

SISTEMA DE ENSEÑANZA DEL CÓDIGO BRAILLE PARA NIÑOS CON
LIMITACIONES VISUALES

ALFONSO CÉTARES SALAS
CARLOS ANDRÉS CORTÉS RIVERA
LUIS FERNANDO SILVA OLARTE

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C.

2005

SISTEMA DE ENSEÑANZA DEL CÓDIGO BRAILLE PARA NIÑOS CON
LIMITACIONES VISUALES

ALFONSO CÉTARES SALAS
CARLOS ANDRÉS CORTÉS RIVERA
LUIS FERNANDO SILVA OLARTE

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero
Electrónico

Director
JOSÉ IGNACIO ACEVEDO GORDO
Ingeniero Electrónico, M.Edu.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C.

2005

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

RECTOR MAGNÍFICO

R.P. GERARDO REMOLINA VARGAS S.J.

DECANO ACADÉMICO

Ing. ROBERTO ENRIQUE MONTOYA VILLA

DECANO DEL MEDIO UNIVERSITARIO

R.P. ANTONIO JOSÉ SARMIENTO NOVA S.J.

DIRECTOR DE CARRERA

Ing. JUAN CARLOS GIRALDO CARVAJAL

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. JOSÉ IGNACIO ACEVEDO GORDO

ARTICULO 23 DE LA RESOLUCIÓN No. 13 DE JUNIO DE 1946

"La universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado.

Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque los trabajos no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vea en ellos el anhelo de buscar la verdad y la justicia".

Dedico este trabajo de grado a mi mamá porque todo se lo debo a ella, a mis hermanos por ser mi apoyo incondicional, al ingeniero Augusto Salas Torrado por ser mi guía en este largo camino, a mi grupo de trabajo de grado por ser irremplazable y al fin de cuentas mis mejores amigos, a Oscar por su invaluable amistad, a Juan Pablo por acompañarme durante este largo proceso, a Catalina por estar ahí cuando mas la necesitaba, a Miguel Piñeros por brindarme su confianza y a todas las personas que me acompañaron durante estos años.

Alfonso Cétares Salas

Dedico este trabajo a mis padres, gracias por ese ejemplo de trabajo y compromiso, por darme eso que nadie me va a quitar: la educación. A mi hermana, por siempre estar ahí, por esos oídos abiertos y por esos ojos que ven más allá de lo que los demás ven. A mi Lelis, por tener más energía para regalar que muchos de los que no tenemos ni la mitad de su edad. A mis compañeros de trabajo de grado, Alf y Luis, por esa jauría de risas que siempre nos alegraron lo que hicimos, por ese SNM que nos unió y nos dio fuerza para llegar al final. A todos esos profesores que de alguna forma aportaron durante mi carrera, esa es la labor más importante que he conocido. A don Carlos y doña Ester, por acogerme en su hogar y colaborar tanto. A Oscar, un amigo, una persona que nos dejó ver más de lo que deja ver a los demás, por meterle una sonrisa a todo en la vida. A todos esos amigos que estuvieron ahí enriqueciendo mi vida. A Adri, por su personalidad de rey sol. A Cata, por tratarme diferente a como trata a los demás. A Gaëlle, por preocuparse de mí sin tener por qué. A Maja, por acompañarnos en esta última etapa de la carrera. A Valver, por su amistad y legalidad. A Guillermo Valencia, por la personalidad más extraña que he conocido, pero siempre dando ejemplo de carácter y amor por la ciencia. A Lina, de alguna forma extraña mi hizo darme cuenta de lo que es realmente importante en mi vida. A todas esas personas que de una forma u otra, y aunque muchos no lo crean: me hicieron gozar este trabajo y esta carrera.

Carlos Andrés Cortés Rivera

Para el momento de agradecimientos y dedicatorias de mi carrera, lo primero que viene a mi cabeza es mencionar a Alfonso y Bimbo, mis compañeros, amigos y hermanos durante toda esta carrera, pues ellos son los artífices de este triunfo, gracias a ellos pude hacer todo esto como quería: en familia. Ahora, es momento de dedicar nuestro trabajo:

A mi mamita, mi primera maestra y compañera de trabajo, de lejos la persona más cariñosa e inteligente del mundo y a la que más le dedico este trabajo. A mi papito, mi modelo a seguir como ingeniero, padre, esposo y ser humano; es el motivo de mi realización como ingeniero y como persona. A mi hermano por ser mi apoyo incondicional, mi mejor amigo y junto a Anita son la fuerza viva más grande que tengo a mi lado.

A mi familia, que ha estado conmigo y me ha apoyado siempre. Mi tío Nacho, símbolo del esfuerzo y el amor de familia. Mi primo Pablo, eres un hermano para mí y espero que así siga siendo siempre. Mis primas y mi tía, que desde lejos están más cerca que nadie, muchas gracias. A mi mamá Chela y a mi Aguelita, sobra decir por qué.

A mis amigos, dedico mi carrera entera, por la que los abandoné y hoy más orgulloso que nunca les digo gracias. Zu, por estar conmigo siempre a mi lado. Jorge, por la fortuna de tener más que un mejor amigo, un hermano. Carol, por mantenernos unidos como una gran familia y por no dejar que me alejara... Diego, por contagiarme de la alegría de hacer lo que a uno le gusta, gracias. Paula, por simbolizar la esperanza, mi esperanza, la que estuvo conmigo estos años y la que me lleva a pensar en ser mejor cada día. A Santi y Pipe, por enseñarme que la felicidad está en momentos y sentimientos, no en palabras. A Manu y a Lina por mostrarme que en la distancia los lazos se estrechan y el cariño crece.

De la Universidad, dedico este trabajo a mis amigos, especialmente a: Cata, por ser una sincera y auténtica amiga, por su lealtad y amabilidad para conmigo y los míos. Fede, por enseñarme que aún en la adversidad, a nobleza y la amistad no se deben perder. Carolina, por ese cariño infinito y su compañía en los tiempos más difíciles. Luis Guillermo, por mostrarme que la búsqueda del éxito tiene sentido, sólo si hay amigos con quien compartirlo. Oscar, porque amigos tan valiosos y verdaderos son pocos en la vida, gracias hermano. A Gaëlle, por acompañarme durante esta etapa tan decisiva, como mi mejor confidente y la más hermosa expresión del SNM, gracias por despertarme. Finalmente dedico este triunfo a los campeones de la ley... “ellos saben por qué”.

Say No More, Luisfer

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A Carlos Julio Silva, por su colaboración en todo este proceso, su paciencia, su buen sentido del humor y su permanente preocupación porque todo fuera pedagógico.

A José Ignacio Acevedo Gordo, director del proyecto, por su colaboración e interés en el trabajo de grado.

A Cristian Ochoa del INCI, por su entusiasmo y fe en el proyecto.

Al Instituto Nacional Para Ciegos (INCI), por su constante colaboración.

Al personal de laboratorio de electrónica, por el servicio prestado durante la carrera.

A los empleados de Gaisa, Car Cromo y El Wattio, por su colaboración en la elaboración de las diferentes piezas del dispositivo.

Al ingeniero Oscar Alba, por su permanente apoyo y su incansable fijación en el objetivo de hacernos reír.

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABLAS	13
INTRODUCCIÓN	16
1. MARCO TEORICO	18
1.1 LIMITACIÓN VISUAL	18
1.2 SISTEMA BRAILLE	19
1.3 CAMPO MAGNÉTICO	23
1.4 ESTÁNDAR RS-232	24
1.5 MICROCONTROLADORES	27
2. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA	28
2.1 INTERFAZ ELECTROMECAÁNICA	28
2.2 UNIDAD DE CONVERSIÓN Y PROCESAMIENTO	28
2.2.1 Bloque de procesamiento	29
2.2.2 Bloque de fijación de datos	30
2.2.3 Bloque de alimentación	30
2.3 SOFTWARE DE ACCESO	30
2.4 BASE DE DATOS	31
3. DESARROLLO DEL PROYECTO	32
3.1 INTERFAZ ELECTROMECAÁNICA	32
3.2 CIRCUITOS ELECTRÓNICOS	42
3.2.1 Microcontrolador Pic18f252	42
3.2.2 Decodificador	47
3.2.3 Fijación de datos	47

3.3	BASE DE DATOS	48
3.4	SOFTWARE DE ACCESO	49
3.5	DESCRIPCIÓN FÍSICA	54
3.5.1	Dispositivo electromecánico	54
3.5.2	Circuitos impresos	55
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	58
4.1	ESPECIFICACIONES GENERALES	58
4.2	PROTOCOLO DE PRUEBAS	59
4.2.1	Software y unidad de conversión y procesamiento	59
4.2.2	Interfaz electromecánica	61
4.2.3	Respuesta de los usuarios limitados visuales	63
4.3	ESTUDIO DE COSTOS	68
4.4	EVALUACIÓN DE LOS OBJETIVOS	70
4.4.1	Objetivo general	70
4.4.2	Objetivos específicos	71
4.4.3	Resultados obtenidos	71
5.	CONCLUSIONES	73
	BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXO A	SISTEMA MECÁNICO	
ANEXO B	BASE DE DATOS	
ANEXO C	ESQUEMATICOS	
ANEXO D	CÓDIGO RUTINA MICROCONTROLADOR	
ANEXO E	CÓDIGO SOFTWARE DE ACCESO	
ANEXO F	CÓDIGO PROGRAMA DE PRUEBAS	
ANEXO G	FORMATO DE ENCUESTA SOBRE EL TRABAJO DE GRADO “SISTEMA DE ENSEÑANZA DEL CÓDIGO BRAILLE PARA NIÑOS CON LIMITACIONES VISUALES”	
ANEXO H	MANUAL DEL USUARIO	
ANEXO I	MANUALES DE COMPONENTES	
ANEXO J	ARTE CIRCUITOS IMPRESOS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Símbolo generador.....	20
Figura 2. Alfabeto Braille.	21
Figura 3. Representación de la mayúscula.	21
Figura 4. Representación en código Braille de una palabra en mayúscula.....	22
Figura 5. Representación en código Braille de un número.	22
Figura 6. Signos de puntuación y vocales acentuadas.	23
Figura 7. Campo magnético.	23
Figura 8. Líneas de campo de un imán.	24
Figura 9. Conector DB-9.....	25
Figura 10. Trama de envío.	26
Figura 11. Área transversal del solenoide.....	33
Figura 12. Inductancia contra resistencia.....	38
Figura 13. Inductancia contra resistencia cruzado por calibres y diámetros.....	40
Figura 14. Núcleo del solenoide.	41
Figura 15. Sistema electromecánico para una sola clavija.....	41
Figura 16. Diagrama de tiempos para carga de datos del bloque de fijación.....	43
Figura 17. Diagrama de tiempos de carga de dos flip-flop.....	43
Figura 18. Trama de inicio.	44
Figura 19. Trama de respuesta.	45
Figura 20. Trama de interrupción.....	46
Figura 21. Ventana principal.....	50
Figura 22. Ventana de opciones.	51
Figura 23. Ventana de opciones del tutor.....	51
Figura 24. Ventana de evaluación.....	52

Figura 25. Ventana de abrir archivo de texto.....	52
Figura 26. Ventana de lectura de textos.....	53
Figura 27. Tornillo y nucleo.....	54
Figura 28. Perfil angular.....	55
Figura 29. Montaje definitivo en perfil angular.....	55
Figura 30. Impreso del bloque de fijación de datos.....	56
Figura 31. Impreso del bloque de procesamiento.....	56
Figura 32. Interconexión de circuitos impresos.....	57
Figura 33. Simulación de caracteres Braille con diodos emisores de luz.....	60
Figura 34. Visualizador Braille.....	61
Figura 35. Interfaz electromecánica.....	62
Figura 36. Prueba con dinamómetro.....	62
Figura 37. Efectividad del modo tutor para niños.....	64
Figura 38. Calificación del aporte del proyecto.....	65
Figura 39. Calificación de la cantidad de celdas y su tamaño.....	66
Figura 40. Calificación de la lectura realizada en el renglón Braille.....	67

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución física en el estándar RS-232.	27
Tabla 2. Cálculo de inductancias.	36
Tabla 3. Cálculo de corriente en las inductancias.	38
Tabla 4. Manejo de direcciones.	42
Tabla 5. Especificaciones generales.	58
Tabla 6. Dimensiones del dispositivo.	59
Tabla 7. Dimensiones visualizador Braille.	59
Tabla 8. Costos propuestos.	68
Tabla 9. Costos reales.	69

RESUMEN

El trabajo de grado presentado en este documento se trata de un dispositivo que ayuda en el proceso de aprendizaje del código Braille, está compuesto por una base de datos de archivos de sonido, un software de acceso, una interfaz electromecánica y una unidad de conversión y procesamiento.

En la base de datos se incluye un número determinado de palabras que facilitan el aprendizaje del código Braille por parte de los niños, es decir, en primera instancia se emplean sólo letras, luego se incluyen palabras monosílabas, bisílabas, etc., siguiendo el proceso de aprendizaje de cualquier alfabeto. A cada una de estas palabras se le asocia un archivo de voz que luego será reproducido para que el niño escuche.

El software de acceso es un programa de computador que permite administrar todos los recursos, además de ser la forma en la que un tutor pueda acceder a todas las opciones y llevar a cabo una sesión donde primero se le indique al niño una palabra por medio de una grabación (archivo de sonido), luego tenga la oportunidad de leerla en un reglón Braille y finalmente pueda reproducirla en un teclado, para así poder comparar y evaluar el proceso de aprendizaje de la persona.

La unidad de conversión y procesamiento es un dispositivo cuya función es mantener la comunicación con el computador y a su vez realizar el almacenamiento y procesamiento de las señales, que controlan la interfaz electromecánica.

La interfaz electromecánica es un dispositivo que representa los símbolos del código Braille de la misma forma que lo hacen las celdas que hay actualmente en el mercado; sin embargo, la escasez y nivel de dificultad en la elaboración de estas celdas hacen prácticamente imposible el acceso a ellas; situación que resalta la importancia del proyecto, puesto que su fabricación es parte del mismo. Su elaboración se fundamenta en la teoría electromagnética, donde a partir de una corriente aplicada, las clavijas que forman los símbolos son impulsadas por unos electro-imanés (inductancias).

INTRODUCCIÓN

Según proyecciones del DANE, hasta el año 2003, Colombia cuenta con 44.531.434 de habitantes, de los cuales el 0,7% de los mismos tiene problemas de limitación visual. De este 0,7%, el 74% es considerado con baja visión (232.843 personas) y los restantes son totalmente ciegos (81.810 personas)¹.

²De acuerdo con lo establecido en la ley 361 del 7 de febrero de 1997, título segundo capítulo II artículo diez, el Congreso Nacional de Colombia Decreta que: “El Estado Colombiano en sus Instituciones de Educación Pública garantizará el acceso a la educación y la capacitación en los niveles primario, secundario, profesional y técnico para las personas con limitación, quienes para ello dispondrán de una formación integral dentro del ambiente más apropiado a sus necesidades especiales”. En el Estado Colombiano el criterio establecido para la clasificación de las personas con limitación visual se basa en lo estipulado por la resolución No. 412 de febrero 25 de 2000 del Ministerio de Salud, en la cual se define la norma técnica para la detección temprana de la agudeza visual:

“La limitación visual es la alteración del sistema visual que trae como consecuencia dificultades en el desarrollo de actividades que requieran el uso de la visión. En el contexto de la limitación visual se encuentran las personas ciegas y con baja visión; considerando con baja visión, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), a aquellas que después de la mejor corrección óptica convencional o quirúrgica, en el mejor ojo, no superan una

¹ INSTITUTO NACIONAL PARA CIEGOS – INCI. Fuentes de información estadística de población con ceguera o baja visión [en línea]. Disponible en <http://www.inci.gov.co/htmls/estadisticas.htm>. [2004, Febrero 19].

