

Diseño de Impresora Braille a Partir de Impresora de Matriz de Puntos

Design of Braille Printer From Dot Matrix Printer

Investigación

Dr. Francisco Javier Villalobos-Piña, M.C. Mario Salvador Esparza-González, Ing. Juan José Muñoz-Correa
TecNM/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Departamento de Ingeniería Eléctrica Electrónica,
Av. Adolfo López Mateos No. 1801 Ote. Fracc. Bona Gens, Aguascalientes, Ags., México. C.P. 20256,
Tel: 01(449) 9105002, Fax: 01 (449) 9700423, fvillalobospia@yahoo.com

Resumen

En este artículo se presenta el diseño y desarrollo de una impresora Braille, basado en el rediseño de una impresora de matriz de puntos, la cual se encuentra en desuso por ser obsoleta pero sus partes mecánicas son todavía funcionales. Se diseñó para lograr un sistema de bajo costo. El diseño consistió de varias etapas, la primera de ellas fue el diseño del sistema electrónico el cual se basa en el procesador digital de señales (DSP) de la serie 30 de la compañía microchip el dsPIC30F4011 el cual efectúa todas las acciones de control del sistema. La segunda etapa fue el diseño de un programa de computadora de alto nivel, basado en el lenguaje de programación visual Delphi Embarcadero Delphi XE7 el cual es capaz de decodificar archivos de texto al lenguaje Braille; también efectúa el diálogo con la unidad central de procesamiento vía comunicación usb. La tercera etapa fue la adecuación del sistema mecánico de la impresora de matriz de puntos así como la incorporación de un actuador eléctrico para punzar, tracción y control del papel. Finalmente se presentan algunos resultados de impresión del texto Braille fruto del diseño del sistema.

Palabras clave: Impresora Braille, Sistemas mecatrónicos.

Abstract

This paper presents the development and design of a Braille printer, based on the redesign of obsolete dot matrix printer. The main reason of the printer redesign is that actually this kind of printers is obsolete but the mechanical parts are still fully functional yet. A central process unit (CPU), Mechanical modifications and a computer program was developed to get a low cost system. The development process was divided in some tasks, the first task was the electronic control system based on Microchip 30 series digital signal processor (DSP) the dsPIC30F4011 which perform all the necessary control actions of the Braille system. The second task was the development and design of high level computer program based on the visual Embarcadero XE7 Delphi computer language, the

computer program perform the text decoding and all the necessary USB communications with the CPU unit. The third task was the mechanical modifications to the dot matrix mechanical system printer, like electric actuator adequation for dots, tracking and paper control. Finally prints in Braille text results are shown.

Keywords: Braille Printer, Mechatronics.

Introducción

El sistema Braille, también conocido como cecografía o alfabeto Braille, fue ideado por el francés Louis Braille a mediados del Siglo XIX [1], siendo un sistema de lectura y escritura para personas con alguna discapacidad visual. Si bien el sistema tuvo múltiples cambios a lo largo del tiempo, fue Louis Braille quien lo desarrolló hasta su forma actual [1]. El sistema Braille es un alfabeto con el cual se pueden representar letras, números, signos de puntuación, la grafía científica, expresiones matemáticas, música, entre algunas otras especificaciones especiales [1,2]. Es un sistema lector-escritor universal basado en una matriz generadora de caracteres de 6 puntos distribuidos en una matriz de 3 renglones por 2 columnas, en la que considera la ausencia o el relieve en cada punto; se pueden obtener 64 combinaciones diferentes, lo que permite decodificar e identificar lo que se está tratando de expresar [3]. Adicionalmente se utilizan signos diferenciadores especiales que, antepuestos a una combinación de puntos, convierten la letra a mayúsculas, bastardilla, número o nota musical [3]. Sin embargo, debido a su universalidad el alfabeto Braille sufre ligeras modificaciones dependiendo del idioma al que se le traduzca.

