont in range(0,len(text)):
    print(str(text[cont]) + '\n' + str(eval(text[cont])))
```

Fig. 8. Ciclo de impresión de caracteres.

caracteres para encontrar letras en minúscula, mayúscula y números, esto con la finalidad de asignarle una matriz Braille correspondiente a cada símbolo y para agregar los indicadores de cada caso como lo indica la nomenclatura Braille, para que el lector pueda saber si el siguiente símbolo es una letra minúscula, mayúscula o un número.

Si la entrada fuese una imagen que se desea procesar, a esta se le aplica una conversión a escala de grises, se binariza y se aplica un filtrado para detectar bordes/contornos.

El procesamiento de las imágenes de texto y figuras se realiza a través del uso de diversas matrices, en el primero cada matriz representa cada uno de los caracteres alfanuméricos utilizados en los textos y en el segundo caso la matriz corresponde a la propia imagen en contornos o bordes.

Por último, los resultados del procesamiento, se almacenan y se guardan en formato de imagen, la cual podrá ser tomada por un sistema CNC comercial y grabada para ser leída.

El código realizado para la lectura del texto, se encarga de leer una cadena proporcionada por el usuario y en base al análisis de cada uno de sus caracteres, selecciona una matriz correspondiente, en la Figura 6 se muestra un ejemplo de la matriz correspondiente para la letra a y b, como se puede observar se crea una matriz de 5 columnas por 8 renglones, cada punto de la matriz Braille está representado por 4 espacios en la matriz, tal como se observa en la Figura 7 los elementos 1, 2, 6 y 7 de la matriz numérica representan el elemento 1 de la matriz Braille, además la columna 3 y los renglones 3 y 6 son elementos para generar espacios entre los puntos de la matriz.

En el caso de los números, en Braille se agrega un identificador para indicar que en seguida se estarán leyendo números, esto es una matriz adicional, para esto se analizan

```
Texto a traducir: abc
a
[[1 1 0 0 0]
 [1 1 0 0 0]
 [0 0 0 0 0]
 [0 0 0 0 0]
 [0 0 0 0 0]
 [0 0 0 0 0]
 [0 0 0 0 0]
 [0 0 0 0 0]
b
[[1 1 0 0 0]
 [1 1 0 0 0]
 [0 0 0 0 0]
 [1 1 0 0 0]
 [1 1 0 0 0]
 [0 0 0 0 0]
 [0 0 0 0 0]
 [0 0 0 0 0]
c
[[1 1 0 1 1]
 [1 1 0 1 1]
 [0 0 0 0 0]
 [0 0 0 0 0]
 [0 0 0 0 0]
 [0 0 0 0 0]
 [0 0 0 0 0]
 [0 0 0 0 0]
```

Fig. 9. Ejemplo de cadena abc en matriz numérica.

```
Texto:
prueba 123
```

Fig. 10. Texto de entrada para prueba.

los elementos siguientes y anteriores de la cadena para asegurar que el indicador de número sólo se colocará al principio del mismo; caso similar con las letras en mayúsculas, se analiza la cadena por palabras para comprobar si alguna está escrita completamente en mayúsculas, si es así se utiliza el indicador correspondiente al inicio de la misma.

Los indicadores se agregan al inicio de una secuencia de números o letras mayúsculas, sin embargo, si no hay una secuencia y son símbolos alternados, estos indicadores se utilizarán en cada cambio existente.

Cada carácter alfanumérico que compone la cadena del texto de entrada, representa una matriz numérica que es obtenida de una base de datos, al tener la conversión de cada carácter, estas matrices se concatenan para obtener una matriz resultante equivalente al texto de entrada.

En la Figura 8 se muestra la sección del código del ciclo de impresión de las matrices Braille para una palabra o secuencia de letras, mientras que en la Figura 9 se muestran las matrices numéricas de una cadena de letras de entrada.