² Ley de la Republica Nacional de Colombia No. 361 – 7 FEBRERO. 1997.

agudeza visual que va de 20/60³ hasta la percepción de luz y un campo visual no mayor a 10 grados desde el punto de fijación, pero que usa o es potencialmente capaz de usar la visión para la ejecución de tareas visuales. Toda persona que con la mejor corrección óptica convencional o quirúrgica en el mejor ojo, presente una agudeza visual menor de 20/400 y un campo visual no mayor de 10 grados desde el punto de fijación es ciega”.

La mayor dificultad de una persona con limitación visual es la imposibilidad de acceder a la información, herramienta fundamental en las necesidades educativas de cualquier persona. Una solución dada a esta dificultad es el código Braille, que permite percibir de forma táctil la representación de cada carácter, siendo la más usada por las personas con limitaciones visuales, permitiendo la lectura de libros y por tanto gran posibilidad de acceder al conocimiento. Sin embargo, estos libros tienen problemas como sus altos costos y en especial su corta vida útil, ya que debido a la presión que ejercen los dedos al ser deslizados por los caracteres, estos últimos desaparecen con el tiempo.

Para darle solución a los problemas que presentan los libros impresos en código Braille, se han desarrollado sistemas electrónicos que reemplazan esos libros, cumpliendo la misma función, pero sin las mismas dificultades.

Este proyecto se propone diseñar un dispositivo electromecánico para el aprendizaje del código Braille, que permita convertir textos provenientes de un archivo de computador (.txt) en código Braille. En las paginas de este documento se presenta las especificaciones de dicho dispositivo, una descripción detallada de su funcionamiento y un análisis del posible impacto que tiene el mismo en la sociedad.

³ Para mejor comprensión de los grados de agudeza visual consultar AGUDEZA VISUAL [en línea]. Disponible en http://www.clinano.com.ar/publicaciones/atprim_3.htm [2005].

1. MARCO TEORICO

1.1 LIMITACIÓN VISUAL

En mayo de 2001, se presentó a la 54^a. Asamblea Mundial de la Salud, el documento Clasificación Internacional del Funcionamiento de la Discapacidad (CIDDM2 - CIF)⁴, en el cual se busca la integración de los modelos médico y social. En este documento la Organización Mundial de la Salud (OMS), establece:

- Persona ciega total: es aquella que No tiene Percepción Luminosa (NPL).
- Una persona con baja visión "es la que tiene una deficiencia en el funcionamiento visual y aún después del tratamiento y/o corrección tiene una agudeza visual de entre 20/60 y percepción de luz o un campo visual menor de 10 grados desde el punto de fijación pero que usa o que es potencialmente capaz de usar la visión para la planificación o ejecución de una tarea". OMS, 1992.
- Para que una persona se considere con baja visión se requiere:
 - Que la pérdida de visión sea bilateral.
 - Debe existir algún grado de residuo visual.
 - La afección debe estar asociada a una patología.

⁴ Aprobado mediante Resolución WHW54.21, del 22 de mayo de 2001.

- El intervalo de visión debe encontrarse entre percepción de luz y 20/60 y/o existir compromiso de campo visual.
 - Tener algún grado de adaptación a su condición visual.
 - Presentar patología neurológica y compromiso motor asociado.
- La misma OMS clasifica los diferentes grados de pérdida en cuatro categorías que son:
 - Baja Visión Leve: comprende los pacientes con agudeza visual, en el mejor ojo y la mejor corrección, desde 20/70 (6/18, 3/10, 0,3) hasta 20/200 sin incluirlo.
 - Baja Visión Moderada: comprende los pacientes que tienen agudeza visual, en el mejor ojo y la mejor corrección, desde 20/200 (6/60, 1/10, 0,1) hasta 20/400 sin incluirlo.
 - Baja Visión Severa: comprende los pacientes que tienen agudezas visuales, en el mejor ojo y la mejor corrección, desde 20/400 (3/60, 1/20, 0,05) hasta 20/1200 sin incluirlo. También incluye los pacientes con conteo de dedos a 3 metros y los que tienen un radio de campo visual, no mayor de 10° pero mayor de 5°, alrededor de la fijación aún cuando no esté alterada la agudeza visual central.
 - Baja Visión Profunda: comprende los pacientes con pérdidas visuales de 20/1200 (1/60, 1/50, 0,02) hasta la percepción luminosa (PL). También incluye los pacientes con conteo de dedos a 1 m. o menos y los que tienen un radio de campo visual no mayor de 5° a partir del punto de fijación aun cuando no esté alterada la agudeza visual central.

1.2 SISTEMA BRAILLE

El sistema Braille fue una invención de Louis Braille, quien a los 15 años de edad creó un sistema de lectura para personas con limitaciones visuales, aprovechando la capacidad de captar por medio de las terminales nerviosas de las yemas de los dedos, el símbolo

generador o como se le conoce mas comúnmente celda Braille. Este símbolo está formado por seis puntos distribuidos en dos columnas de tres puntos cada una, dependiendo de la presencia o la ausencia de esos puntos, se obtienen 64 combinaciones suficientes para representar varias letras del alfabeto. El símbolo generador tiene las siguientes especificaciones: la altura del punto es de 0,02 pulgadas (0,508 mm); la separación horizontal y vertical entre los centros de los puntos de un mismo símbolo generador es de 0,1 pulgadas (2,54mm), el espacio horizontal entre los centros de los puntos de dos símbolos adyacentes es de 0,15 pulgadas (3,81mm) y el vertical es de 0,2 pulgadas (5,08mm), un arreglo de ocho celdas Braille se observa en la Figura 1.

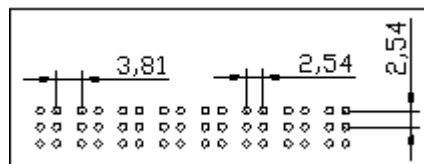


Figura 1. Símbolo generador.

Como se observa en la primera fila de la Figura 2 (de la "a" a la "j"), se nota que solo se utilizan los cuatro puntos superiores del símbolo generador, la segunda fila (de la "k" a la "t"), es igual a la primera agregando el punto inferior izquierdo con excepción de la ñ que es propia del idioma español y en la tercera fila (de la "u" a la "z"), se agregan los dos puntos inferiores.

Las 64 combinaciones que se pueden obtener con el símbolo generador son insuficientes para el número de caracteres que posee un idioma en su estructura más básica, razón por la que se creó otra combinación de puntos conocida como símbolos dobles, con lo cual se puede lograr un número mayor de caracteres pero utilizando dos símbolos generadores.

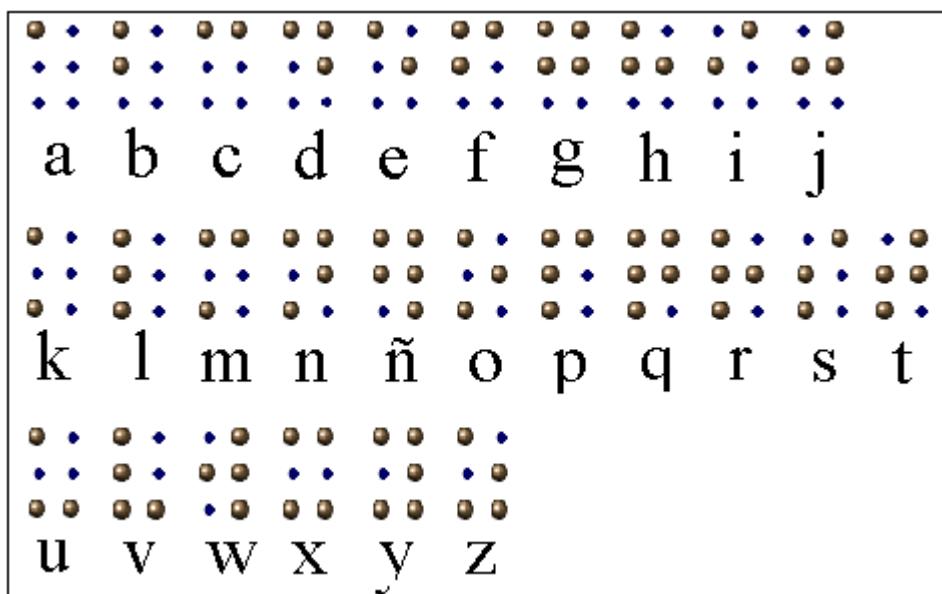


Figura 2. Alfabeto Braille.

Los símbolos dobles se usan en el caso que se quiere representar una letra en mayúscula o un número; en el caso de las mayúsculas se utiliza un símbolo especial que antecede a la letra que se quiere representar y de esa manera se hace perceptible para la persona invidente, este tipo de representación se puede observar en la Figura 3.

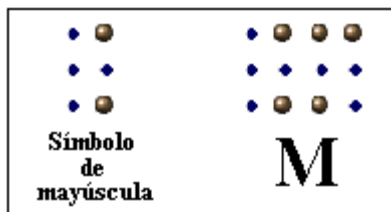


Figura 3. Representación de la mayúscula.

En caso que la palabra que se quiere representar en el código Braille, se encuentra en su totalidad en letras mayúscula, se le anteponen dos símbolos de mayúscula como se observa en la Figura 4.

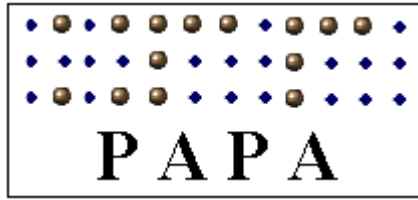


Figura 4. Representación en código Braille de una palabra en mayúscula.

Para representar los números se utiliza un símbolo especial precediendo algunas letras (de la "a" a la "j"), en la Figura 5 se muestra un ejemplo, si se quiere representar el número tres, se antepone el símbolo de número a la letra c; si lo que se quiere representar es el número 48 el símbolo de número va seguido por las letras d y h.



Figura 5. Representación en código Braille de un número.

Se puede subrayar el hecho que los signos de puntuación también tienen representación en este código, además signos como la admiración, interrogación y comillas no tienen diferencia entre los de abrir y cerrar, como se observa en la Figura 6. Las vocales acentuadas también tienen representación distinta a las demás letras, de esa forma se facilita su diferenciación.

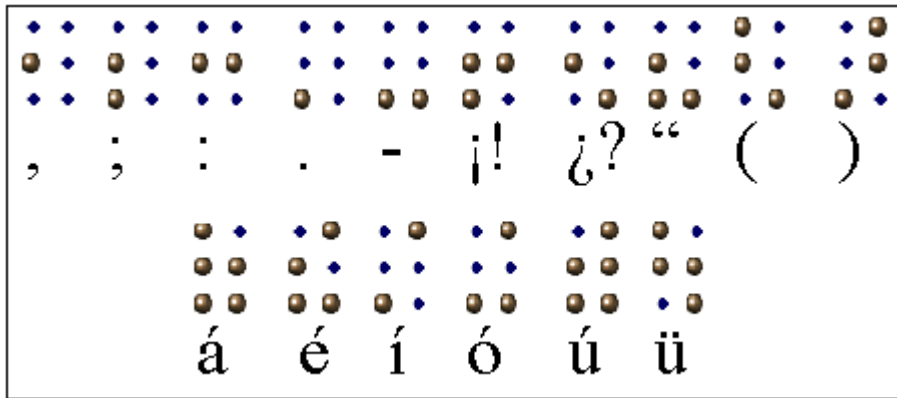


Figura 6. Signos de puntuación y vocales acentuadas.

1.3 CAMPO MAGNÉTICO

⁵Por definición, se considera que una corriente que circula por un conductor es la base de un campo magnético. La magnitud del vector de campo magnético fundamental \mathbf{B} es proporcional al número de líneas de campo por unidad de área de sección transversal, estas líneas de campo son totalmente cerradas como se puede observar en la Figura 7.

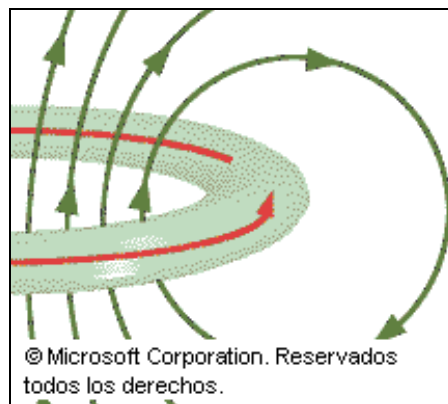


Figura 7. Campo magnético⁶.

⁵ HALLIDAY, David, RESNICK, Robert. Física Para Estudiantes de Ciencias e Ingeniería. Parte 2. CECSA, 1965.

⁶ "Magnetismo", *Enciclopedia Microsoft® Encarta® 99*. © 1993-1998 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

Un solenoide es un dispositivo que consiste en un alambre conductor enrollado en hélice por el que circula una corriente eléctrica, la cual produce un campo magnético similar al producido por un imán, como se puede observar en la Figura 8.

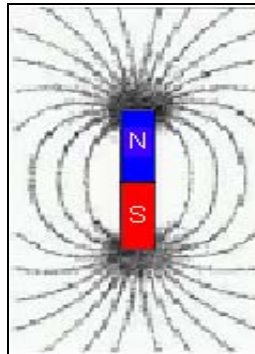


Figura 8. Líneas de campo de un imán.

El campo magnético del solenoide es la suma vectorial de los campos producidos por todas las vueltas que constituyen el solenoide, en caso que los alambres adyacentes estén muy unidos, el solenoide se puede representar como una lámina cilíndrica de corriente infinitamente larga, lo cual implica que el campo en los puntos exteriores es igual a cero y que la dirección del campo magnético es paralela al eje del solenoide, esta consideración se puede tomar con la condición que la longitud del solenoide sea mucho mayor que su diámetro y si se consideran puntos exteriores cerca de la región central del solenoide.

1.4 ESTÁNDAR RS-232

⁷Estándar aceptado por la industria para la interconexión de computadores. Adoptado por la Asociación de Industrias Eléctricas, el estándar RS-232-C recomendado (RS es acrónimo de Recommended Standard), define las líneas específicas y las características de las señales

⁷ RS232 DATA INTERFACE A TUTORIAL ON DATA INTERFACE AND CABLES [en línea]. Disponible en <http://www.euskalnet.net/shizuka/rs232.htm>. [2002].

que utilizan los sistemas de control de las comunicaciones en serie, con el fin de estandarizar la transmisión de datos en serie entre dispositivos.

El RS-232 consiste en un conector tipo DB-25 de 25 terminales, aunque es normal encontrar la versión de 9 terminales DB-9 el cual se puede observar en la Figura 9. Las señales con las que trabaja este puerto serie son digitales, de +12V (0 lógico) y -12V (1 lógico), para la entrada y salida de datos, y a la inversa en las señales de control. El estado de reposo en la entrada y salida de datos es -12V y dependiendo de la velocidad de transmisión empleada, es posible tener cables hasta de 15 metros de longitud.

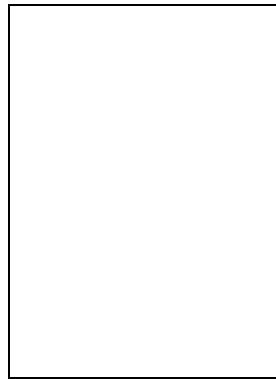


Figura 9. Conector DB-9.

Por otro lado la comunicación realizada a través de un puerto serial es asincrónica, esto significa que no hay señal de reloj asociada a la señal de datos. Cada palabra es sincronizada empleando un bit de comienzo, estableciendo un número fijo de datos transmitidos y un bit de parada.

La línea de datos, cuando no esta transmitiendo datos validos, toma el valor de '1' lógico, por lo que en una transmisión el bit de comienzo siempre es un '0' lógico. Como se puede observar en la Figura 10, el bit menos significativo es enviado después del bit de inicio y el más significativo al final, después se envía un bit de parada, que es un nivel lógico '1', señalando el fin de la transmisión.