Para la generación de texto Braille se requiere de equipo especial, lo que llevó a la creación de impresoras con la variante de imprimir a relieve, lo cual permite a la persona con discapacidad visual interpretar el texto por medio del tacto. Estas impresoras cuentan con percutores los cuales realizan la misma función que un punzón para escribir Braille, es decir, que estos son lanzados contra el papel con la fuerza necesaria para que lo marquen [4], realizando así relieves en la

cara contraria de la hoja, tal y como en la escritura manual. La fuerza aplicada al papel debe ser adecuada para generar un relieve que pueda ser perceptible por la persona; y no debe exceder el límite como para perforar por completo la hoja. Hoy en día, se pueden obtener impresoras Braille con una velocidad de impresión hasta 150 caracteres por segundo, cada vez de menor tamaño y mayor desempeño y tan actualizadas que pueden ser conectadas a redes inalámbricas como Bluetooth o Wifi a cualquier equipo de cómputo [5]. Sin embargo, el principal inconveniente es el costo de las mismas que oscila entre los 3,095 y hasta los 39,995.00 dólares según sus características como puede apreciarse en la tabla 1.

Tabla 1. Algunas Impresoras Braille comerciales.

Marca y modelo	Costo (Dólar)	Características
Enabling Technologies Company.Braille Express 100-150	\$ 11,995	Impresión de 100-150 caracteres por segundo.
Pro American Thermoform Corp. Índex Basic D-V4	\$ 3,095	Imprime 100 caracteres por segundo,
Pro American, Thermoform Corp. Índex Everest D	\$ 4,395	Braille de Alta calidad en plástico.
Pro American Thermoform Corp. Braille 200	\$ 39,995	Producción de 600 páginas por hora

Según el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), las discapacidades de tipo visual en México ocupan el segundo lugar, como se observa en la Figura 1 respecto al orden en que se presentan los distintos tipos de discapacidades [6]. La proporción de personas con discapacidad visual ha sido mayor en comunidades rurales y de bajos recursos que en las zonas urbanas. La discapacidad puede ser causada por distintos factores, entre los que se encuentran: problemas de nacimiento, enfermedades (como diabetes, glaucoma entre otras), accidentes, edad avanzada, etc.

Por mencionar un dato estadístico, en la ciudad de Aguascalientes, México, se reportan 8,176 personas que presentan algún tipo de discapacidad visual [7], y de esta cantidad de la población en 2017 el DIF ha otorgado 269 clases de computación a 80 participantes, 319 clases de Sistema Braille con 96 alumnos, además de 140 clases de “Orientación y Movilidad” a 69 personas y 203 talleres de música impartidos a 58 participantes [7]. Para ello se cuenta con equipo de

cómputo adaptado para brindar asistencia en cuestiones informáticas a este sector de la población, en temas como lectura, aprendizaje y entretenimiento.



Figura 1. Discapacidades en México (porciento) [6].

Desafortunadamente hay escasez de equipos para impresión de textos Braille en dicha institución, además de que los equipos existentes presentan fallas continuas. La Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA) cuenta con impresoras Braille, siendo una de las instituciones en todo el estado capaz de proveer el uso de éste tipo de equipos, lo cual limita en gran medida el acceso equitativo a ellos, ya sea por cuestión económica o geográfica.

Por otro lado se observa que en las últimas décadas y principalmente al inicio del nuevo siglo, se ha incrementado en grandes proporciones la fabricación, el consumo y el desecho de aparatos eléctricos y electrónicos, por la gran cantidad de beneficios y facilidades que han dado al desarrollo de la humanidad. Anualmente se generan entre 20 y 50 millones de toneladas de basura electrónica al año [8]. Se calcula que el volumen de la chatarra electrónica está creciendo entre un 16% y un 28% cada cinco años, lo que le convierte en un problema alarmante de desperdicios que va en crecimiento acelerado [9]. Los desechos electrónicos generalmente están constituidos de un 30% de polímeros, es decir plástico y óxidos refractarios, otro 30% de elementos cerámicos, y el 40% por metales [10]. Por lo que el empleo de equipos en desuso es una oportunidad para el cuidado del medio ambiente.

Con el desarrollo de este proyecto se pretende contribuir en la reutilización de materiales electrónicos desechados para la generación de equipo de bajo costo para impresión de escritos Braille que permitirá que este equipo sea posible de adquirir por personas con discapacidad visual.

