 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01- 27

Diseño de dispositivo para codificación de textos a código braille como herramienta de apoyo a personas con discapacidad visual

Federico Gutiérrez Correa

Jerri Alejandro López Sánchez

Ingeniería Biomédica

Robert Urda Benítez

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

09/02/2019

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

RESUMEN

En el campo de la ingeniería en rehabilitación, del desarrollo de dispositivos biomédicos y en otros campos de estudio es importante la identificación de diferentes problemáticas actuales de exclusión a las que están expuestas las personas con discapacidad visual, como la falta de contenido literario y académico en código braille, en la actualidad se aplican soluciones tecnológicas que tienden a ser complejas y en la mayoría de los casos costosas. Este trabajo de investigación propone un sistema de codificación de texto digital a código braille a bajo costo, a partir del uso de Arduino como plataforma de desarrollo de software y hardware. Se propone el diseño de un dispositivo con un circuito electrónico-mecánico que realiza la acción de generar letra por letra la codificación en braille de acuerdo al texto cargado con anticipación, ofreciendo mejoras significativas de adaptabilidad y accesibilidad en comparación a las impresoras y los codificadores ofrecidos en el mercado actualmente, reduciendo los costos de esta tecnología asistiva haciéndola más accesible.

Palabras clave: Arduino, codificación, rehabilitación, inclusión, discapacidad, braille.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

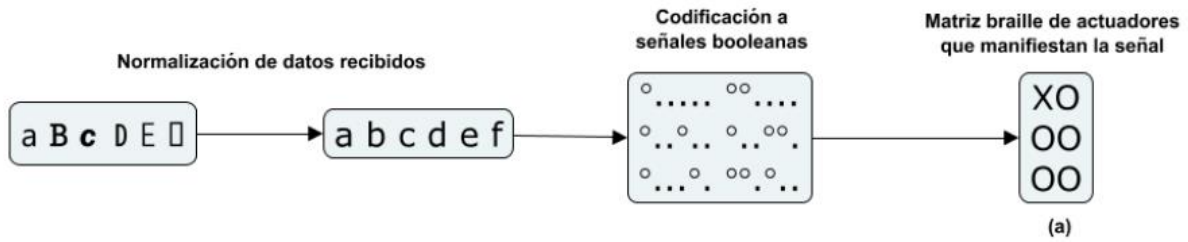
Abstract

In the field of rehabilitation engineering, development of biomedical devices and other fields of study, it is important to identify current problematics to which people with visual disabilities are exposed to, such as the lack of accessible literary and academic content, currently, the technical aids that can help tend to be complex and in most cases expensive. It is proposed to use a free software and hardware platform of development such as Arduino to encode digital texts to braille code, designing a device with an electronic-mechanical circuit that performs letter by letter the encoding to braille code of the text loaded in advance, offering significant improvements in terms of adaptability and accessibility compared to printers and encoders currently offered in the market, reducing the cost of this assistive technology and making it more accessible.

Keywords: Arduino, encode, rehabilitation, inclusion, disability, braille.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Graphical abstract



	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

RECONOCIMIENTOS

La realización de este trabajo de investigación fue posible gracias a la ayuda y el apoyo brindado por muchas personas e instituciones con las que estamos profundamente agradecidos y a las que queremos extender un cordial abrazo, Agradecemos al programa de innovación tecnológica del SENA Tecnoparque nodo Medellín, la fundación 5 sentidos, a Alejandro Rondón y extendemos un agradecimiento especial al docente y asesor del proyecto Robert Urda.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

ACRÓNIMOS

OMS Organización Mundial de la Salud

CIDDM Clasificación Internacional de Deficiencias, Discapacidades y Minusvalías

OPS Organización Panamericana de la Salud

PIC *Peripheral Interface Controller*

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	8
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3. JUSTIFICACIÓN	11
4. OBJETIVOS	13
4.1 Objetivo General	13
4.2 Objetivos Específicos	13
5. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	14
6. MARCO EXPERIMENTAL	19
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
8. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	30
REFERENCIAS	31
APÉNDICE	34