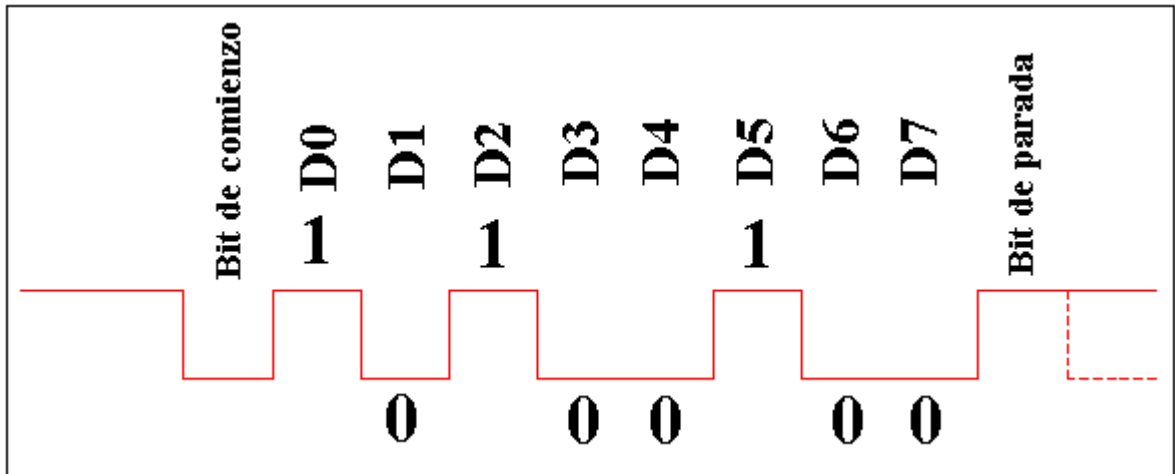


Figura 10. Trama de envío.

Cada uno de estos aparece en la línea de transmisión un tiempo que determina la velocidad a la que se transmite, algunos valores típicos son 9600, 4800, 2400, 1200, 300, bits por segundo.

En la Tabla 1 se puede ver la distribución de cada uno de los terminales en el estándar RS-232, tanto en el conector DB-9 como en el DB-25.

Numero	de Terminal	Señal	Descripción	E/S
	En DB-25	En DB-9		
1	1	-	Tierra	-
2	3	TxD	Transmit Data (Transmisión de Datos)	S
3	2	RxD	Receive Data (Recibir Datos)	E
4	7	RTS	Request To Send (Solicitud de Envío)	S
5	8	CTS	Clear To Send (Libre para Envío)	E
6	6	DSR	Data Set Ready (Equipo de Datos Listo)	E
7	5	SG	Signal Ground	-
8	1	CD/DCD	(Data) Carrier Detect (Detección de Portadora)	E
15	-	TxC(*)	Transmit Clock	S

17	-	RxC(*)	Receive Clock	E
20	4	DTR	Data Terminal Ready (Terminal de Datos Listo)	S
22	9	RI	Ring Indicator	E
24	-	RTxC(*)	Transmit/Receive Clock	S

Tabla 1. Distribución física en el estándar RS-232.

(*) = Normalmente no conectados en el DB-25

1.5 MICROCONTROLADORES

Un microcontrolador es un circuito integrado capaz de llevar a cabo procesos lógicos, se asemeja a la arquitectura de un microcomputador con periféricos, es decir consta de CPU, RAM, ROM, puertos de entrada salida y otros bloques más especializados como pueden ser temporizadores, conversores análogo digital y puertos para comunicación serial.

Como su nombre lo indica la función de un microcontrolador es fundamentalmente controlar algún proceso, es decir, elaborar tareas específicas que comúnmente hacen parte de un sistema más grande. Para llevar a cabo esa función específica, este tipo de dispositivos necesitan ser programados con un código, que en sus líneas contiene la información necesaria para su funcionamiento deseado.

Los microcontroladores pueden ser programados con lenguajes de bajo nivel, como el lenguaje ensamblador (*assembler*) o con lenguajes de alto nivel, como C. En cualquiera de los casos es necesario disponer como mínimo de un compilador y un programador, el primero es el encargado de transformar el programa hecho por el usuario, en el lenguaje de maquina, es decir binario; el segundo es el encargado de grabar el código en el microcontrolador.

2. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

El sistema está conformado por tres módulos principales, cada uno de ellos subdivididos en bloques funcionales más específicos. Los módulos que se trabajaron son: unidad de conversión y procesamiento, interfaz con el usuario e interfaz electromecánica.

2.1 INTERFAZ ELECTROMECAÁNICA

La interfaz electromecánica es la encargada de transformar las señales eléctricas que recibe de la unidad de conversión y procesamiento, en movimientos mecánicos que le permiten a un usuario invidente con capacidad de lectura táctil, percibir los caracteres Braille. Se conforma de 180 inductancias que se polarizan con voltaje continuo de 15 voltios y funcionan como electroimanes, cada uno de ellos consume un máximo de 1,0 vatio y están distribuidos para formar los 30 símbolos generadores Braille.

2.2 UNIDAD DE CONVERSIÓN Y PROCESAMIENTO

El módulo de la unidad de conversión y procesamiento está conformado por el bloque de procesamiento y manejador de la interfaz mecánica y el bloque de alimentación. Cada uno de estos bloques está diseñado para trabajar con voltajes fijos y a temperaturas comunes en las que trabaja un equipo electrónico, es decir intervalos de 0 °C a 50 °C.

2.2.1 Bloque de procesamiento

Este es el bloque central del sistema, su función principal es recibir los datos que envía un computador personal (PC) en formato ANSI, convertir los caracteres a código Braille y entregarlos de tal forma que se puedan cargar en el bloque de fijación de datos, que se describe más adelante.

Para llevar a cabo sus tareas, este bloque se compone de un microcontrolador de 16 bits Microchip Pic18f252 y un decodificador de 5 líneas de entrada a 32 líneas de salida. Cada uno de estos componentes se alimenta con 5 voltios.

Las especificaciones del microcontrolador nombrado anteriormente que tienen relevancia en el funcionamiento del sistema son: 23 terminales de entrada salida repartidos en 3 puertos, memoria EEPROM de 32 KB, memoria RAM de 1 KB, temporizador de 16 bits, frecuencia máxima de trabajo 40 MHz. Además, algunos de los terminales de entrada salida, tienen la opción de ser utilizados para comunicación serial asincrónicas o sincrónicas, y otros como interrupciones externas.

Para efectos del trabajo de grado, se usan dos terminales para la comunicación serial asincrónica con el computador personal (PC), configurado con tasa de transmisión de 9600 baudios, ocho bits de datos, un bit de inicio, un bit de parada y sin control de flujo; además se usan dos terminales para interrupciones externas, que son los pulsadores que el usuario invidente tiene la opción de oprimir para leer la siguiente o la anterior línea cuando el sistema está trabajando en el modo de lectura. También se emplean seis terminales que en adelante se nombrarán como bus de datos, debido a que su función es entregar los caracteres en código Braille. Por otro lado, se emplean cinco terminales que en adelante serán nombrados como bus de direcciones, ya que son las entradas al decodificador y de ellos depende que este último seleccione o cargue el bloque de fijación de datos con lo que se encuentra en el bus de datos.

2.2.2 Bloque de fijación de datos

Este bloque está compuesto por 180 **flip-flop** e igual cantidad de circuitos manejadores de la interfaz mecánica. Su función es mantener los datos que el bloque de procesamiento le entrega y elevar los niveles de voltaje a los valores necesarios para el correcto funcionamiento de la interfaz mecánica. Para ello cada **flip-flop** es cargado con un dato válido cuando una dirección válida es colocada en el bus de direcciones, a continuación un circuito de transistores eleva los niveles de voltaje de 5 a 15 voltios y es entregado a la interfaz mecánica.

2.2.3 Bloque de alimentación

Este bloque está compuesto por una fuente de conmutación de 15 voltios, 15 amperios, la cual proporciona la energía necesaria para el funcionamiento de la interfaz electromecánica y a su vez se obtiene los 5 voltios necesarios para alimentar el bloque de la unidad de conversión y procesamiento y los **flip-flop** del bloque de fijación de datos.

2.3 SOFTWARE DE ACCESO

Como especificaciones generales del software, se listan a continuación los siguientes requerimientos:

1. 5 archivos de imágenes (.bmp) de fondo de las ventanas.....	1,43 MB
2. 14 archivos de objetos y un ejecutable.....	11,30 MB
3. 10 Archivos de instalación.....	6,20 MB
TOTAL.....	18,93 MB

Sistema operativo: Windows 95 o superior.

Licencias adicionales: Ninguna.

2.4 BASE DE DATOS

La base de datos incluye 917 frases, cada una de las cuales tienen asociado un archivo de sonido en formato .wav, las frases están divididas en 45 lecciones y ocupan en disco duro 155 MB, que sumado al espacio que ocupan los archivos del software de acceso, se ocupa un total en disco duro de 173,93 MB.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 INTERFAZ ELECTROMECAÁNICA

La elaboración de la interfaz electromecánica se basa en un prototipo elaborado por este mismo grupo de trabajo unos años atrás; fue el proyecto final para la asignatura de Diseño I y se llama “Electrobraille”. A partir de una corriente aplicada, las clavijas que forman el símbolo generador son impulsadas por la fuerza electromagnética de unas inductancias. En este caso se utilizan 180 inductancias, las cuales equivalen a las 180 clavijas que forman los 30 símbolos generadores, para el cálculo de estas inductancias, se tiene en cuenta el calibre del alambre, la longitud y ancho del núcleo.

En el montaje final de toda la interfaz electromecánica, se establece que el espacio mínimo que existe entre cada uno de los núcleos de las bobinas es 6,35 mm, esta medida es la suma de la distancia que existe entre cada una de las clavijas del símbolo generador (2,54 mm) y la distancia que existe entre cada uno de los símbolos generadores (3,81 mm), debido a esto el radio máximo de la inductancia, en este caso un solenoide, no es superior a 3,175 mm, por estas limitaciones, se restringe el radio de la inductancia a 3 mm.

Por otro lado, las especificaciones de las inductancias son: la bobina no disipa más de 1,0 vatio con una fuente de alimentación de 15 voltios y el radio del núcleo no puede ser mayor de 2 mm, con esas especificaciones se realiza el cálculo teórico de las inductancias utilizadas en el prototipo, en él se varía el calibre del alambre y el radio del núcleo utilizando una longitud para la inductancia de 25 mm.

La variación de estos parámetros determinan cuál es la mayor inductancia que se puede lograr, esto se hace para cumplir con las especificaciones del prototipo. Para lo cual es necesario tener un mayor valor de dicha inductancia y así lograr mayor fuerza electromecánica.

Para el cálculo de la inductancia del solenoide se toma la ecuación⁸ (3-1) mostrada a continuación:

$$L = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{l} \cdot K_n \quad [\text{H}] \quad (3-1)$$

Donde L es el valor de la inductancia, μ es la permeabilidad del núcleo, A es el área transversal, N es el número de vueltas por capa del alambre sobre el núcleo, l es la longitud del solenoide y K_n es la constante de Nagaoka, la cual es un factor de corrección cuyo valor esta dado por la ecuación (3-2).

$$K_n = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{r}{l}\right) + 0,32 \cdot \left(\frac{t}{r}\right) + 0,84 \cdot \left(\frac{t}{l}\right)} \quad (3-2)$$

Donde l es la longitud de la bobina, r es el radio promedio del núcleo y t es la distancia entre el núcleo y el borde externo del solenoide como se puede ver en la Figura 11.

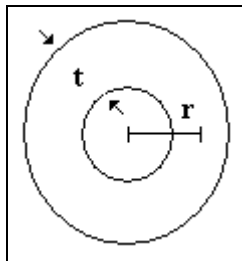


Figura 11. Área transversal del solenoide.

⁸ WELSBY V.G., Theory and design of inductance coils, Mcdonald, 1960.

Como se puede apreciar en la ecuación (3-1), la variable más significativa es el número de vueltas del solenoide, por ende, al tener mayor número de vueltas, se puede lograr mayor inductancia y a su vez mayor flujo magnético, lo cual implica mayor fuerza electromecánica, como se muestra a continuación en las ecuaciones (3-3) y (3-4):

$$\Phi_B = L \cdot I \text{ [Wb]} \quad (3-3)$$

$$F \propto \Phi_B \quad (3-4)$$

Donde F es la fuerza electromecánica, Φ_B es el flujo magnético, L el valor de la inductancia e I el valor de la corriente que pasa por el solenoide.

Para el cálculo del número de vueltas que tiene el solenoide, dependiendo del calibre del alambre y el radio del núcleo, se debe saber con anterioridad el número de capas que posee el solenoide, para lograr esto se utiliza la ecuación (3-5) mostrada a continuación:

$$\#Capas = \frac{2,5 - R}{D} \quad (3-5)$$

Donde $\#Capas$ es el número de capas del solenoide, R es el radio del núcleo y D es el diámetro del calibre del alambre. Para medir el número de vueltas por capa se utiliza la ecuación (3-6) mostrada a continuación:

$$\#V/C = \frac{l}{D} \quad (3-6)$$

Donde $\#V/C$ es el número de vueltas por capa, l es la longitud del núcleo y D es el diámetro del alambre.

El material que se utiliza para cada uno de los núcleos es hierro, ya que por sus propiedades físicas poseen dipolos magnéticos permanentes, los cuales tienden a alinearse paralelos

entre sí, incluso en presencia de un campo magnético débil, el hierro posee una permeabilidad relativa (μ_r) igual a 10^4 , esta característica multiplicada por la permeabilidad del espacio libre (μ_0) da como resultado la permeabilidad del núcleo (μ) que se usa en la elaboración de cada uno de los solenoides, como se muestra en la ecuación (3-7).

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0 \left[\frac{Wb}{A \cdot m} \right] \quad (3-7)$$

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$$

Teniendo en cuenta cada una de las anteriores ecuaciones se elabora una tabla en la cual se ve los valores de inductancia que se obtienen al variar el diámetro del núcleo y el calibre del alambre, de esa forma se toma la decisión más conveniente en la escogencia de los materiales para la elaboración de los solenoides, estos datos se observan en la Tabla 2 mostrada a continuación:

AWG	D. Alambre	Vueltas/capa	#Capas	Inductancia mH
	(mm)			
Inductancia en núcleo de diámetro 4mm				
34	0,1602	144	3	0,734
36	0,1270	181	4	1,816
38	0,1016	226	5	4,187
39	0,0889	259	6	7,578
40	0,0787	292	6	9,864
Inductancia en núcleo de diámetro 3 mm				
34	0,1602	144	6	3,824
36	0,1270	181	8	12,378
38	0,1016	226	10	33,886
39	0,0889	259	11	55,407
40	0,0787	292	13	111,939

Inductancia en núcleo de diámetro 2,5 mm				
34	0,1602	144	8	10,079
36	0,1270	181	10	28,817
38	0,1016	226	12	71,726
39	0,0889	259	14	144,876
40	0,0787	292	16	269,607
Inductancia en núcleo de diámetro 2 mm				
34	0,1602	144	9	16,697
36	0,1270	181	12	61,463
38	0,1016	226	15	180,564
39	0,0889	259	17	334,781
40	0,0787	292	19	581,958
Inductancia en núcleo de diámetro 1 mm				
34	0,1602	144	12	57,229
36	0,1270	181	16	222,370
38	0,1016	226	20	671,431
39	0,0889	259	22	1123,604
40	0,0787	292	25	2102,811

Tabla 2. Cálculo de inductancias.

Todos los valores de inductancia están dados en mili henrios (mH).