El objetivo del proyecto es realizar la conversión de una impresora convencional de matriz de puntos (fuera de uso) a una impresora Braille, con la finalidad de apoyar a las personas con discapacidad o debilidad

visual de escasos recursos. Para esto se desarrolla la tarjeta de control basada en un DSP, la etapa de potencia para el control de los motores y punzón, una modificación al sistema mecánico y el programa de interfaz en la computadora para enviar el texto a imprimir. El proyecto se desarrolló en el laboratorio de Electrónica del Instituto Tecnológico de Aguascalientes como proyecto de residencia profesional.

En la sección de fundamentos teóricos se explica el sistema de escritura Braille y una breve descripción de los elementos empleados en la modificación de la impresora de matriz de puntos. En el apartado materiales y métodos se describe el desarrollo de las tarjetas electrónicas y el programa de computadora. En la sección de resultados se muestra el prototipo final, la interfaz gráfica y una impresión de texto Braille.

Fundamentos teóricos

A) La Escritura Braille. Existen variantes en el sistema Braille según el idioma considerando caracteres ordinarios y especiales. La figura 2 muestra el alfabeto latino que consta de 26 letras mayúsculas y minúsculas y se tienen hasta 24 letras especiales para el idioma español y portugués.

A B C D E F G H I J K L M
 a b c d e f g h i j k l m

 N O P Q R S T U V W X Y Z
 n o p q r s t u v w x y z
 ã ä ç c c c d ë g g h l i ö
 õ œ s s ü z ž ?

Figura 2. Alfabeto latino.

La generación de caracteres debe ser precisa para evitar discrepancias si se leen en un idioma u otro ya que algunos coinciden en su representación. Para representar el alfabeto Braille se emplea una matriz de 3x2, con una enumeración por punto y dimensiones específicas (en milímetros) como se muestra en la Figura 3 [3].

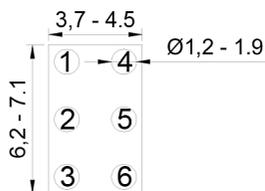


Figura 3. Matriz o carácter generador (mm)

La conversión del “Alfabeto Latino” a Braille suele dividirse en 3 grupos que abarcan como máximo 10 letras. Grupo 1: De la letra “A” a la letra “J” cuyas combinaciones emplean los puntos 1, 2, 4 y 5 para formar el carácter. Grupo 2: De la letra “K” a la letra

“T”. Cuyas combinaciones emplean adicionalmente el carácter 3. Grupo 3: De la letra “U” a la letra “Z”. Cuyas combinaciones emplean los puntos 3 y 6, además de cualquiera de los otros 4 puntos. La figura 4 muestra las combinaciones de los 3 grupos [1].

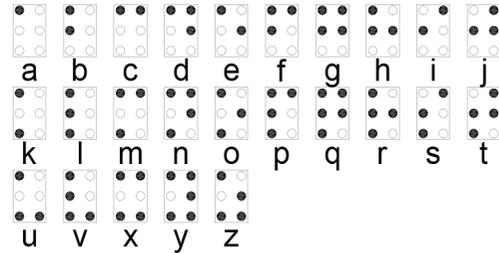


Figura 4. Código Braille para letras minúsculas.

Existen excepciones a las reglas para las letras “Ñ” y “W” respectivamente, por lo que no aparecen en el código Braille latino. Existe un carácter especial para indicar que la letra es mayúscula el cual se antepone al carácter que representa la minúscula como se muestra en la figura 5. Además si se requiere expresar una frase u oración completamente en mayúsculas, se debe anteponer el carácter especial dos veces [1].

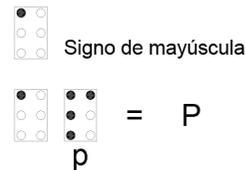


Figura 5. Carácter especial para mayúscula.

Existe un carácter especial para denotar números tal y como se muestra en la Figura 6; son los mismos caracteres del Grupo 1, con el carácter especial de número antepuesto [1].