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

1. INTRODUCCIÓN

Respondiendo al escaso acceso a información actualizada y especializada en código braille, los altos costos de la tecnología actual que realiza el proceso de codificación y los riesgos que representan para la salud los movimientos repetitivos necesarios para la escritura manual en braille, se propone el diseño de un dispositivo que permite la codificación de textos digitales a código braille a bajo costo, compatible con diversas plataformas de hardware usando Arduino, desarrollando un algoritmo que reciba como entrada textos en formato digital y transmita como salida los niveles lógicos de los seis puntos correspondientes al signo generador de braille, administrando esta señal a un diseño de prototipo de hardware de prueba que use la salida del algoritmo propuesto y la transforme en un esfuerzo mecánico sensible al tacto para la impresión de caracteres en braille, para posteriormente evaluar el funcionamiento del software y el hardware propuesto como herramientas para la impresión de textos digitales en código braille, para tener argumentos que aporten a la discusión de la implementación de tecnologías libres y de bajo costo como medios de apoyo para la asistencia de las personas con discapacidad dadas las oportunidades que se pueden generar a partir de dichas plataformas de desarrollo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el mundo hay aproximadamente 314 millones de personas con discapacidad visual (Suárez Escudero, 2011), aproximadamente un 90 % de la carga mundial de discapacidad visual se concentra en los países de ingresos bajos, el 82 % de las personas que padecen ceguera tienen 50 años o más, en términos mundiales, los errores de refracción no corregidos constituyen la causa más importante de discapacidad visual, pero en los países de ingresos medios y bajos las cataratas siguen siendo la principal causa de ceguera (Suárez Escudero, 2011). Colombia tiene registrados 1.143.992 casos de personas con algún grado de limitación visual, que representan el 43,5 % del total de discapacitados del país. De ese grupo, aproximadamente 18.952 son menores de cinco años de edad y 83.212 son niños entre los 5 y los 11 años, según datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (Muñoz Quintero, 2010).

Las herramientas existentes que permiten el acceso y el acercamiento a material bibliográfico en código braille se ofertan en el mercado por costos relativamente altos y suelen cumplir una única función relacionada a la accesibilidad de los contenidos, entre las técnicas más difundidas en el medio de la producción de material bibliográfico en código braille se encuentra la escritura manual asistida por regleta y punzón. Este método a pesar de ser económico expone a la persona que escribe al riesgo de sufrir patologías como síndrome del túnel carpiano, dolores articulares, muñeca abierta (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España, 2015), entre otras, debido a la aplicación de fuerzas realizando movimientos repetitivos (Genaidy, Al-Shedi, & Shell, 1993). Se necesitan dispositivos traductores de texto a código braille y que intervengan en la optimización del aprendizaje y la prevención de patologías.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Arduino es una plataforma de prototipado basada en control de hardware y software libre, de bajo costo, flexible y fácil de utilizar. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de control en una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso, en este caso se propone codificar textos digitales a braille (Preliminares & Antecedentes, 1997).

¿Cómo desarrollar un prototipo de codificador multicompatible de textos a código braille con tecnología de bajo costo como la plataforma de Arduino, adaptable a las condiciones de los usuarios?

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

3. JUSTIFICACIÓN

La ley general para personas con discapacidad (Ley Estatutaria N° 1618 de 2013) sentencia en el artículo 11 numeral 1 literal k, que el Ministerio de Educación debe “Garantizar la enseñanza primaria gratuita y obligatoria de la educación secundaria, así como asegurar que los jóvenes y adultos con discapacidad tengan acceso general a la educación superior, la formación profesional, la educación para adultos, la educación para el trabajo y el aprendizaje durante toda la vida, sin discriminación y en igualdad de condiciones con las demás” (Gavia Alejandro, 2017), para estos efectos pedagógicos y educativos en igualdad de condiciones, se deben ofertar los textos necesarios en código braille, como se ofrece el material bibliográfico para la educación “regular”, sin embargo el número de ejemplares que usan el código braille (o que cuentan con alguna otra oferta accesible para las personas con discapacidad visual como la opción audible) de los que se dispone en las bibliotecas no cubren las necesidades de las personas con discapacidad visual.

Las dificultades que representa la adquisición de un sistema que dé respuesta a estas necesidades se ve atravesada por la escasa capacitación en términos de inclusión y universalidad que requiere la materia. Por estos motivos se propone el diseño de un dispositivo codificador de textos a código braille que pueda adaptarse según las necesidades de los usuarios, reduciendo los costos usando la plataforma Arduino como multiplataforma de lectura e impresión.