Otro factor involucrado en la escogencia de los materiales para la construcción de los solenoides, es la corriente que puede circular por cada una de las inductancias en el momento de ser activadas, para esto se toma el valor de la resistencia por metro del alambre y se supone que cada bobina disipa 1,0 vatio, con esto se deduce la corriente máxima que circula por cada uno de los solenoides dependiendo del calibre del alambre, cada uno de estos datos están en la Tabla 3 la cual se mostrara a continuación:

AWG	I/A	Long tot Alambre/m	Resistencia	
			Total (Ohm)	I para 1W (mA)
Núcleo de 4 mm				
34	0,33	6	5	429
36	0,21	10	14	270
38	0,13	16	34	171
39	0,11	21	56	133
40	0,09	26	90	105
Núcleo de 3 mm				
34	0,33	11	10	322
36	0,21	18	24	203
38	0,13	28	61	128
39	0,11	37	100	100
40	0,09	47	160	79
Núcleo de 2,5 mm				
34	0,33	13	11	298
36	0,21	22	30	182
38	0,13	33	70	119
39	0,11	43	117	92
40	0,09	55	188	73
Núcleo de 2 mm				
34	0,33	15	13	281
36	0,21	24	32	177
38	0,13	37	80	112
39	0,11	48	131	87
40	0,09	61	210	69
Núcleo de 1 mm				
34	0,33	17	14	263
36	0,21	27	37	165

38	0,13	42	91	105
39	0,11	55	150	82
40	0,09	70	241	64

Tabla 3. Cálculo de corriente en las inductancias.

Al tener los datos de inductancias de los solenoides y de las resistencias que posee cada uno de los alambres, se procede a compararlos y de ese modo se logra escoger el diámetro del núcleo que se usa en la construcción de cada uno de los solenoides, esa comparación se puede ver claramente en la Figura 12.

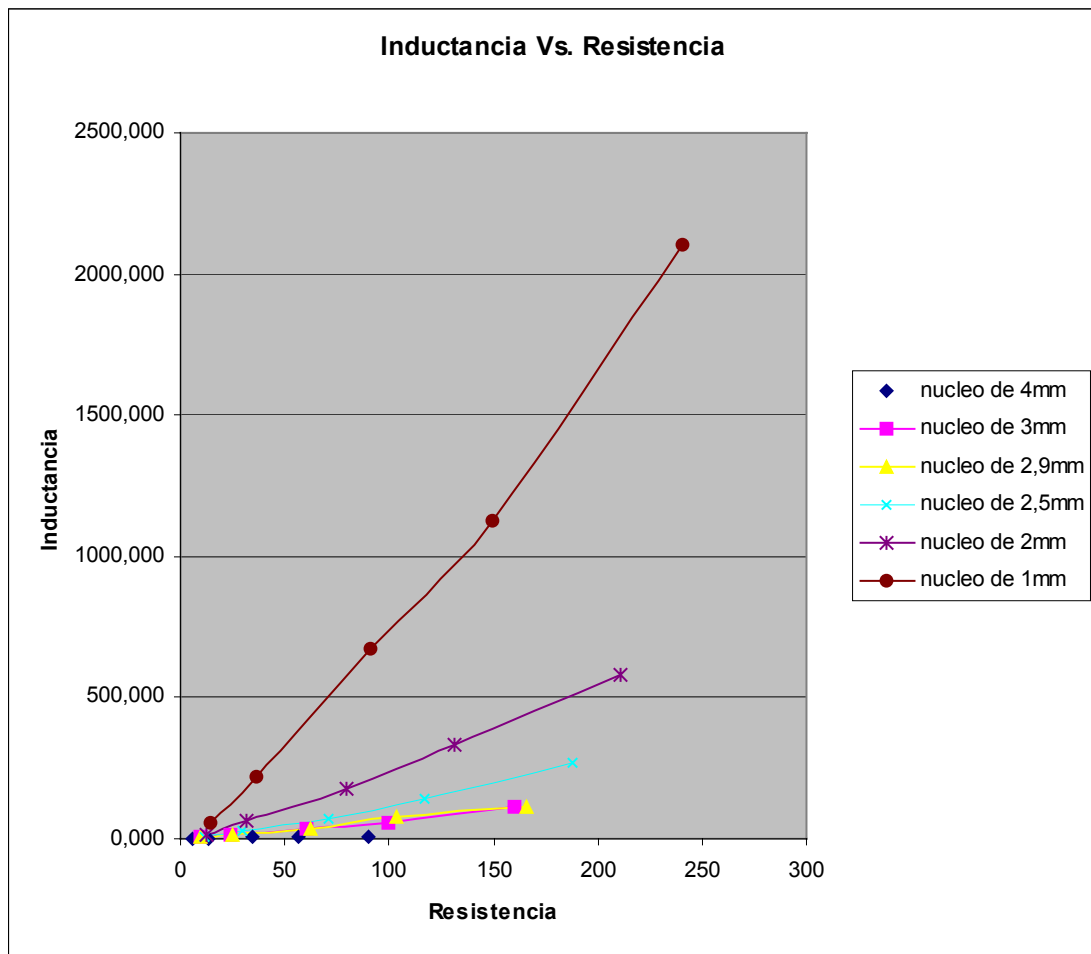


Figura 12. Inductancia contra resistencia.

Después de observar la gráfica, se concluye que idealmente el núcleo que tiene un mejor comportamiento en el momento de comparar los diferentes factores involucrados en estas gráficas, es el de diámetro de 1,0 mm, sin embargo, es importante tener en cuenta las variables de construcción de dichos núcleos. En este campo se debe aclarar que los núcleos de diámetro de 1,0 mm y 2,0 mm se descartaron por problemas en su construcción, es decir, las personas encargadas de su elaboración no se comprometieron en entregar un producto bien terminado, si este tenía un diámetro muy por debajo de 0,1 pulgadas (2,54 mm).

Para escoger el calibre del alambre, se compara tanto la inductancia del solenoide como la resistencia del alambre, pero esta vez, al mismo tiempo se compara con el diámetro de cada uno de los núcleos, de esa manera se puede obtener el calibre del alambre que se debe usar para la construcción del solenoide. En la Figura 13 se puede ver que el alambre que posee mejor comportamiento es el de calibre 40, sin embargo, de igual forma que sucedió con la elaboración de los núcleos, las personas encargadas de realizar el embobinado no se comprometieron a utilizar este calibre, por lo complicado que resultaba su manipulación.

Como resultado final, después de consultar y exponer las necesidades del sistema, las personas encargadas de manufacturar las bobinas se comprometieron a entregar un producto bien hecho con alambre calibre 39.

Luego de analizar los datos obtenidos en cada una de las tablas y de las gráficas y limitar las posibilidades debido a los problemas de construcción, se llega a la conclusión que para la construcción de los solenoides es necesario utilizar: un núcleo de hierro dulce de diámetro 2,5 mm y longitud 25 mm, alambre calibre 39, el cual soporta máximo 110 mA.

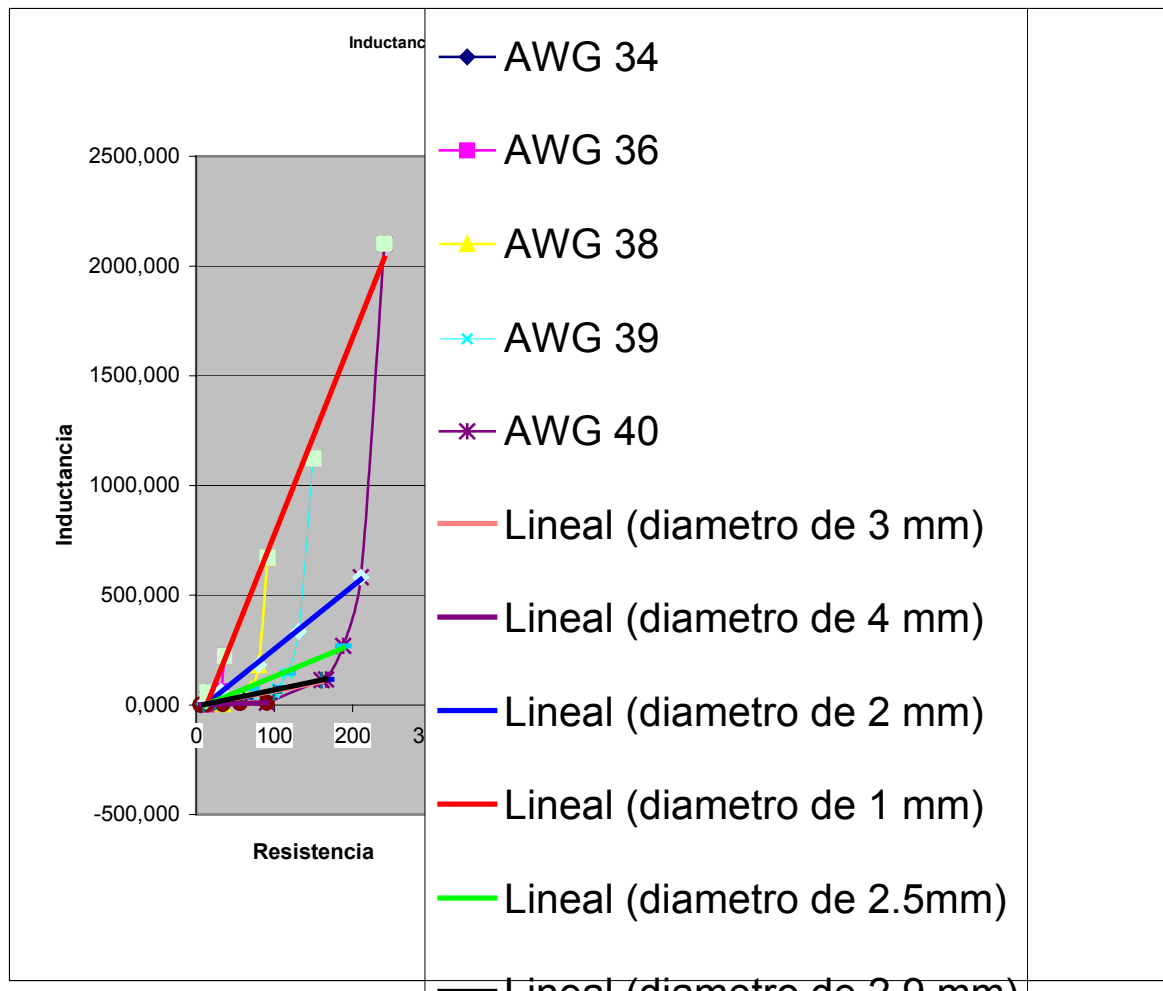


Figura 13. Inductancia contra resistencia cruzado por calibres y diámetros.

Una vez calculados los datos teóricos para la construcción de los solenoides, comienza su elaboración física, se procede a comprar 200 tornillos tipo grado uno, los cuales gracias a sus características físicas cumplen en gran parte con lo establecido en los cálculos teóricos. Estos tornillos se mandan torner con las especificaciones que se muestran en la Figura 14:

El esquema que se utiliza para la generación de las 180 clavijas se puede observar en el ANEXO A.

3.2 CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

3.2.1 Microcontrolador Pic18f252

Se configura el puerto A solo para salidas y en él se maneja el bus de direcciones (RA0-RA4). Por otro lado, del puerto B se configura los dos primeros terminales (RA1-RA0) para entradas y los otros seis terminales (RB7-RB2) solo para salida, donde se presenta el bus de datos.

Dirección	Celda-Clavija						Dirección	Celda-Clavija					
1E	1-1	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1	0F	1-4	2-4	3-4	4-4	5-4	6-4
1D	7-1	8-1	9-1	10-1	11-1	12-1	0E	7-4	8-4	9-4	10-4	11-4	12-4
1C	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	0D	13-4	14-4	15-4	16-4	17-4	18-4
1B	19-1	20-1	21-1	22-1	23-1	24-1	0C	19-4	20-4	21-4	22-4	23-4	24-4
1A	25-1	26-1	27-1	28-1	29-1	30-1	0B	25-4	26-4	27-4	28-4	29-4	30-4
19	1-2	2-2	3-2	4-2	5-2	6-2	0A	1-5	2-5	3-5	4-5	5-5	6-5
18	7-2	8-2	9-2	10-2	11-2	12-2	09	7-5	8-5	9-5	10-5	11-5	12-5
17	13-2	14-2	15-2	16-2	17-2	18-2	08	13-5	14-5	15-5	16-5	17-5	18-5
16	19-2	20-2	21-2	22-2	23-2	24-2	07	19-5	20-5	21-5	22-5	23-5	24-5
15	25-2	26-2	27-2	28-2	29-2	30-2	06	25-5	26-5	27-5	28-5	29-5	30-5
14	1-3	2-3	3-3	4-3	5-3	6-3	05	1-6	2-6	3-6	4-6	5-6	6-6
13	7-3	8-3	9-3	10-3	11-3	12-3	04	7-6	8-6	9-6	10-6	11-6	12-6
12	13-3	14-3	15-3	16-3	17-3	18-3	03	13-6	14-6	15-6	16-6	17-6	18-6
11	19-3	20-3	21-3	22-3	23-3	24-3	02	19-6	20-6	21-6	22-6	23-6	24-6
10	25-3	26-3	27-3	28-3	29-3	30-3	01	25-6	26-6	27-6	28-6	29-6	30-6

Tabla 4. Manejo de direcciones.

Las direcciones validas para habilitar los datos van desde 01 hasta 1E en hexadecimal, cada dirección carga los datos de ciertas celdas y ciertas clavijas. En la Tabla 4 se ve en la

primera columna las direcciones y en la segunda el bus de datos, es decir, el número de celda seguido por la respectiva clavija que esa dirección carga.

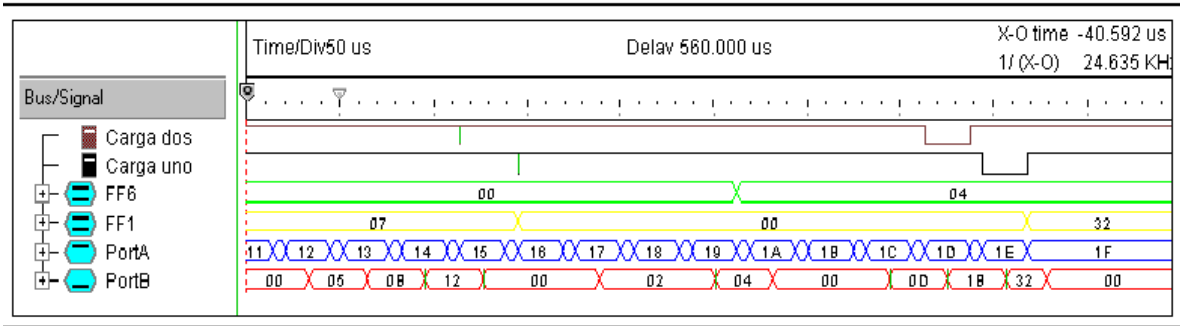


Figura 16. Diagrama de tiempos para carga de datos del bloque de fijación.

En la Figura 16, se ve que los datos se mantienen en el bus de direcciones $24 \mu\text{s}$ y $30.2 \mu\text{s}$ en el bus de datos. Después de una dirección válida el bus siempre toma el valor 1F, de esa forma los posibles problemas por conmutaciones indeseadas en la transición de una dirección a otra, se ven solucionados. En la Figura 17, se ve una ampliación del momento en el que ocurre el cambio de dirección, allí se puede ver que a pesar de haber una transición por una dirección no deseada durante la conmutación, estas no presentan problema, porque son direcciones que más adelante serán escritas otra vez con el dato que les corresponde. También es posible ver que los datos se cargan en los **flip-flop** en el cambio de la dirección válida a 1F, es decir con el borde de subida de la salida del decodificador.