Como producto de salida, la matriz concatenada de respuesta se guarda como una imagen. Para el procesamiento de imágenes, se realiza la selección de la imagen de

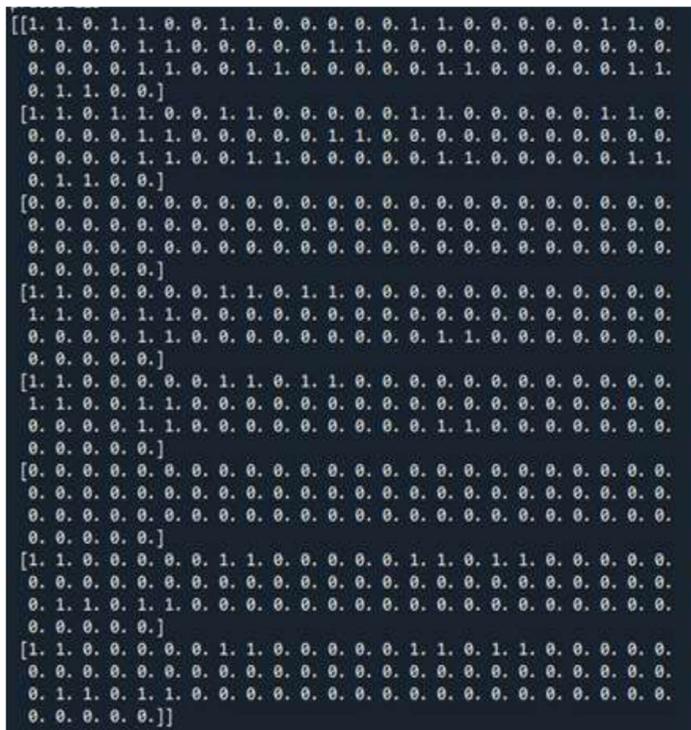


Fig. 11. Matriz numérica correspondiente al texto “prueba 123”.

entrada indicando el nombre del archivo con su extensión, y se procede a realizar el procesamiento de la imagen para calcular u obtener sus bordes.

Este proceso consiste en transformar la imagen a escala de grises, aplicar un filtro para eliminar el ruido de la imagen, detectar bordes e invertir el color de la imagen; para lo cual los métodos `cvtColor`, `GaussianBlur`, `Canny` y `bitwise_not` que ofrece la biblioteca implementada de `OpenCV` de `Python`.

El método `cvtColor` se encarga de transformar la imagen de `RGB` a escala de grises. `Canny` es un método que calcula automáticamente los bordes de una imagen, recibiendo solo tres parámetros: imagen, el valor mínimo del umbral y el valor máximo del umbral para generar una umbralización de histéresis.

Por último, la función `bitwise_not` que permite invertir los colores de la matriz que conforma la imagen.

En este sistema se utiliza un filtrado de tipo Gaussiano, este filtro permite dar más importancia a los píxeles que se encuentran más cerca del centro eliminando los puntos dispersos, para realizar este filtrado se utiliza el método `GaussianBlur`, el cual recibe como valores: la imagen y el tamaño del núcleo que se necesita, ya que debe hacerse en dos dimensiones, y como último valor el ancho de la curva de campana, sin embargo, al indicar el valor 0, `OpenCv` se encarga de calcular automáticamente este valor para el kernel elegido.

Posteriormente se muestra la imagen original y la procesada en el software para observar los cambios. La imagen se almacena en la computadora en una carpeta

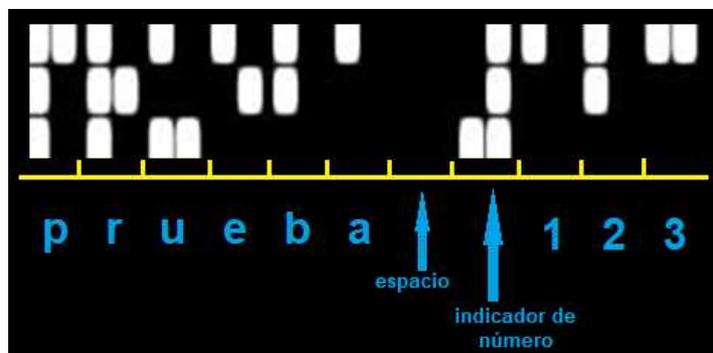


Fig. 12. Imagen en Braille equivalente al texto de entrada.

definida automáticamente por el usuario. Esta carpeta contiene todas las imágenes de salida, listas para ser enviadas a un sistema de CNC comercial para imprimir como relieve en papel.

Al obtener la imagen final procesada con las matrices Braille o con la imagen en bordes o contornos, se pretende como trabajo futuro, que esto se imprima de manera simple en papel para obtener el recurso táctil, para esto se trabajará con el diseño de una maquinaria que para la impresión tanto del Braille en escala real, así como la recreación de imágenes en contornos.