Colombia firmó el tratado de Marrakech que aprueba la divulgación de obras protegidas por derechos de autor en los países miembros de la Organización mundial de propiedad intelectual (OMPI) facilitando el uso y el acceso a las obras publicadas por parte de las

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

personas con discapacidades sensoriales, incluidos en estas obras los textos impresos, por ello es pertinente el desarrollo de estrategias y tecnologías que faciliten la implementación de estas iniciativas (Ciegas et al., 2013) (Americanos et al., 2016).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Diseñar un dispositivo que permita la codificación de textos digitales a código braille a bajo costo, compatible con la plataforma de hardware diseñada.

4.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar un algoritmo que reciba como entrada textos en formato digital y transmita como salida los niveles lógicos de los seis puntos correspondientes al signo generador de braille.
- Diseñar un prototipo de hardware de prueba que use la salida del algoritmo propuesto y la transforme en un esfuerzo mecánico sensible al tacto para la impresión de caracteres en braille.
- Evaluar el funcionamiento del software y el hardware propuesto como herramientas para la impresión de textos digitales en código braille.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

5. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Una de las definiciones de discapacidad más acertada es la que formuló de manera operativa la Organización Mundial de la Salud (OMS) en la Clasificación Internacional de Deficiencias, Discapacidades y Minusvalías (CIDDM) definiendo que una discapacidad es toda restricción o ausencia (debida a una deficiencia) de la capacidad de realizar una actividad en la forma o dentro del margen que se considera normal para un ser humano (Egea García & Sánchez Sarabia, 2001).

La discapacidad visual y la ceguera afectan a una parte significativa de la población mundial, y generalmente son secundarias a patologías oculares o sistémicas; es decir, la discapacidad visual y la ceguera en los adultos trata más de condiciones adquiridas que de enfermedades primarias, congénitas o idiopáticas (Suárez Escudero, 2011). Aproximadamente un 90 % de la carga mundial de discapacidad visual se concentra en los países de ingresos bajos (OMS, 2014).

La OMS subdivide a la función visual en cuatro niveles:

- Visión normal.
- Discapacidad visual moderada.
- Discapacidad visual grave.
- Ceguera.

Para una persona con discapacidad visual los sentidos del tacto, oído y olfato se desarrollan mejor y más rápido, como una forma de compensación en función del sentido débil o nulo. El sentido del tacto es aquel que toma la batuta en el

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

reconocimiento del entorno y se desarrolla aún más que el oído y el olfato, ya que le permite a la persona no vidente reconocer cualidades de los objetos como, por ejemplo, forma, textura, temperatura, etc (Pauta, Vélez, & Serpa-Andrade, 2017) (Beatriz & Antúnez, 2011).

El reporte mundial 2010 de la Organización Mundial de la Salud (OMS) informa que cerca del 10 % de la población mundial posee una discapacidad (aproximadamente 650 millones de personas). La razón entre personas invidentes y personas con discapacidad visual oscila entre 4 y 6 (por una persona invidente hay, al menos, de 4 a 6 con discapacidad visual). La Organización Panamericana de la Salud (OPS), reporta que en América Latina y el Caribe por cada millón de habitantes hay 5.000 personas invidentes y 20.000 personas con discapacidad visual (Suárez Escudero, 2011).

En Colombia el número de personas con discapacidad por alteración permanente de los ojos ha aumentado pasando de 285.056 personas en el 2009 a 406.193 en 2014. Evidenciando un aumento de 42,49 % en el número de personas registradas con esta discapacidad. El incremento promedio anual es de 7,08 % desde el año 2009 al 2014 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2016).

Cuando se carece de visión y se deben leer textos es necesario emplear un código puntiforme, es decir, en relieve. Las personas ciegas y con escaso resto de visión que no pueden acceder a la información escrita mediante el sentido de la vista emplean el código Braille (Vallés, 2005) (Oyentes, Almansa, & Católica, 2008). El sistema Braille es una forma de lenguaje de lectura y escritura táctil que consiste en una matriz de puntos de tres filas, dos columnas en 64 combinaciones diferentes, que describen un carácter, un signo o un número. La matriz de puntos que generan el código Braille, en una posición inicial sin relieve, toma el nombre de “signo generador”, celdilla o cajetín, ver

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Figura 1 (Pauta et al., 2017) (Mennens, van Tichelen, François, & Engelen, 1994) (Madeira & Sousa, 1991).