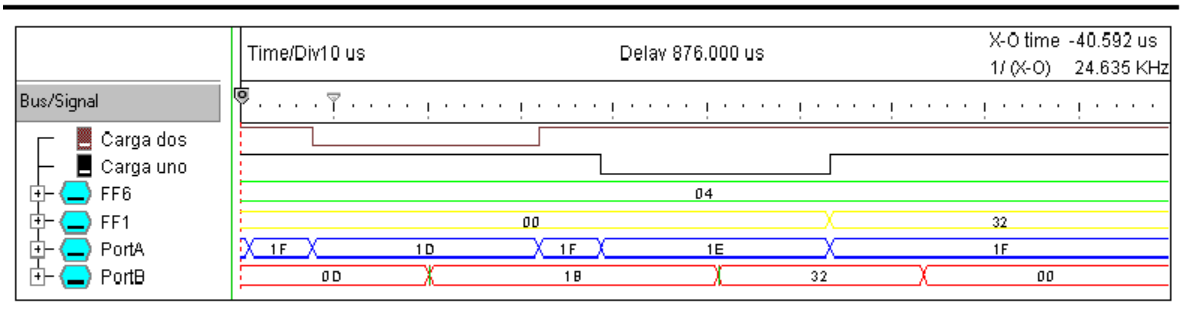


Figura 17. Diagrama de tiempos de carga de dos flip-flop.

En el puerto C se configuran los terminales RC6 y RC7 para la comunicación serial asincrónica con el computador personal, siendo RC6 la transmisión y RC7 la recepción. Como el estándar de comunicación RS-232 es bipolar, se usa el circuito integrado MAX232 para acoplar los niveles de voltaje TTL y los niveles manejados en el protocolo. El esquema de conexiones se puede consultar en el ANEXO C.

El protocolo que se utiliza para transmitir los datos posee variaciones dependiendo del modo que elija el usuario para operar el dispositivo, es decir, si escogió el modulo de enseñanza el protocolo es el siguiente:

El computador inicia la comunicación enviando la trama que se muestra en la Figura 18:

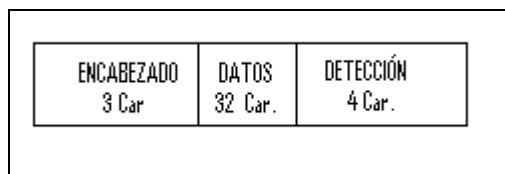


Figura 18. Trama de inicio.

El encabezado está formado por tres caracteres “@” y solo hasta el momento en que la interfaz de control (microcontrolador) recibe esos tres caracteres, comienza a recibir los 32 caracteres que se encuentran en el campo de datos, de los cuales los dos primeros caracteres definen el modo de operación en que se encuentra el usuario, en este caso deben ser “NI”. Los 30 caracteres siguientes son los datos que envía el computador para que el microcontrolador los convierta a código Braille. Para comprobar que durante la transmisión no se hayan presentado errores en los datos, se utiliza el campo de detección que está formado por cuatro caracteres, los cuales son la suma de los equivalentes ANSI de cada uno de los 32 caracteres que se encuentran en el campo de datos.

Una vez el microcontrolador ha recibido toda la trama puede empezar a comprobar que no hayan ocurrido errores durante la transmisión, ejecuta dicha comprobación sumando de

nuevo los 32 caracteres que recibió en el campo de datos, y compara esta suma con los cuatro caracteres que vienen en el campo de detección, después de realizar la comparación la interfaz de control envía una trama de respuesta, como se muestra en la Figura 19.

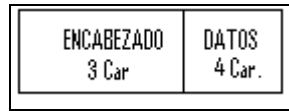


Figura 19. Trama de respuesta.

Si en el campo de datos que responde el microcontrolador va la palabra “mal ”, quiere decir que en el momento de la transmisión se presentaron errores y el computador debe retransmitir toda la trama que había enviado anteriormente. Por otro lado, si en el campo de datos está la palabra “bien”, quiere decir que la transmisión fue exitosa y que el computador puede enviar una nueva trama.

En el caso que el usuario haya escogido el modulo de lectura de texto, el inicio de la comunicación del protocolo es igual que en el modo de enseñanza, la diferencia está en que los dos primeros caracteres de los 32 de datos son “LE”, de esa forma el microcontrolador discrimina el modo de funcionamiento que escogió el usuario.

Por otro lado, existe la posibilidad de recibir tres interrupciones distintas, dos de ellas son externas y una interna. Las dos interrupciones externas reciben del usuario las señales necesarias para avanzar o retroceder en la lectura, es decir, cuando el usuario invidente quiere leer el siguiente renglón Braille oprime un pulsador que interrumpe al microcontrolador en el terminal RB0; cuando quiere leer el renglón anterior oprime el pulsador que interrumpe en el terminal RB1, todo ello solo en el modo de lectura, debido a que en el modo de enseñanza, esto está controlado por el software de interfaz con el usuario, y se supone que el proceso de enseñanza es asistido por un tutor. La interrupción interna es la que genera un temporizador, configurado para que después de 12 minutos de inactividad por parte del usuario, se blanquee la línea de 30 caracteres Braille, con el objetivo de ahorrar consumo innecesario de energía por parte del sistema mecánico.

Una vez ocurre alguna de las interrupciones, el microcontrolador le comunica al computador la decisión del usuario, es decir, en el caso de las interrupciones externas puede enviar la orden de avanzar o retroceder en la lectura; en el caso de la interrupción interna la información enviada le comunica al computador que no se está usando el dispositivo. En cualquiera de las tres interrupciones, el microcontrolador inicia la comunicación con la trama que se ve en la Figura 20. Donde el encabezado es el mismo descrito anteriormente y al igual que en los otros casos, el campo de detección lleva la suma de los equivalentes ANSI de los caracteres del campo de datos. Para el campo de datos hay tres opciones: se envía “next” si el usuario escogió la opción de avanzar en la lectura; si la opción escogida es retroceder en la lectura, se envía “prev” y como última opción si transcurre 12 minutos sin recibir la decisión del usuario, se envía “stop”.

ENCABEZADO 3 Car	DATOS 4 Car.	DETECCIÓN 3 Car.
---------------------	-----------------	---------------------

Figura 20. Trama de interrupción.

El computador al recibir esta trama, comienza la detección de errores en la transmisión, lo que quiere decir que hace el mismo procedimiento que realiza el microcontrolador en el momento de recibir una trama; después de ejecutar la comprobación, el computador envía una trama de respuesta como se observa en la Figura 19.

Si en el campo de datos que envía el computador está la palabra “mal“, quiere decir que en el momento de la transmisión se presentaron errores y el microcontrolador debe retransmitir toda la trama que había enviado anteriormente. En cambio, si en el campo de datos esta la palabra “bien”, este debe esperar que el computador inicie nuevamente la comunicación para repetir todo el proceso. El código que se programó en el microcontrolador puede consultarse en al ANEXO D.

Además de las conexiones necesarias para el funcionamiento del sistema, en la tarjeta del circuito impreso se tiene la posibilidad de conectar un programador de microcontroladores MPLAB® ICD2, en caso de ser necesario actualizar el código del programa o realizar

cambios que se vislumbren a partir de la realimentación dada por las personas que lo utilizan.

3.2.2 Decodificador

El decodificador que se necesita es de 5 líneas de entrada a 32 líneas de salida, pues tiene como propósito recibir el bus de direcciones que entrega el microcontrolador y controlar la carga de datos en cada uno de los 30 integrados de **flip-flop** usados. En el mercado colombiano no se encuentran decodificadores de este tipo, por lo que para su implementación se usan cuatro decodificadores de tres a ocho líneas, cuatro compuertas AND y dos negadoras configuradas de tal forma que funcionan como el decodificador deseado. Si se desea ver el esquema de conexión se puede remitir al ANEXO C.

Este bloque se encuentra en la misma tarjeta que el microcontrolador junto a los circuitos anti-rebotes de los pulsadores de las interrupciones externas.

3.2.3 Fijación de datos

Para mantener los datos que se entregan a la interfaz mecánica, se usan 30 **flip-flop** de referencia 74LS374, cada uno de ellos ofrece la posibilidad de usar 8 **flip-flop** que se cargan a la vez con una única señal de control. Las entradas de todos los integrados son las seis terminales del bus de datos, y la señal de control de cada uno es controlada por una de las salidas del decodificador. Las salidas de este bloque tienen nivel de voltaje máximo de 5 voltios, siendo insuficiente para polarizar los solenoides de la interfaz mecánica. Por eso se hace necesario el uso de un circuito que eleve la salida a 15 voltios y además tenga la capacidad de entregar hasta 100 mA de corriente a los solenoides. El esquemático del circuito eléctrico está consignado en el ANEXO C.

Físicamente se encuentran distribuidos en seis tarjetas distintas, cada una con treinta circuitos elevadores de voltaje y cinco integrados, para un total de treinta 74LS374 usados. Todas las tarjetas tienen el mismo funcionamiento, una maneja las clavijas uno de los caracteres Braille, otra las clavijas dos, otra las clavijas tres y así sucesivamente. Las seis tarjetas se interconectan entre sí y con la tarjeta del microcontrolador por medio de una octava tarjeta.

3.3 BASE DE DATOS

Esta base de datos incluye 917 frases, las cuales pueden variar entre palabras de un solo carácter y oraciones mas completas de 30 caracteres, cada frase tiene asociado un archivo de sonido en formato .wav, los cuales se grabaron en los estudios de sonido del INCI con un locutor que ellos también proporcionaron.

La forma de dividir cada una de las lecciones, se basa en el método tradicional de enseñanza que tiene cualquier niño, se comienza con las vocales, siguen las consonantes y continúa con las sílabas. Gradualmente aparecen las palabras y las oraciones, por ejemplo: Mi mamá me ama. En general, el aprendizaje pasa por varias etapas que no necesariamente corresponden a la edad del niño, sino que están ligadas al entorno que lo rodea. Según el documento del INCI, “Orientaciones generales para la enseñanza del sistema de lecto-escritura Braille”⁹, las fases que se deben cumplir para lograr un proceso de aprendizaje con resultados satisfactorios, son las siguientes:

- Fase de libre interpretación, donde el niño asocia líneas rectas, curvas, puntos, figuras geométricas y trata de reproducirlas. Esta etapa también recibe el nombre de garabateo.
- Fase de asociación silábica, en la cual a cada sílaba se le relaciona con un signo.

⁹ RUIZ, Olga. Orientaciones Generales Para la Enseñanza del Sistema de Lectoescritura Braille. Instituto Nacional para Ciegos INCI, 2000.

- Fase de asociación vocálica, en la que el niño relaciona que a un sonido le corresponde una letra determinada.
- Fase de asociación silábico-alfabética, etapa en la que se aprenden a distinguir las letras para escribir una palabra.
- Fase alfabética, en la cual se pasa de escribir todo unido a finalmente separar las palabras.

La base de datos se creó con la herramienta de desarrollo de software Visual C++ y su organización fue inspirada en la cartilla para aprender a leer Coquito Básico Nuevo Milenio¹⁰.

Todos los archivos de voz se encuentran divididos en 45 lecciones, las cuales a su vez están almacenadas en una carpeta llamada “alfabeto”. El software de acceso se encarga de llamar cada uno de esos archivos y reproducirlos en el momento que el usuario está usando el modulo de enseñanza; el código de programación que se utiliza para desarrollar la base de datos se puede observar en el ANEXO E, así mismo cada una de las frases que se encuentran en la base de datos se pueden encontrar en el ANEXO B.

3.4 SOFTWARE DE ACCESO

La interfaz con el usuario está diseñada con el objetivo de facilitar el acceso al programa por parte del usuario. Esta interfaz esta completamente desarrollada en Visual C++ y su desarrollo satisface los requerimientos del sistema.

Para comenzar con una breve descripción del software, primero se dan los detalles del proyecto de C++ en el que está desarrollada toda la interfaz. Se trata de un proyecto de cuadros de dialogo, de ocho archivos de fuente C++ (.CPP) con sus correspondientes

¹⁰ ZAPATA SANTILLANA, Everardo. COQUITO BÁSICO NUEVO MILENIO. Bogotá D.C.: Grupo Noriega Editores de Colombia Ltda.

archivos de encabezado (.h), un archivo de recursos, y un archivo principal llamado "ventana principal".

Al abrir el programa, se visualiza una ventana tipo Windows de entorno Microsoft Foundation Class(MFC) denominada "ventana principal", donde aparecen las opciones de Tutor para niños, Lectura de textos y Opciones, tal como se muestra en la Figura 21.

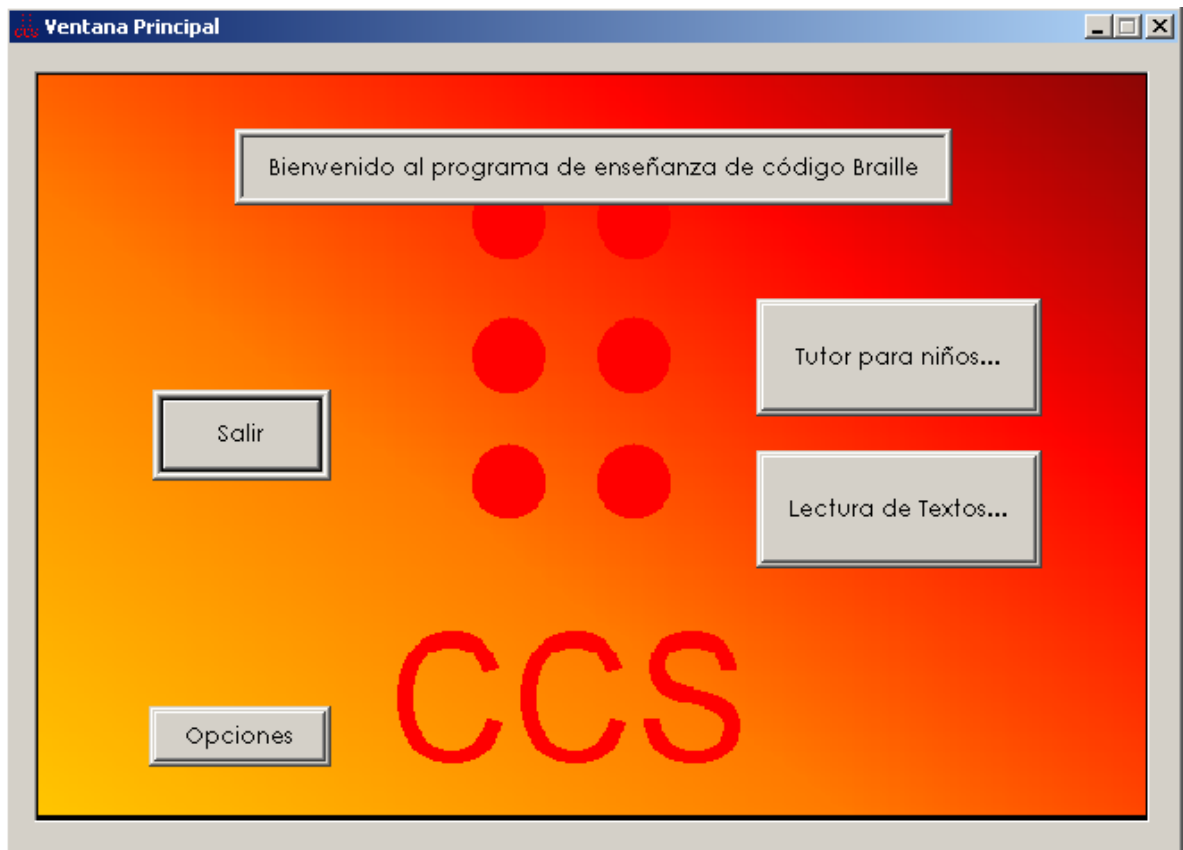


Figura 21. Ventana principal.

Si se elige "Opciones", se puede configurar el puerto serial del computador al que está conectado el dispositivo, tal como se muestra en la Figura 22.