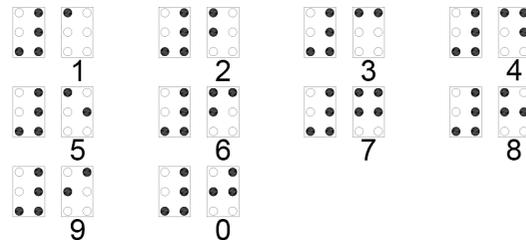


Figura 6. Números en Braille.

Los signos de puntuación y agrupación podemos identificarlos en la figura 7. Los paréntesis, corchetes y llaves presentan caracteres diferentes para abrir y cerrar [1].

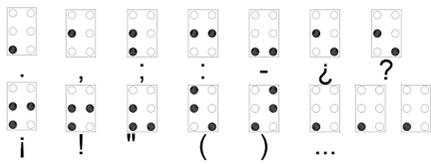


Figura 7. Signos de puntuación Braille

La escritura Braille maneja elementos de escritura básicos como lo son la regleta y el punzón que se muestran en la figura 8. La regleta puede ser metálica o plástica y consta de dos reglas o guías entre las cuales se sitúa el papel, por un lado, se encuentra un grabador con los puntos que conforma cada una de las matrices o caracteres generadores y por el otro lado se encuentra un cajetín perforado de tal manera que se pueda indicar la posición de cada punto de la matriz y sea más fácil la distinción entre ellas. La escritura se realiza por medio del marcado de la hoja al presionar con el punzón el papel contra la serie de puntos de las matrices generadoras que hay en la regleta. El punzón tiene la punta chata de manera que marque el papel pero no lo perfora. La escritura Braille a diferencia de la escritura convencional se realiza de manera inversa, esto es, que se escribe de derecha a izquierda. Esta inusual manera de escribir es debida a que las personas al leer perciben los relieves encontrados en el papel, lo que lleva a que siempre la persona gire la hoja 180° al terminar de escribir.

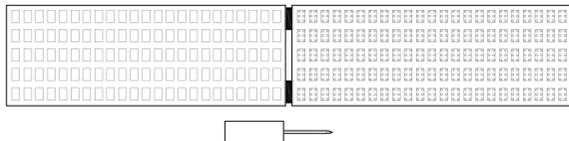


Figura 8. Regleta y punzón para escritura Braille.

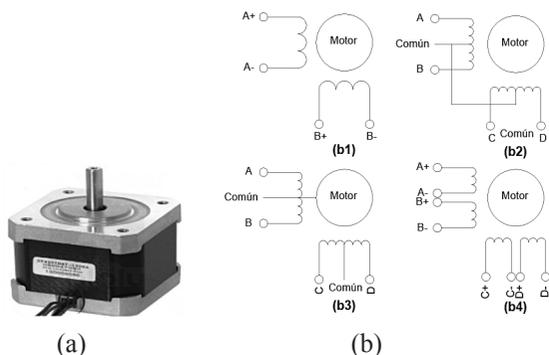


Figura 9. Motor a pasos. (Sanyo 103H5205) (a) Imagen (b) Diagrama eléctrico.

B) Componentes electrónicos. Dentro de los principales componentes de una impresora se tienen los motores a pasos, como se muestra en la figura 9,

los cuales son actuadores electromecánicos rotativos que convierten una entrada de excitación de pulsos de voltaje (trapezoidales de origen digital) aplicados al estator en un movimiento angular de la flecha del rotor, el cual mantiene una relación directa de la cantidad de pulsos de voltaje recibidos por el estator, con la cantidad de rotación angular y la velocidad de giro en función de la frecuencia de dichos pulsos discretos [11]. Los pasos permiten un control de posicionamiento exacto, cambios rápidos de dirección y velocidad. El ángulo de giro puede variar desde los 90° a los 0.72°.

Tabla 2. Configuración de Micro-Paso.