⠠ a	⠠ n	⠠ #	⠠ =	⠠ \$
⠠ b	⠠ o	⠠ 1	⠠ &	⠠ %
⠠ c	⠠ p	⠠ 2	⠠ !	⠠ ?
⠠ d	⠠ q	⠠ 3	⠠)	⠠ +
⠠ e	⠠ r	⠠ 4	⠠ (⠠ -
⠠ f	⠠ s	⠠ 5	⠠]	⠠ @
⠠ g	⠠ t	⠠ 6	⠠ [⠠ ^
⠠ h	⠠ u	⠠ 7	⠠ <	⠠ _
⠠ i	⠠ v	⠠ 8	⠠ >	⠠ "
⠠ j	⠠ w	⠠ 9	⠠ :	⠠ .
⠠ k	⠠ x	⠠ 0	⠠ \	⠠ ;
⠠ l	⠠ y	⠠ '	⠠ /	⠠ space
⠠ m	⠠ z	⠠ ,	⠠ *	

Figura 1. Alfabeto en matriz de código braille (Pauta et al., 2017).

La discapacidad visual exige la determinación de un código de trabajo o lectoescritura para el aprendizaje. En el caso de los alumnos ciegos y en quienes poseen escasa percepción visual, no existe posibilidad de elección, sino que de manera inexorable el sistema puntiforme o Braille constituye el código por el cual se producirá la lectura y la escritura a través de diversos instrumentos que han ido evolucionando en los últimos años (Vallés, 2005) (Ryles, 1996) (Iberoamericano & Braille, 2010).

Se han desarrollado en los últimos años algunos dispositivos para el mismo fin, uno de ellos utiliza en su metodología el microcontrolador Peripheral Interface Controller (PIC); este es un dispositivo bimanual de lectura y escritura donde interactúan tres PIC para

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

darle conectividad y una comunicación USB- computador para la transmisión de datos. Pruebas realizadas a niños con edades comprendidas entre cinco y siete años con discapacidad visual, usaron ambas manos durante el proceso de aprendizaje. Los niños expresaron su comodidad por el dispositivo, pero no cumplen los objetivos en el proceso de aprendizaje (Duarte-Barón, Pabón, Claros, & Gil, 2016).

La implementación de un dispositivo electrónico para aprender la escritura en código braille donde el PIC es el encargado del control y la traducción de los pulsos recibidos y hacer la equivalencia entre el código Braille y el código de caracteres. Con este dispositivo se realizaron un total de diez pruebas con cinco personas en situación de discapacidad visual que se encontraban iniciando su proceso de aprendizaje de escritura Braille, donde el tiempo de autonomía en el aprendizaje inicial de escritura Braille no mostró gran variación con respecto al sistema tradicional (Hernández, Pedraza, & López, 2011).

Otro dispositivo que busca la misma finalidad se diferencia porque usa correspondencia USB para poder programar el circuito de la pantalla braille, que es asistida por una computadora para hacer el enrutamiento necesario, no cuenta con una viabilidad por la complejidad de la programación y de su montaje circuital (Ba, 2015) (Comenzando & Arduino, 2009).

Existe un trabajo en el cual combinan varios software de programación, este es un dispositivo que a través de la rotación mecánica de discos octogonales que consta de varias combinaciones de caracteres para formar y leerlas en código braille, se utiliza MATLAB el cual es un software al que se debe pagar licencia porque no es gratis. Este proporciona un valor de grado para rotar y obtener la combinación requerida de patrón de puntos en la parte superior del disco, este a su vez está comunicado con un Arduino

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

que sirve como controlador, ver Figura 2. El dispositivo de rotación mecánica de discos octogonales a pesar de permitir la formación de palabras en código braille, no presenta resultados para su validación (Premkumar, 2018).

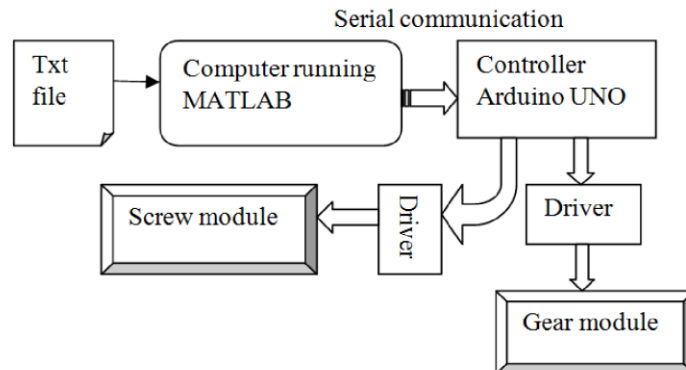


Figura 2. Diagrama de bloques dispositivo rotación discos octogonales (Premkumar, 2018).