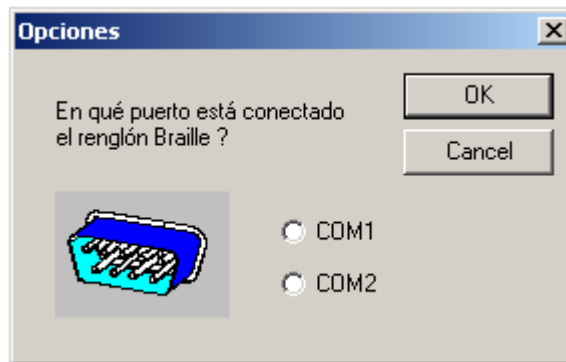


Figura 22. Ventana de opciones.

La opción del Tutor para niños, le permite al usuario elegir cualquiera de las 45 lecciones que desee, como se puede apreciar en la Figura 23, así como también tiene la selección automática de la lección, con el fin de parecerse a una prueba o juego aleatorio.

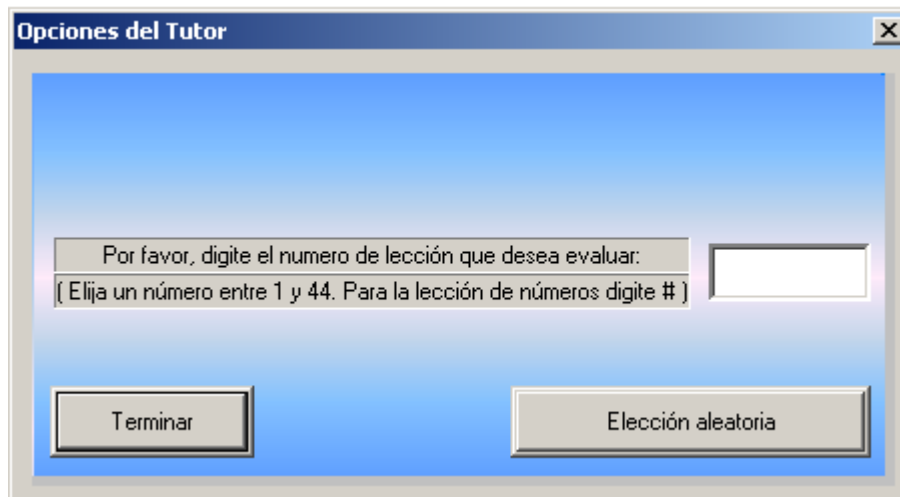


Figura 23. Ventana de opciones del tutor.

Después de tomar el número de la lección que será evaluada pasa a elegir una palabra de esta lección, esta palabra es reproducida por un archivo de sonido previamente establecido, además de ser enviada a la unidad de conversión y procesamiento. El usuario debe ingresar la palabra que percibió por medio del oído y el tacto y el programa evalúa si fue escrita correctamente la palabra, como se puede apreciar en la Figura 24. Se supone que el teclado usado para este fin está adaptado para personas con limitaciones visuales.

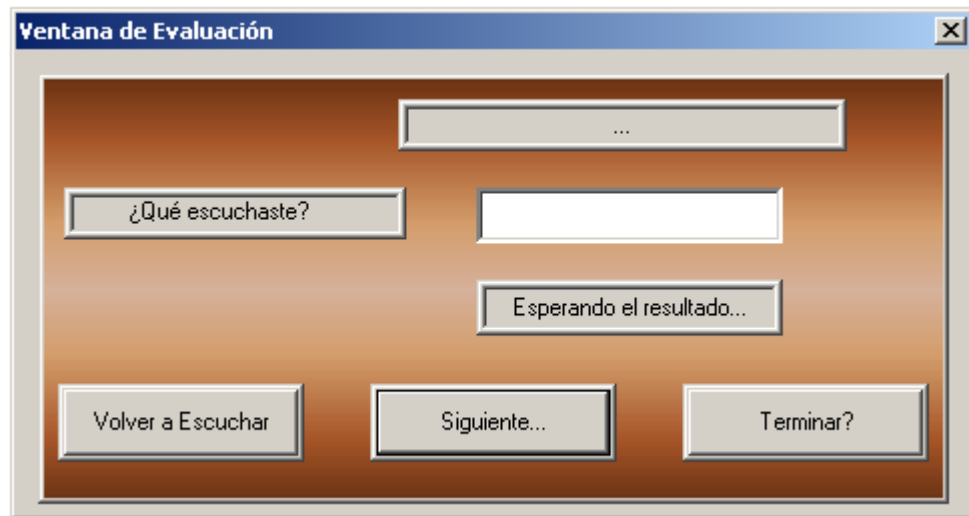


Figura 24. Ventana de evaluación.

Por otro lado, la opción de Lectura de textos de la ventana principal, permite abrir cualquier archivo de texto con la extensión .txt como se puede ver en la Figura 25.

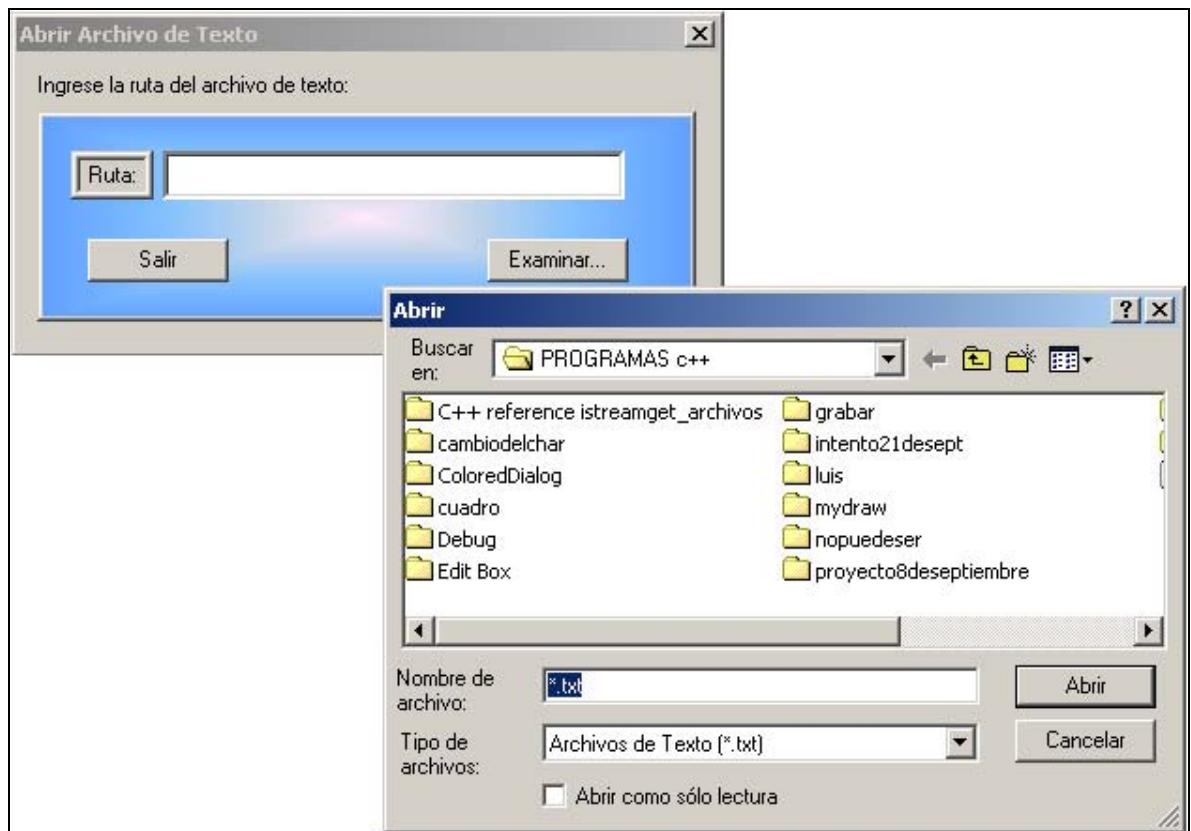


Figura 25. Ventana de abrir archivo de texto.

Una vez el tutor elige el archivo que se quiere abrir, se realiza una conversión del texto a un formato de 30 caracteres, es decir, éste se justifica de tal forma que las palabras aparecen sin cortes y se aprovecha al máximo la capacidad que tiene el renglón Braille, para lograr que el usuario capte la idea más fácil. Luego, el programa muestra el texto en pantalla y envía esta información a la unidad de conversión y procesamiento; aquí espera que el usuario le indique cuando avanzar o retroceder en el texto general, acción que este último realiza gracias a dos pulsadores que están colocados a los lados del dispositivo electromecánico, que se observa en la Figura 35; además, el usuario dispone de un segundo de descanso entre cada cambio de renglón, tiempo en el que también puede finalizar la sesión, como se puede ver en la Figura 26.

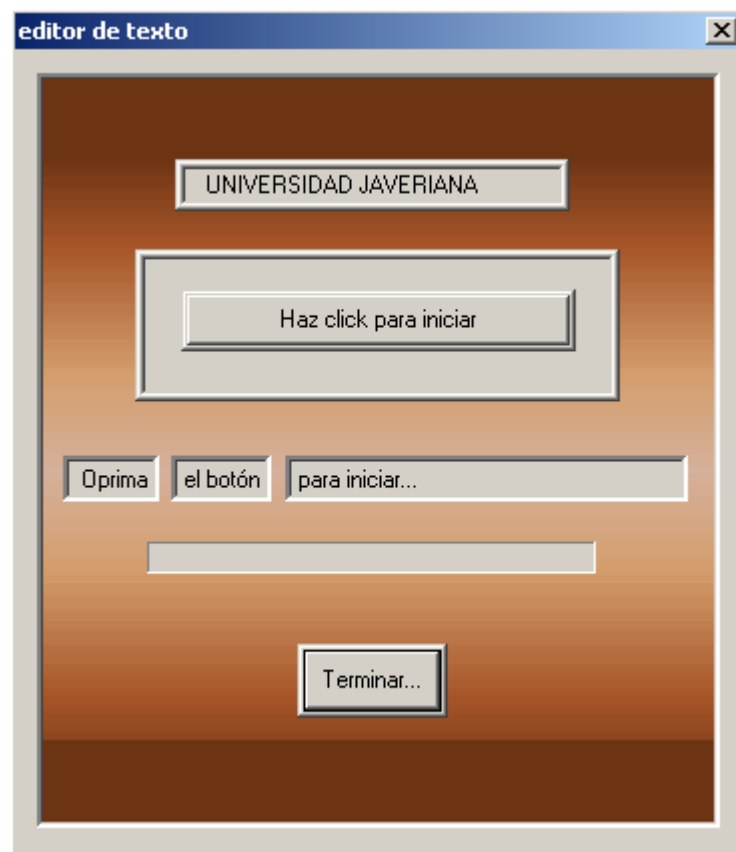


Figura 26. Ventana de lectura de textos.

3.5 DESCRIPCIÓN FÍSICA

3.5.1 Dispositivo electromecánico

El dispositivo electromecánico está formado por 180 solenoides, cada una de las cuales fue embobinado con alambre calibre 39 y su núcleo fue torneado a partir de un tornillo de acero grado 1, material usado para evitar la menor cantidad de remanente magnético. En la Figura 27, se observa el tamaño inicial de dichos tornillos y el producto final después de torneado, además para permitir una idea más clara de los tamaños están colocados al lado de una resistencia de medio vatio.



Figura 27. Tornillo y núcleo.

Esas 180 bobinas están distribuidas en seis perfiles angulares como el que se observa en la Figura 28, cada uno de los cuales es de acero referencia A36 y está niquelado; la característica de este material es su bajo contenido de carbono y por tanto su tendencia baja a magnetizarse.

Además de las bobinas, en los perfiles angulares también están colocados los respectivos conectores, los resortes, los alambres y las anclas, estas últimas también son de acero. Un

ejemplo del montaje definitivo de cada uno de los perfiles angulares se puede observar en la Figura 29.



Figura 28. Perfil angular.

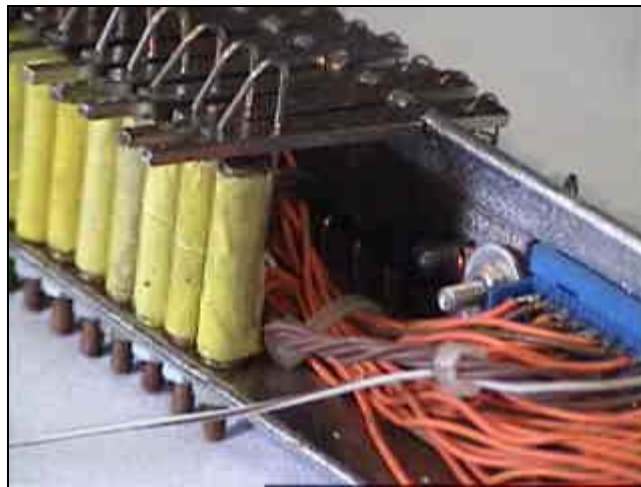


Figura 29. Montaje definitivo en perfil angular.

3.5.2 Circuitos impresos

Debido a la gran cantidad de componentes electrónicos usados en este proyecto, fue necesaria la elaboración de ocho circuitos impresos, de los cuales seis son iguales. Cada

uno de esos seis impresos maneja todas las bobinas de unos de los perfiles angulares, es decir en ellos está repartido el bloque de fijación de datos, tal como se ve en la Figura 30.



Figura 30. Impreso del bloque de fijación de datos.

En otro de los impresos se encuentra el bloque de procesamiento, al cual llega la conexión con el computador personal, este impreso se muestra en la Figura 31.

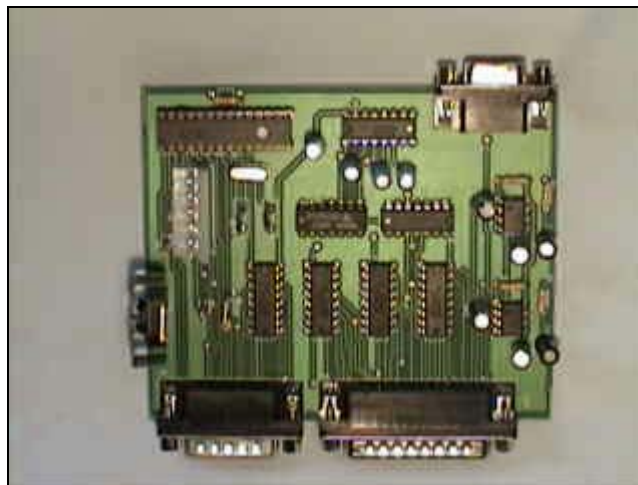


Figura 31. Impreso del bloque de procesamiento.

Tanto los seis impresos que son iguales, como el impreso del bloque de procesamiento, se interconectan entre sí por medio de un octavo circuito impreso, el cual recibe también los

conectores de la fuente que alimenta todo el sistema. La disposición física de dicha interconexión se observa en la Figura 32 para mejor entendimiento.

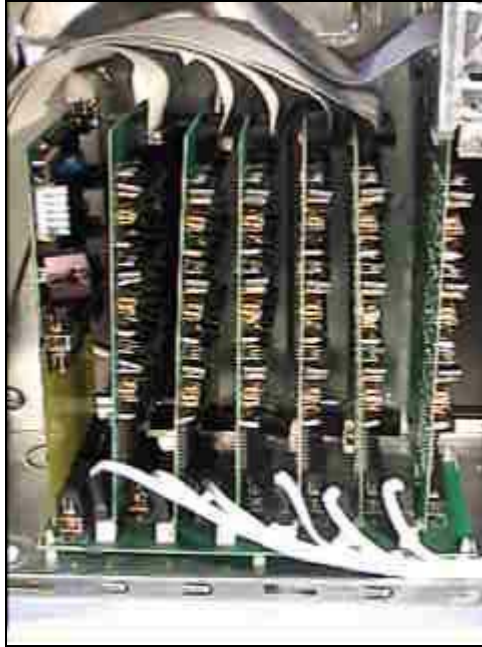


Figura 32. Interconexión de circuitos impresos.