Esta maquinaria requiere trabajar en los tres ejes X, Y para crear la correspondencia y en Z para determinar lo alto del relieve, como base se usará el sistema de funcionamiento de las máquinas CNC que tomará como entrada la imagen procesada y realizará el relieve correspondiente.

5. Resultados

El prototipo se encuentra en una etapa temprana de desarrollo, teniendo como avance el sistema de conversión de texto o imagen a una imagen de matriz Braille o de contornos. Actualmente se permite la traducción de texto digital a código braille; Para lograrlo se utilizaron matrices, una matriz por cada letra y símbolo que se encuentra dentro del sistema braille.

Se analiza el texto que se ha dado para su traducción y en base a la ortografía se utilizarán las matrices correspondientes para cada letra, número o signo de puntuación. En la Figura 10 se muestra el texto “prueba 123” de entrada como prueba para la ejecución del código, en la Figura 11 se muestra la matriz obtenida que representa al texto introducido, cada sección representa un renglón de la matriz de conversión.

En la Figura 12 se muestra la imagen resultante con la matriz Braille de todo el texto. En otro código que se ha realizado a modo de prueba, utilizando la librería OpenCV, se logró el procesamiento de imágenes, que primero convierte la imagen a escala de grises para luego obtener el contorno de estas.

En la Figura 13 se muestra la imagen de entrada para la prueba del código y la imagen resultante para su impresión en relieve. Para el desarrollo de la interfaz gráfica se han investigado dos bibliotecas existentes para Python: PySimpleGUI y tkinter. Se

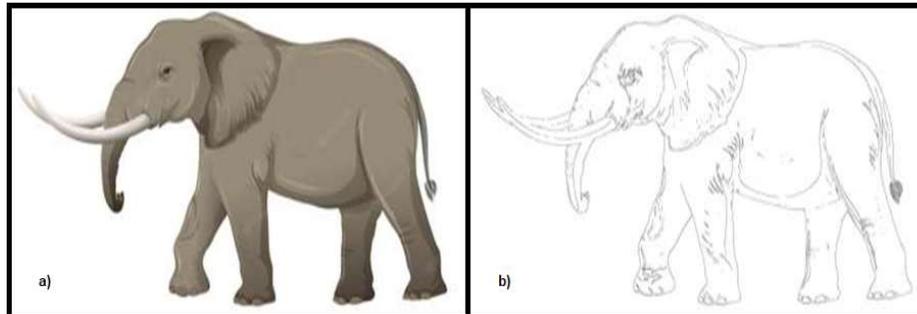


Fig. 13. Prueba con una imagen de elefante para obtener sus bordes o contornos, a) imagen original, b) imagen resultante del procesamiento.

continúa investigando sobre los beneficios de cada uno de estos con el fin de utilizar el adecuado para el proyecto.

En lo concerniente a la estructura física para la impresión, no se ha llevado a cabo, pero es la siguiente etapa de trabajo.

Para probar las transformaciones realizadas, se implementó un sistema CNC comercial, cambiando la herramienta por un punzón e introduciendo la imagen obtenida después del proceso.

No se ha empleado con usuarios finales que padezcan discapacidad visual. Como resultados de estas pruebas, con respecto al texto se tiene lo mostrado en la Tabla 1, el tamaño de los relieves de la matriz Braille correspondiente al texto de entrada son 23% más grandes, debido al punzón usado, al imprimir múltiples matrices se tiene un desplazamiento horizontal de una matriz con respecto a la otra.

Esto último es debido a la colocación superficial de la hoja de impresión, la cual no cuenta con una bandeja específica. Las imágenes de contorno fueron impresas en su totalidad de manera adecuada, sin embargo, como se ve en la Tabla 2 las imágenes con altos detalles no son bien procesadas o contienen mucha información que al obtener su relieve no son fácilmente detectable su forma.

6. Conclusiones y trabajo a futuro

El sistema desarrollado permite en primera instancia realizar el procesamiento de imágenes naturales y convertirlas a imagen de relieves, así mismo se logra realizar la acción de traducción de una forma óptima, llevando un texto a su equivalente en matriz Braille y guardar el resultado como imagen.