Resolución DVR8825	Pines		
	M0	M1	M2
1 Paso	Bajo	Bajo	Bajo
1/2 Paso	Alto	Bajo	Bajo
1/4 Paso	Bajo	Alto	Bajo
1/8 Paso	Alto	Alto	Bajo
1/16 Paso	Bajo	Bajo	Alto
1/32 Paso	Alto	Bajo	Alto
1/32 Paso	Bajo	Alto	Alto
1/32 Paso	Alto	Alto	Alto

Existen variantes en el tipo de motores como son de rotor de imán permanente, de reluctancia variable o híbrido; ya sean unipolares o bipolares, de 4, 5, 6 u 8 hilos, sin embargo, los motores comúnmente usados son aquellos que presentan 4 y 6 hilos. Pueden ser unipolares o bipolares: los primeros son fáciles de controlar y presentan un gran torque a la hora de realizar el giro, esto se debe a que en su funcionamiento utilizan uno de sus hilos como común, el cual es conectado a la fuente de alimentación mientras que los hilos restantes van siendo colocados a tierra con un orden específico, para generar la secuencia de pasos. Los bipolares tienen 4 hilos de salida, sin embargo, en la conexión interna no cuenta con devanado central, es decir no tiene común a la fuente de alimentación, por tanto para ser controlado se requiere de un dispositivo específico que pueda invertir el flujo de la corriente en las bobinas mediante las polaridad de las terminales, como lo es un puente H. La ventaja es que ofrecen una mejor relación entre torque, tamaño y peso. La conexión se observa en la figura 9b2. El controlador DRV8825 permite manejar los voltajes y corrientes que requieren estos motores, limitando la corriente que circula por ellos mediante un potenciómetro de calibración, y proporcionando las protecciones para evitar que la electrónica pueda resultar dañada; se requieren dos salidas digitales, una para indicar el sentido de giro y otra para que el motor avance un paso. Además, permite realizar micro-pasos, una técnica para conseguir precisiones superiores al paso nominal del motor [14]. El controlador permite obtener micropasos con la conexión adecuada de las terminales M0, M1 y M2 como se indica en la tabla 2.

El segundo elemento de control es el solenoide; dispositivo físico capaz de generar un campo magnético sumamente uniforme e intenso en su interior y muy débil en el exterior [12]. Se considera un actuador empleado para generar un movimiento lineal. Un diagrama esquemático se muestra en la figura 10.

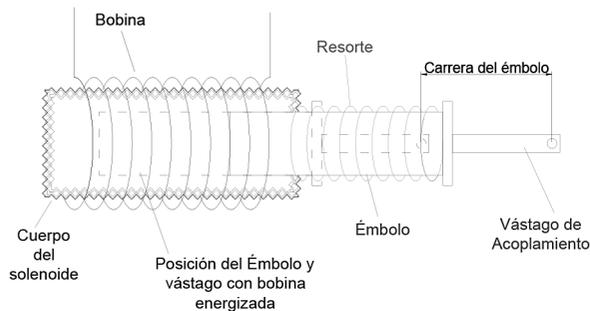


Figura 10. Solenoide

El dispositivo para la medición de posición es un sensor CNY70, de corto alcance capaz de detectar colores de objetos y superficies. El CNY70, consta de un diodo emisor de luz (LED) en el espectro infrarrojo y un fotodetector en el mismo espectro en este caso un foto transistor. El LED, emite un haz de radiación en el espectro infrarrojo que el fototransistor es capaz de captar cuando la luz se refleja sobre una superficie o un objeto. El sensor CNY70 puede ser usado como una entrada de tipo analógica o digital [13]. El control se efectúa mediante un procesador digital de señales (DSP) dsPIC30F4011.

Materiales y métodos

El desarrollo del presente proyecto se llevó a cabo en el Instituto Tecnológico de Aguascalientes en el laboratorio de Ingeniería Electrónica. Dicho proyecto fue realizado básicamente en tres etapas para efectuar la conversión de la impresora de matriz de puntos en una impresora Braille. La primera etapa fue el análisis del sistema mecánico original de la impresora de matriz de puntos para reutilizar motores, sensores y fuente de alimentación, posteriormente se diseñó la modificación para insertar la regleta de escritura Braille y el punzón, el cual es controlado mediante un solenoide colocado y nivelado adecuadamente en el cabezal. Se calibró para insertarse en un renglón de la matriz de la regleta de tal forma que se inserte siempre en un punto de la misma. Se modificó el mecanismo de extracción de las hojas y la tapa de la impresora para evitar que el rodillo aplanara los puntos al ser expulsada la hoja. En la segunda etapa se diseñó un sistema de control electrónico y se tomaron como base las dimensiones