El arte de los circuitos impresos se puede observar en el ANEXO J.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El dispositivo final está conformado por dos módulos físicos interconectados entre sí, uno de ellos es el renglón Braille y en el otro está toda la unidad de conversión y procesamiento, además de los componentes de software nombrados anteriormente; estos cumplen la función de mostrar en código Braille los datos que le entrega el computador personal y de esa forma permitir al usuario invidente tener acceso a la información.

4.1 ESPECIFICACIONES GENERALES

Las especificaciones generales para el correcto funcionamiento del dispositivo se pueden observar en la Tabla 5 y las dimensiones de los módulos en la Tabla 6. En estas tablas se puede observar que el dispositivo cumple con especificaciones de alimentación estándar para el caso de Colombia.

ESPECIFICACIONES GENERALES		
Voltaje de alimentación	100-120	VAC
Frecuencia de alimentación	50-60	Hz
Potencia	5-230	vaticos
Temperatura de trabajo	0-35	°C
Velocidad de transmisión	9600	Bps
Sistema operativo	Windows 95 o superior	
Velocidad mínima de procesador	333	MHz
Espacio mínimo en disco duro	200	MB
Mínimo de memoria RAM	24	MB

Tabla 5. Especificaciones generales.

DIMENSIONES MÓDULO CONVERSIÓN Y PROCESAMIENTO		
Ancho	18	cm.
Largo	41,5	cm.
Alto	41,5	cm.
DIMENSIONES RENGLÓN BRAILLE		
Ancho	37	cm.
Largo	15	cm.
Alto	15,5	cm.

Tabla 6. Dimensiones del dispositivo.

4.2 PROTOCOLO DE PRUEBAS

Durante el desarrollo del proyecto se realizaron diferentes pruebas a cada uno de los subsistemas del dispositivo, dichas pruebas se exponen a continuación, comparando los resultados obtenidos con los resultados esperados.

4.2.1 Software y unidad de conversión y procesamiento

Debido a la naturaleza vidente de los desarrolladores del sistema se tomó la decisión de realizar un visualizador con diodos emisores de luz (**led's**) que se ve en la Figura 34, de esa forma se facilita la depuración de posibles errores. Las dimensiones de este dispositivo están consignadas en la Tabla 7.

DIMENSIONES VISUALIZADOR BRAILLE		
Ancho	60	cm.
Largo	22	cm.
Alto	5,5	cm.

Tabla 7. Dimensiones visualizador Braille.

Como se observa en la Figura 33, los **led's** están colocados de tal forma que simulan 30 caracteres Braille; con este dispositivo se comprobó el correcto funcionamiento de los circuitos impresos, de los conectores, de la comunicación entre el computador personal y la

unidad de conversión de procesamiento, además de las diferentes particularidades que presenta el código Braille.

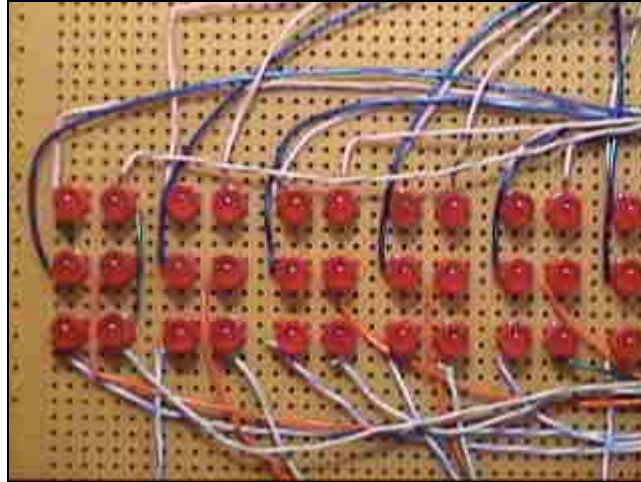


Figura 33. Simulación de caracteres Braille con diodos emisores de luz.

En el software de acceso se eligió el modo Tutor para niños y en este modo se seleccionaron todas y cada una de las lecciones, de esa forma se comprobó la correcta correspondencia entre el archivo de sonido y la frase seleccionada.

Por otro lado, al elegir el modo Lectura de textos se cargaron diferentes archivos de formato .txt con párrafos que permitieron verificar las diferentes particularidades del código Braille, por ejemplo, en la Figura 34 se muestra el visualizador con la frase “UNIVERSIDAD JAVERIANA”. En este caso, se comprobó que el sistema cumpliera con una de las características del código Braille nombradas anteriormente en el marco teórico, que hace referencia al manejo de las mayúsculas.



Figura 34. Visualizador Braille.

Es importante resaltar que en el proceso de depuración de errores, el dispositivo se presentó en Expoelectrónica, un evento que reúne los mejores proyectos de diseño electrónico, elaborados por estudiantes de VII a X semestre de la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana; allí permaneció encendido y funcionando durante siete horas continuas.

4.2.2 Interfaz electromecánica

Para las pruebas de la interfaz electromecánica, la cual se puede observar en la Figura 35, se programó el microcontrolador con el programa de pruebas que se puede ver en el ANEXO F, con él se puede elegir entre activar una sola clavija o una celda o todas las clavijas uno o todas las clavijas dos, etc. La comunicación se realiza por el puerto serial del computador utilizando el programa HyperTerminal©.



Figura 35. Interfaz electromecánica.

Con ese programa de prueba se activó cada una de las bobinas de la interfaz electromecánica y se midió con un dinamómetro la fuerza necesaria para vencer la atracción entre el solenoide y la palanca. La Figura 36 es un ejemplo de la forma como se tomaron estas medidas, las cuales estuvieron por encima de los 75 g*f, que es el peso promedio de un dedo¹¹, en el caso de la figura la medida está en 100 g*f.



Figura 36. Prueba con dinamómetro.

¹¹ FRUMENTO, A.S., Biofísica. Madrid: Mosby, 1973, 599p.

El instrumento utilizado para realizar esta medida es un dinamómetro HALDEX AB referencia LMV 1092.

4.2.3 Respuesta de los usuarios limitados visuales

Para determinar el correcto funcionamiento del dispositivo se elaboró un formato de encuesta a un grupo de personas limitadas visuales que utilizaron el equipo, ese formato se puede ver en el ANEXO G. La población encuestada fue de cinco personas invidentes, entre los 20 y 35 años de edad, familiarizados con el método de lectura del código Braille.

La encuesta está dividida en cuatro segmentos principales; el primero, consiste en la caracterización del encuestado; el segundo, en la aceptación del mismo frente al Tutor para niños; el tercero, en el funcionamiento del modo Lectura de textos y el cuarto en la opinión del encuestado sobre el dispositivo.

A continuación se presenta una tabulación de los resultados obtenidos en dicha encuesta y se presentan los datos de forma gráfica.

1. ¿Hace cuánto tiempo sabe Braille?

Las personas encuestadas que usaron el dispositivo están en el intervalo de 22 a 33 años de utilizar o saber Código Braille.

2. ¿Ha utilizado algún otro método de lectura aparte del código Braille?

Los encuestados han utilizado otros tipos de lectura como la letra macrotipo, daisy, audiolibros y otras personas.

3. ¿Para usted es familiar el esquema de código Braille de 8 puntos?

La totalidad de los encuestados conocen en que consiste el código Braille de ocho puntos, sin embargo dicen que no es común para ellos el uso del mismo.

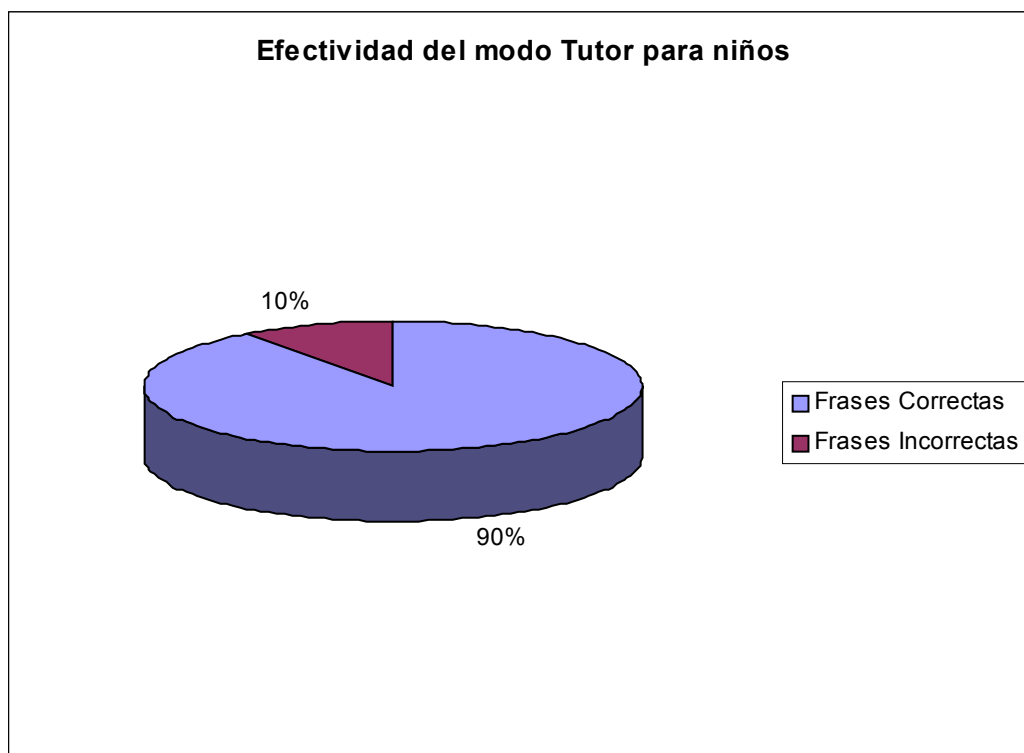


Figura 37. Efectividad del modo tutor para niños.

4. ¿La frase que escuchó corresponde a lo leído en el renglón Braille?

La respuesta dada a esta pregunta permite elaborar una estadística del porcentaje de efectividad o de entendimiento que tuvo el sistema en el modo Tutor para niños. En la Figura 37, se observa el porcentaje de las frases que los usuarios distinguieron claramente, tanto al escucharla como al leerla en el renglón Braille; allí podemos observar que todas las frases desplegadas aleatoriamente en el renglón Braille, corresponden perfectamente con el archivo de sonido reproducido por el computador personal. Las frases de la base de datos se encuentran en el ANEXO B.

5. ¿Cree usted que el dispositivo puede contribuir en el proceso de aprendizaje del código Braille?

La totalidad de las personas encuestadas afirmó que consideran que el dispositivo podría ser de gran ayuda en el proceso de aprendizaje del código Braille, y también algunos sugirieron que el dispositivo fuera probado por niños que estuvieran cursando tercero o cuarto de primaria.

6. ¿Cómo calificaría este posible aporte?

En la Figura 38 se puede observar los resultados obtenidos al realizar esta pregunta. El 20% de las personas encuestadas consideró que ese aporte sería excelente, el 70% consideró que era bueno y tan solo un 10% considero que era regular, aclarando que por regular no dieron a entender que fuera perjudicial, sino que no consideraban significativo su aporte.

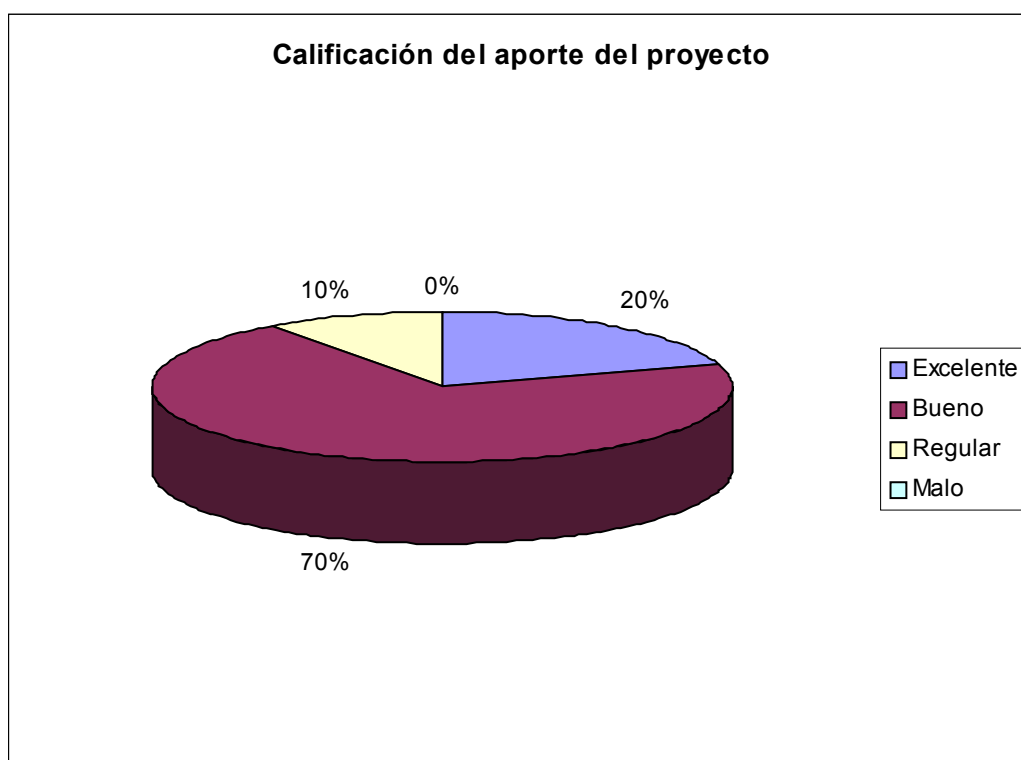


Figura 38. Calificación del aporte del proyecto.

7. ¿Cómo calificaría la cantidad de celdas del renglón Braille y su tamaño?

La totalidad de los encuestados estuvieron de acuerdo con el tamaño de las celdas y con la cantidad de las mismas, destacaron la posibilidad de leer palabras largas o más de una palabra en una sola pasada. Las estadísticas de esta pregunta se pueden ver en la Figura 39.

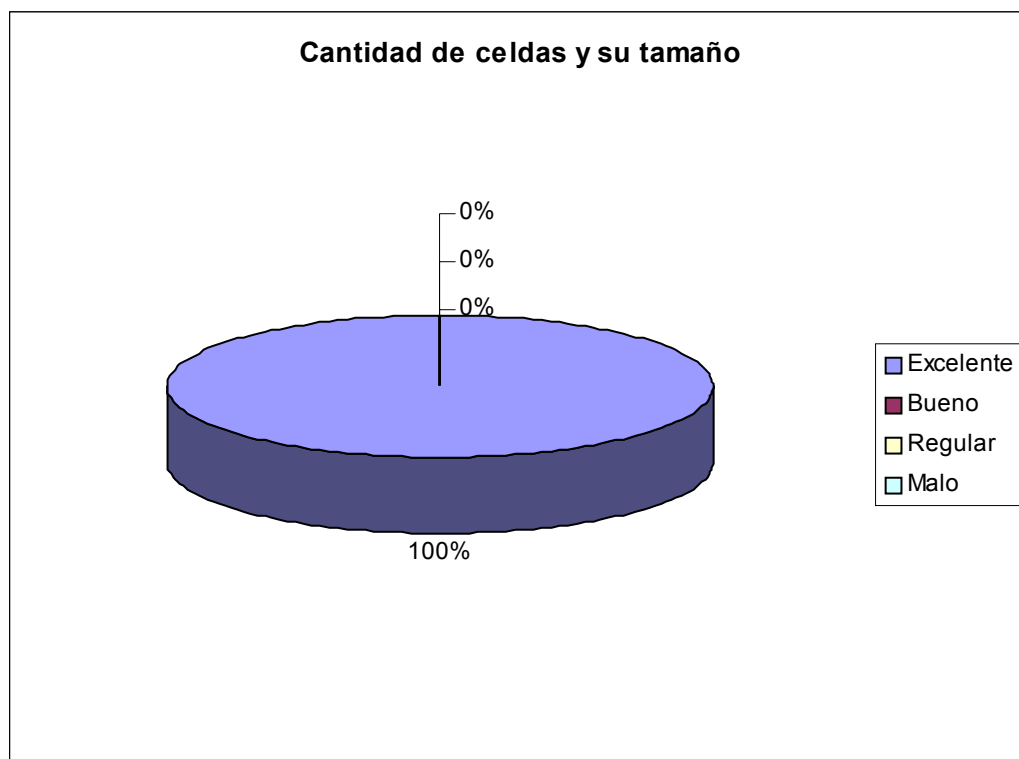


Figura 39. Calificación de la cantidad de celdas y su tamaño.