En términos de efectividad, el sistema funciona para letras y números, faltando implementar los caracteres especiales. En las imágenes, el proceso es efectivo cuando la imagen presenta un fondo sin detalles, ya sea color liso o con elementos simples.

Actualmente no se tiene la capacidad de una máquina de impresión, pero se tiene el sistema que permite tomar una entrada y obtenerla lista para imprimir en una máquina CNC comercial, destinando el sistema a satisfacer las necesidades en términos de educación, de las personas que sufren de discapacidad visual. El sistema, aun no

Tabla 1. Características de impresión de matriz Braille.

Letras	Números	Caracteres especiales	Error en Tamaño	Tamaño de cadena
A – Z y a - z	0 - 9	No aplica	23%	29 símbolos

Tabla 2. Características de impresión de la imagen de contornos.

Formato de entrada	Color de imagen	Tipo de fondo	Grosor de contorno
JPG y PNG	RGB	Liso	1.5mm

terminado, permite obtener recursos digitales adaptados en términos de Braille y relieves, que pudieran ser implementados en actividades de enseñanza – aprendizaje.

A futuro se pretende continuar con la investigación, adaptando una interface amigable al sistema de traducción, así como desarrollar el prototipo de la máquina de impresión.

Referencias

1. World health organization (WHO): Blindness and vision impairment (2022) www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment.
2. Instituto nacional de estadística y geografía (INEGI): Discapacidad: Porcentaje de la población con algún tipo de discapacidad por grupo de edad (2020) www.inegi.org.mx/temas/discapacidad/
3. González-Saucedo, A. C., García-Heredia, F. J., Ramírez-Martínez, R.: Discapacidad visual. *Cultura Científica y Tecnológica*, vol. 10, no. 51 (2016) [erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/954](http://revistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/954)
4. Steinmetz, J. D., Bourne, R. R., Briant, P. S., Flaxman, S. R., Taylor, H. R., Jonas, J. B., Abdoli, A. A., Abrha, W. A., Abualhasan, A., Abu-Gharbieh, E. G., Adal, T. G., Afshin, A., Ahmadieh, H., Alemayehu, W., Alemzadeh, S. A., Alfaar, A. S., Alipour, V., Androudi, S., Arabloo, J., Arditi, A. B.: Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: The right to sight: An analysis for the global burden of disease study. *The Lancet Global Health*, vol. 9, no. 2, pp. e144–e160 (2021) doi: 10.1016/s2214-109x(20)30489-7
5. Liesen, B.: El braille: Origen, aceptación y difusión. *Entre dos mundos, Revista de traducción sobre discapacidad visual*, no. 19, pp. 5-35 (2002)
6. Martínez-Liébana, I. y Polo-Chacón D.: Guía didáctica para la lectoescritura braille. Organización Nacional de Ciegos Españoles (2004)
7. Discapnet: El alfabeto Braille. Fundación Once. www.discalpnet.es/innovacion/productos-apoyo/alfabeto-braille (2023)
8. Baciero, A., Perea, M., Gómez, P.: Tocando tus palabras: Por qué la lectura braille es especial. *Ciencia Cognitiva*, vol. 13, no. 2, pp. 54–57 (2019)
9. Fuentes-Nieves, F. M.: Diseño de imágenes para ciegos, material didáctico para niños con discapacidad visual. Universitat Politècnica de València, Departamento de Dibujo (2014) doi: 10.4995/Thesis/10251/37882
10. Oregan Geva industrial design: 2C3D tactile camera for the blinds (2018) <https://www.orengeva.com/2c3d>

11. Martín-Blas, Á. D.: La impresión de figuras en 3D como incentivo a la lectura para personas con discapacidad visual. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, no. 75, pp. 184–203 (2019)
12. Cabrera-Hidalgo, J. C.: Diseño y desarrollo de un prototipo de línea Braille de bajo costo para personas no videntes en el marco de Cátedra UNESCO "Tecnologías de apoyo para la inclusión educativa" de la Universidad Politécnica Salesiana. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador (2019)
13. Hernández-Suarez, C. A., Jiménez-Hernández, L. A.: Prototipo de tecnología en asistencia para la enseñanza del braille. *Redes de Ingeniería*, vol. 2, no. 2, pp. 105–115 (2012) doi: 10.14483/2248762x.7168