del sistema de control original de la impresora de matriz de puntos para colocar el nuevo sistema en sustitución del sistema original considerando para ello los conectores, sensores CNY70, dispositivos electrónicos como resistencias, condensadores, los controladores de motores a pasos bipolares con el DVR8825 de la empresa Texas Instrument. Además se efectuó la adaptación de los motores unipolares de 6 hilos para ser utilizados como motores de 4 hilos bipolares. Respecto a la fuente de alimentación original de la impresora se incluyó la generación de 5V y 12V mediante el uso de reguladores integrados monolíticos de la serie 78XX. El diseño de los circuitos impresos fue efectuado mediante el uso de un programa computacional denominado ARES de la empresa LabCenterElectronics [15], y posteriormente mediante un procedimiento manual se desarrolló la tarjeta de circuito impreso mediante el uso de ácido cloruro férrico con el uso de la técnica de transferencia por calor. De forma similar fueron desarrollados y construidos los circuitos impresos de los sistemas electrónicos de comunicación, para efectuar la interfaz de comunicación con el equipo de cómputo a partir de la unidad central de procesamiento basada en el DSP DsPIC30F4011; tomando en cuenta sus características de velocidad [16]. Un transceiver de comunicaciones fue utilizado para el diálogo vía puerto serial emulado de alta velocidad a través de la interfaz USB del equipo de cómputo con la unidad central de procesamiento de la impresora Braille. Como etapa final, se desarrolló el firmware o programa del DSP en el lenguaje C de la compañía Customer Computer Services (CCS por sus siglas en inglés) la elección debida a la simplicidad de programación [15], uso de librerías y versatilidad de simulación del código compatible con las herramientas de diseño de la empresa Microchip. Se desarrolló además, para el diálogo entre el equipo de cómputo y la unidad central de control de la impresora Braille un protocolo ASCII; el cual permite un intercambio seguro de información y la seguridad de no ejecutar en forma incorrecta comandos en la impresora debido a fallas y virus en los equipos de cómputo. Un programa de alto nivel de computadora fue desarrollado en el lenguaje de alto nivel visual Embarcadero Delphi XE7® el cual permite efectuar todas las acciones de decodificación de texto proveniente de procesadores de texto comerciales o bien permite la escritura en forma directa de textos para su posterior impresión lo cual evita la necesidad del uso de un procesador externo de texto. El programa de computadora permite ingresar texto en el idioma español, efectúa la conversión al Braille y lo reacomoda de derecha a izquierda para su adecuada impresión.

Resultados y discusión

Se logró desarrollar un prototipo funcional basado en un dispositivo de desecho, que imprime el texto deseado en sistema Braille. La figura 11 muestra el sistema mecánico modificado. Se aprecia en la imagen la regleta (1), el punzón (2) ya alineado con un punto de la regleta, el solenoide (3) y su montaje en el cabezal (4) de la impresora.

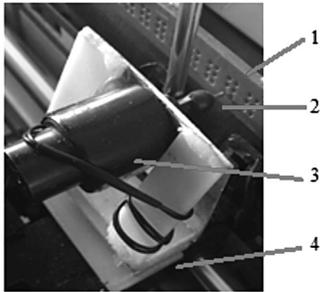


Figura 11. Sistema mecánico modificado.

En la figura 12 podemos observar la tarjeta de control desarrollada. (1) Conector de control de DSP. (4) Conector de Sensores, (2,5) Controlador DVR8855 para motores de pasos. (3) Conector de motor a tarjeta. (7) Regulador de tensión. (8) Alimentación de tarjeta que llega de fuente. (6) Salida de control a solenoide.

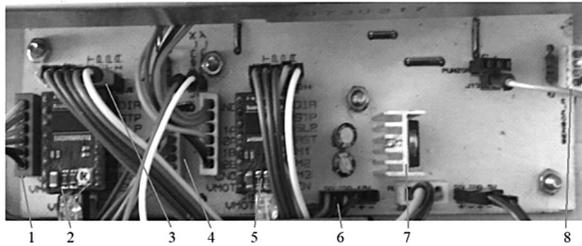


Figura 12. Tarjeta de control desarrollada.