8. ¿Cómo calificaría la lectura que realizó en el renglón Braille?

En la Figura 40 se observa que un 60% de los encuestados considera que la lectura es clara y tan solo un 40% considera que pueden leer con alguna dificultad. Este resultado es muy bueno según el criterio de los desarrolladores del sistema, ya que es necesario tener opiniones favorables por parte de personas que conocen de antemano el código Braille y que pueden dar fe de que es apto para personas que están comenzando su proceso de aprendizaje.

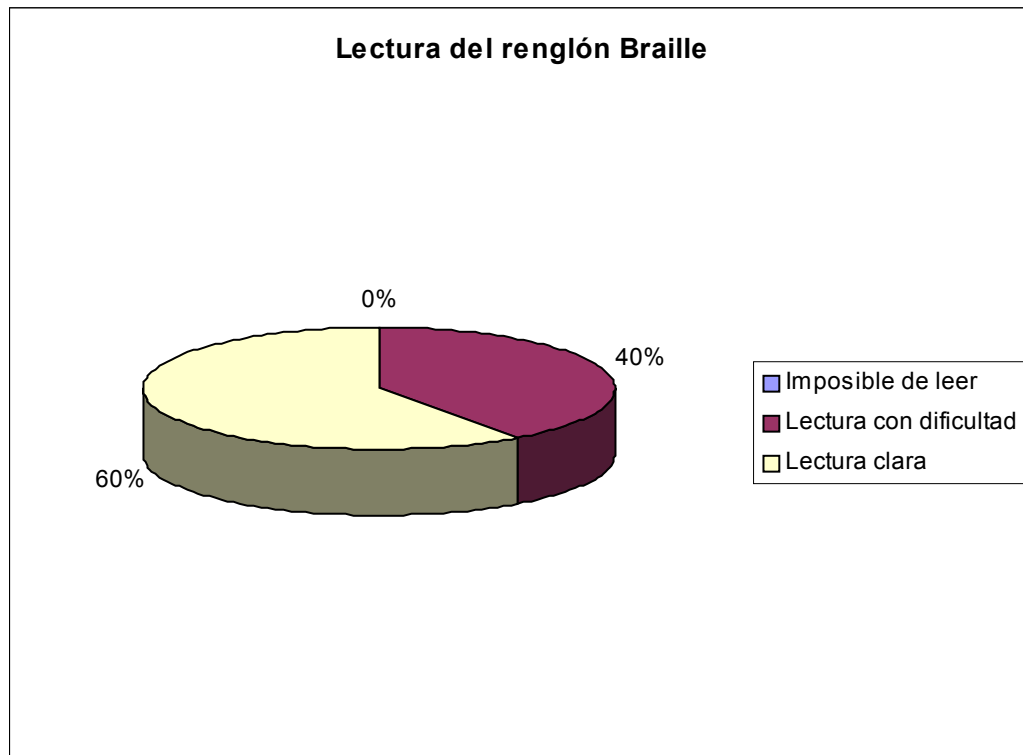


Figura 40. Calificación de la lectura realizada en el renglón Braille.

9. ¿La opción de adelantar y retroceder en el texto le parece útil?

Todos los encuestados consideraron útil las funciones de adelantar o retroceder en el texto, ya que esto les da autonomía en el momento de la lectura.

10. ¿Qué fue lo que más le gusto del dispositivo?

La mayoría de los encuestados respondió a esta pregunta que lo mejor del dispositivo es el número de celdas, también resaltaron que la superficie era agradable al tacto, además de opciones como adelantar y retroceder en la lectura.

11. ¿Qué fue lo que menos le gusto del dispositivo?

Algunos encuestados opinan que el tamaño del dispositivo es bastante grande, sin embargo en el objetivo del equipo no está involucrado la opción de portabilidad.

4.3 ESTUDIO DE COSTOS

En este estudio se muestra cuales fueron los costos propuestos inicialmente y los costos reales del proyecto. En la Tabla 8 se observa cuales fueron los costos propuestos al inicio del proyecto y en la Tabla 9 los costos reales del proyecto. Todos los valores están dados en pesos colombianos.

Recursos Humanos	Horas por persona	Valor Hora	Total
Director proyecto	30 semanas * 2h	50.000	3'000.000
Asesores	5*30 semanas *2h	40.000	12'000.000
Desarrolladores área electrónica	3*30 semanas *25h	9.000	20'250.000
Total recursos humanos			35'250.000
Equipo	Cantidad	Valor Unidad	Total
Conjunto de treinta celdas	1	2'000.000	2'000.000
Puerto serial	1	35.000	35.000
Alquiler de computador (con licencias y software) y equipo de laboratorio (alquiler por veinte semanas)	-	125.000/semana	2'500.000
Licencias de software (LINUX)	1	0	0
Circuito impreso	1	100.000	100.000
Cubierta del proyecto	1	500.000	500.000
Adhesivo Braille para el teclado	1	20.000	20.000
Total Equipo			5'155.000
Papelería	Cantidad	Valor Unidad	Total
Papel	5 resmas	8.000	40.000
Encuadernación	6	25.000	150.000
Empaste	9	4.000	36.000
Cartuchos de impresora	3	45.000	135.000
Discos compactos	8	2.000	16.000
Total Papelería			377.000
Costos Indirectos	Cantidad	Valor Unidad	Total
Servicios públicos	750h	400	300.000
Transporte	900	1.100	990.000
Imprevistos	-	-	1'500.000
Total Costos Indirectos			2'790.000
Total Costos			43'572.000

Tabla 8. Costos propuestos.

Los valores resultantes de las dos tablas son muy aproximados, a pesar de existir diferencias significativas en algunos ítem presupuestados. Es importante destacar que incluir en los costos presupuestados un valor para imprevistos, acerca mucho a la realidad ese presupuesto inicial con lo invertido definitivamente.

Recursos Humanos	Horas por persona	Valor Hora	Total
Director proyecto	20 semanas * 1h	50.000	1'000.000
Asesores	5 * 20 semanas * 3h	40.000	12'000.000
Desarrolladores área electrónica	3 * 20 semanas * 48h	9.000	25'920.000
Total recursos humanos			38'920.000
Equipo	Cantidad	Valor Unidad	Total
Alquiler de computador (con licencias y software) y equipo de laboratorio (alquiler por veinte semanas)	-	125.000/semana	2'500.000
Total Equipo			2'500.000
Interfaz Electromecánica	Cantidad	Valor Unidad	Total
Tornillos grado 1	250	100	25.000
Fabricación núcleos bobinas	200	4.000	800.000
Embobinado	200	2.500	500.000
Perfil angular	6	70.000	420.000
Áncora	200	1.000	200.000
Alambre de acero inoxidable	1 Kg	17.722	17.722
Resortes	200	250	50.000
Niquelado, cobrizado y cromado	-	-	73.000
Tuercas y tornillos	-	-	5.000
Total Interfaz Electromecánica			2'090.722
Componentes	Cantidad	Valor Unidad	Total
Conectores Centronix	30	2.000	60.000
Otros conectores	-	-	10.000
Circuitos impresos	-	-	943.242
Fuente de voltaje conmutada	1	120.000	120.000
Ventilador	1	6.000	6.000
Cables	-	-	48.000
Caja	1	50.000	50.000
Caja visualizador	1	80.000	80.000
Componentes electrónicos	-	-	307.398
Total componentes			1'624.640
Papelería	Cantidad	Valor Unidad	Total
Papel	5 resmas	8.000	40.000
Encuadernación	6	25.000	150.000
Empaste	9	4.000	36.000
Cartuchos de impresora	3	45.000	135.000
Discos compactos	8	2.000	16.000
Total Papelería			377.000
Costos Indirectos	Cantidad	Valor Unidad	Total
Servicios públicos	750h	400	300.000
Transporte	900	1.100	990.000
Total Costos Indirectos			1'290.000
Total Costos			46'802.362

Tabla 9. Costos reales.

En el caso en que se considere comercializar el producto en el mercado se debe tener en cuenta algunas variables como:

- El objetivo del proyecto no debe separarse del fin social que lo inspiró.
- El dispositivo no tiene gran demanda, ni está enfocado a personas con muchos recursos económicos.
- Se necesita un análisis de costos por parte de una persona especializada en este tipo de labores.
- Los principales consumidores de este proyecto serían centros de enseñanza para discapacitados visuales.

Por las razones enunciadas, los autores de este proyecto consideran muy ambiciosa la idea de realizar un estudio de costos y creen que esto requiere un análisis más detallado y especializado.

4.4 EVALUACIÓN DE LOS OBJETIVOS

A continuación, se enuncia el objetivo general y los objetivos específicos planteados al comienzo del proyecto, para luego pasar a evaluar los resultados obtenidos.

4.4.1 Objetivo general

- Diseñar un dispositivo electromecánico para el aprendizaje del código Braille, que permita convertir textos provenientes de un archivo de computador (.txt) en código Braille.

4.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar un dispositivo electromecánico que tenga la capacidad de representar treinta signos generadores Braille simultáneamente.
- Implementar una interfaz controladora que permita transformar los caracteres de un archivo tipo texto en señales que recibe el dispositivo electromecánico.
- Crear una base de datos que funcione como una cartilla infantil, organizada por lecciones.
- Desarrollar un software que administre todos los recursos citados anteriormente.

4.4.3 Resultados obtenidos

Una vez leídos los títulos anteriores, el lector de este documento está en capacidad de formarse una idea clara de los resultados obtenidos y del cumplimiento que ellos dan a los objetivos presentados anteriormente, por eso se aclara que la opinión expresada aquí, hace parte de la visión que tienen los autores de la labor realizada.

Al finalizar este proyecto, se tiene un dispositivo electromecánico que representa 30 signos generadores Braille simultáneamente, de tal forma que una persona con limitación visual que tenga conocimiento de dicho código está en capacidad de leer en él. Además, ese dispositivo está controlado por una interfaz que recibe los caracteres enviados por un computador personal a través del puerto serial y los transforma en las señales necesarias para el funcionamiento del renglón Braille.

Todo ese sistema está administrado por un software que es ejecutado en un computador personal, el cual le da la opción al usuario de utilizar dos rutinas distintas; en una de ellas carga un archivo de texto de extensión .txt para ser mostrado en el renglón Braille; en la otra opción ejecuta una rutina que pretende facilitar el aprendizaje del código Braille, haciendo uso de una base de datos organizada por lecciones, basándose en la asociación de

sonidos e imágenes con letras (en este caso símbolos Braille), al igual que los métodos tradicionales que enseñan a leer y escribir.

Además de la elaboración de los dispositivos necesarios para el cumplimiento de los objetivos, los desarrolladores del proyecto vieron la necesidad de elaborar otro equipo que permita la clara exposición del funcionamiento del sistema a personas videntes y que además funcione como un instrumento para su mantenimiento y depuración de errores. Este equipo se observa en la Figura 34 y su descripción y uso ya fue narrado anteriormente en el protocolo de pruebas.

Por otro lado, en comparación con los proyectos desarrollados hasta el momento para discapacitados visuales, se destaca la facilidad que le da al usuario la posibilidad de leer palabras o frases largas cuando se tienen 30 celdas, como es el caso de este dispositivo. También es importante destacar la labor realizada por el grupo de trabajo al construir todo el sistema mecánico con materiales y tecnología colombiana.

5. CONCLUSIONES

- El sistema desarrollado está concebido para facilitar el aprendizaje del código Braille, si a esto se le suma la labor realizada por un instructor, se puede obtener un proceso integral, donde se conjugan la tecnología y la pedagogía.
- El desarrollo del trabajo de grado cumplió con los objetivos propuestos inicialmente. Al final de este desarrollo se tiene un dispositivo electromecánico para el aprendizaje del código Braille, que permite convertir textos provenientes de un archivo de computador (.txt) en código Braille.
- La labor realizada por el grupo desarrollador de este trabajo de grado, es un importante aporte a la tecnología de este país, demostrando que es posible desarrollar proyectos con sentido social.
- Además de resaltar que el dispositivo cumple con los objetivos propuestos, también es importante destacar algunas mejoras a las que el dispositivo es susceptible:
 - Realizar una interfaz que le permita al usuario con limitación visual usar Internet para comunicarse, por ejemplo para aplicaciones de chat.
 - Desarrollar una aplicación que permita al usuario invidente ser más autónomo en el uso del dispositivo, por ejemplo usar sintetizador de voz para que logre ubicar los menús en el programa.

- Desarrollar una aplicación que le permita al tutor o instructor que apoya los procesos de aprendizaje, cargar nuevas lecciones o cartillas en la base de datos del programa.

BIBLIOGRAFÍA

ARENAS, Alejandro; GONZÁLEZ, Álvaro; RODRÍGUEZ, Ramón. Sistema portátil inalámbrico de comunicación para personas sordociegas. Bogotá, 2001, 111p. Trabajo de Grado (Ingeniero Electrónico). Pontificia Universidad Javeriana.

ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE CLUBES DE LEONES. Braille - Historia [en línea]. Disponible en http://www.lionsclubs.org/SP/content/vision_services_braille.shtml. [2003].

BELTRÁN, Camilo; LINCE, Jorge; PÉREZ, Rodríguez. Dispositivo de apoyo a la enseñanza de lectura en el sistema Braille. Bogotá, 2004, 78p. Trabajo de Grado (Ingeniero Electrónico). Pontificia Universidad Javeriana.

Enciclopedia Microsoft® Encarta® 99. © 1993-1998 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

FUNDACIÓN BRAILLE DEL URUGUAY. Alfabeto Braille [en línea]. Disponible en <http://fbraille.com.uy/alfabeto>. [2004, Febrero 2].

GUINLE, R. Nuevo diccionario técnico y de ingeniería. Méjico: Compañía Editorial Continental, S.A., 1966.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. Física Para Estudiantes de Ciencias e Ingeniería. Parte 2. Méjico: Continental, 1961.

INCI (Instituto Nacional para Ciegos), Alfabeto Braille, 1980.

INSTITUTO NACIONAL PARA CIEGOS – INCI. Fuentes de información estadística de población con ceguera o baja visión [en línea]. Disponible en <http://www.inci.gov.co/htmls/estadisticas.htm>. [2004, Febrero 19].

Ley de la Republica Nacional de Colombia No. 361 – 7 FEBRERO. 1997.

ORGANIZACIÓN NACIONAL DE CIEGOS ESPAÑOLES – ONCE. Braille [en línea]. Disponible en <http://www.once.es/> [2004].

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA – RAE. Diccionario de la lengua española [en línea]. Disponible en <http://www.rae.es/> [2004].

RS232 DATA INTERFACE A TUTORIAL ON DATA INTERFACE AND CABLES [en línea]. Disponible en <http://www.euskalnet.net/shizuka/rs232.htm>. [2002].

RUIZ, Olga. Orientaciones generales para la enseñanza del sistema de lectoescritura braille, Instituto Nacional para Ciegos INCI, 2000.

WELSBY V.G. Theory and design of inductance coils. London: Mcdonald, 1960, 232p.

ZAPATA, Everardo. Coquito básico nuevo milenio. Bogotá D.C.: Grupo Noriega Editores de Colombia Ltda., 126p.

ZARATIAN, Beck. Microsoft Visual C++ 6.0. Manual del programador. España: Mc Graw Hill, 1998. 566p.