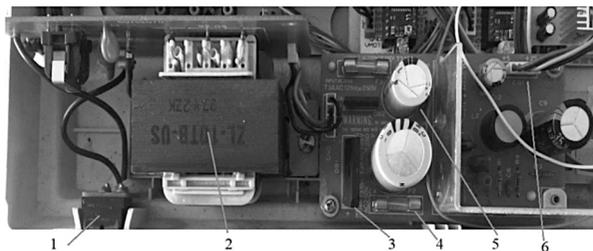


Figura 13. Fuente de alimentación.

La figura 13 muestra la fuente de alimentación reutilizada. (1) Conector de CA 127V. (2) Transformador. (3) Puente rectificador. (4) Fusible de protección. (5) Filtro para eliminar rizado. (6) Conector para alimentación de tarjeta de control.

La figura 14 muestra la tarjeta del DSP modelo dsPIC30F4011 (1), La interface de comunicación USB

(2), el conector de alimentación de la tarjeta (3) y el puerto de salida a la tarjeta de control (4).

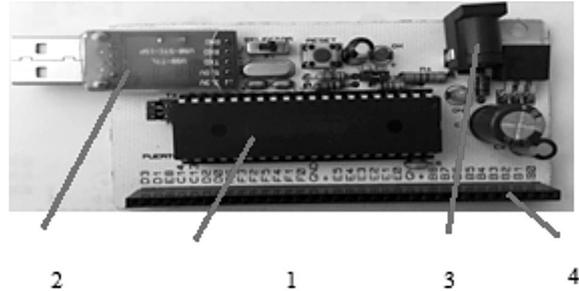


Figura 14. Tarjeta DSP e interface USB a PC



Figura 15. Impresora Braille.

La figura 15 muestra la impresora original de matriz de puntos para impresión Braille, como se puede notar la apariencia no se modificó. En la figura 16 se muestra la pantalla de la computadora con el texto que se desea imprimir en la interface desarrollada y la figura 17 el texto impreso en Braille en papel bond.

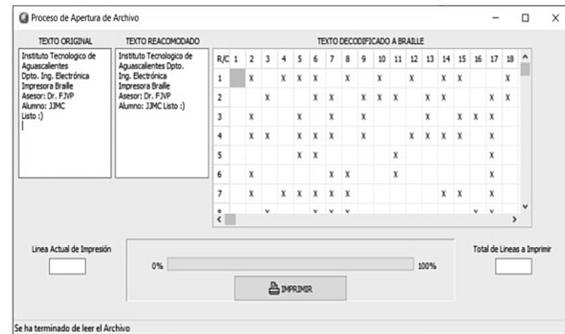


Figura 16. Pantalla programa de computadora para captura de texto.

Como puede notarse el programa de computadora desarrollado permite escribir el texto en español latino, automáticamente lo convierte a código Braille considerando los símbolos indicados en los fundamentos teóricos y posteriormente lo imprime a través del puerto USB. Después de varias impresiones

se observó un desgaste en la regleta plástica por lo que será necesario reemplazarla con relativa frecuencia para conservar la calidad del texto Braille.

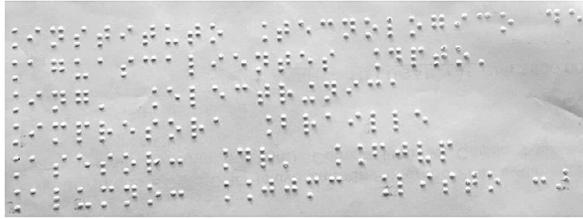


Figura 17. Texto impreso en Braille

Conclusiones

Es posible mediante equipo obsoleto como lo son las impresoras de matriz de puntos encontrar una utilidad. La impresora desarrollada favorece la generación de texto Braille para personas con discapacidad visual a un costo bajo en comparación con las impresoras que se ofertan en el mercado.

El diseño se implementó de tal forma que las tarjetas y accesorios quedaran en el espacio interior de la impresora asignado para las tarjetas originales a diferencia de [17] siendo un diseño más compacto.

El proyecto contribuye al reciclaje de basura electrónica ya que se aprovecharon los motores y sensores con el reemplazo de la tarjeta electrónica únicamente. También se aprovechó el sistema mecánico con una adaptación. El dispositivo se encuentra en fase de pruebas en el laboratorio de ingeniería electrónica del ITA.

Referencias

- [1] Mackenzie, C. (1954). La escritura Braille en el mundo. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001352/135252so.pdf>
- [2] Comisión Braille Española (2018). *Documento Técnico B2 de la Comisión Braille Española. Signografía básica*. Disponible en: <http://www.once.es/new/servicios-especializados-en-discapacidad-visual/braille/documentos/DOCUMENTO%20TECNICO%20B2%20SIGNOGRAFIA%20BASICA%20%20V1.pdf>
- [3] Comisión Braille Española (2014). *Documento Técnico B1 de la Comisión Braille Española. Parámetros dimensionales del Braille*. Edición 2014. Disponible en: <http://www.once.es/new/servicios-especializados-en-discapacidad-visual/braille/documentos/DOCUMENTO%20TECNICO%20B1%20PARAMETROS%20DIMENSIONALES%20DEL%20BRAILLE%20V1.pdf>
- [4] ¿Qué es la impresora?¿Cómo funciona? Consultado Octubre 2017. <https://www.taringa.net/posts/apuntes-y-monografias/7857901/Que-es-una-Impresora-Como-Funciona.html>
- [5] STA México, (2009). “Soluciones de Tecnología Adaptada en México” [online]. Disponible en: (http://www.sta-mexico.com/discapacidadvisual_impresoras_cubjr.html)
- [6] INEGI (2009). *Censo de población y vivienda, categoría discapacidades en México*, Noviembre de 2009. Aguascalientes, Ags. México.
- [7] Página 24. (20 de noviembre de 2017). Promueve DIF Municipal Inclusión Social de las Personas con Discapacidad Visual. <https://pagina24.com.mx/2017/11/20/local/promueve-dif-municipal-inclusion-social-de-las-personas-con-discapacidad-visual/>
- [8] Martínez R. Carlos (julio 20 de 2018). “A China la basura Electrónica”, El Nuevo Día de Puerto Rico.
- [9] Duery A. Lilian. (12 de marzo 2017). La Basura Electrónica crece el triple que la domiciliaria. El Mercurio de Chile.
- [10] C. A. Néstor, (2005). La Chatarra Electrónica, la Contaminación Ambiental y su Efecto Económico, *XVI Fórum de Ciencia y Tecnología*, La Habana Cuba.
- [11] Canto Carlos. Motores a Paso o Steppers Motors [online]. Facultad de Ciencias/UASLP. Consultado Diciembre 2017. Disponible en: (http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microcontroladores/SLIDES_8051_PDF/21_MOTOR.PDF)
- [12] Sin Autor, “Solenoides” [online]. Facultad de Ciencias Químicas/UNAM. Consultado Enero 2018. Disponible en: (http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Presentacion_Solenoides_Toroide_23590.pdf)
- [13] Tecnosefarad. Sensor de Infrarrojos CNY70 como entrada digital [online]. Blog de Tecnología del IES Sefarad Toledo. Consultado Enero 2018. Disponible en: (<http://www.tecnosefarad.com/2014/03/sensor-de-infrarrojos-cny70-como-entrada-digital/>)
- [14] DVR8825 Stepper Motor Controller IC, Texas Instrument Incorporated, Dallas, Texas, 2009-2014.
- [15] DsPIC30F4011/4012. (2007). Data Sheet, Microchip Technology Inc., Mountain View, California.

- [16] García Brejio, E. (2008). *Compilador C CCS y Simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC*. Primera Edición, México: Alfaomega.
- [17] Vinueza Escobar C. P., Moreno Montenegro F., Morales Gordon, J.L., Velastegui Noboa H., Vallejo Vallejo G. Implementación de un

prototipo de impresora Braille de bajo costo, basado en hardware libre. *Revista Publicando*, Vol 4, No. 12. 2017.

Recibido: 15 de junio de 2018

Aceptado: 12 de noviembre de 2018