Por último el desarrollo de un prototipo electrónico de enseñanza del sistema Braille realizado en Ecuador, basa su funcionamiento en la tarjeta Arduino y tiene una aplicación móvil para smartphone en la plataforma Android (Alvarez et al., 2018); el sistema desarrollado consto de dos etapas:

- Mecánica: planta, mecanismos y actuadores.
- Electrónica: a través de un Arduino Mega; programación de un módulo bluetooth, módulo de audio, interrupciones y funciones.

Para la verificación se realizaron pruebas con un niño de 9 años de edad que se encuentra cursando el segundo año de educación básica, el primer día el estudiante no pudo acceder al proceso de aprendizaje de una forma efectiva (Pauta et al., 2017).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

6. MARCO EXPERIMENTAL

Se propone el siguiente esquema metodológico que consta de dos etapas que se relacionan entre sí, para el diseño del prototipo de software y hardware que permitan la codificación de textos digitales a braille, inicialmente se plantea una etapa de control que relaciona todas las fases del software, ver Figura 3. Después se propone una etapa de hardware, (planta del sistema) en donde se busca el desarrollo de un prototipo compatible con diversas plataformas de control, ver Figura 4, donde se use la señal de control para generar un estímulo sensible que permita un esfuerzo mecánico correspondiente al código braille del texto digital ingresado.

CONTROL

En la etapa de control, se proponen las fases del software que permitan el desarrollo de un algoritmo capaz de recibir textos en formato digital, dando una salida de niveles lógicos de voltaje, correspondientes a los seis puntos del signo generador de braille.

FASES DEL SOFTWARE



Figura 3. Fases de control (Autor, 2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Acondicionamiento digital: previa definición de los pines del microcontrolador a usar para la conexión de los actuadores y de las variables auxiliares necesarias para el procesamiento de datos, se realiza el acondicionamiento digital de los textos recibidos por el monitor serial, configurando el monitor serial a 115200 baudios y limitando el sistema a funcionar únicamente cuando exista una señal de entrada. En este sistema las señales de entrada se conforman por strings que pueden tener formatos determinados, en esta etapa se edita el formato del string de entrada para que el sistema responda de una manera uniforme y simplificada a todos los posibles formatos que puedan tener los textos ingresados (Atmel, 2016).

Procesamiento de datos y monitoreo de etapas: en esta etapa el string procesado y dotado con el formato definido por el sistema es evaluado, se extraen variables útiles para el procesamiento y el monitoreo, como la longitud y la posición de los caracteres en el string, además se debe hacer un casting de string a char. Al realizar estos procesos es posible evidenciar la información relacionada a cada char generado a través del monitor serial.

Proponer codificación braille: el código braille consiste en una matriz 2x3 de puntos que pueden ser observados como una matriz binaria de señales digitales alto o bajo, para este trabajo se propone crear un vector de seis datos correspondientes al signo generador del código braille de cada char obtenido del procesamiento de datos para obtener seis señales booleanas que pueden activar por medio del hardware actuadores mecánicos y hacer sensible al tacto la salida del sistema (Pauta et al., 2017).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Validación de datos con la codificación: en esta etapa, los objetos char extraídos del string procesado se comparan con los datos correspondientes a los caracteres inicialmente codificados en braille, validando así la congruencia entre la señal de entrada correspondiente a un string y la información que permite su codificación en braille como un caracter válido e identificado.

Salida de control a hardware propuesto: la salida del sistema debe corresponder a seis señales booleanas ordenadas de tal manera que se puedan interpretar en un pin digital de un sistema Arduino como seis señales de encendido o apagado según corresponda al carácter leído y al código braille, así la salida es compatible con diversos hardware que representan la información mediante diferentes actuadores que pueden dar una respuesta sensible al tacto.

PLANTA

En la planta se proponen las fases del hardware que cumplan con el diseño de un prototipo de prueba que use la salida del algoritmo propuesto y la transforme en un esfuerzo mecánico sensible para la impresión de caracteres en braille.

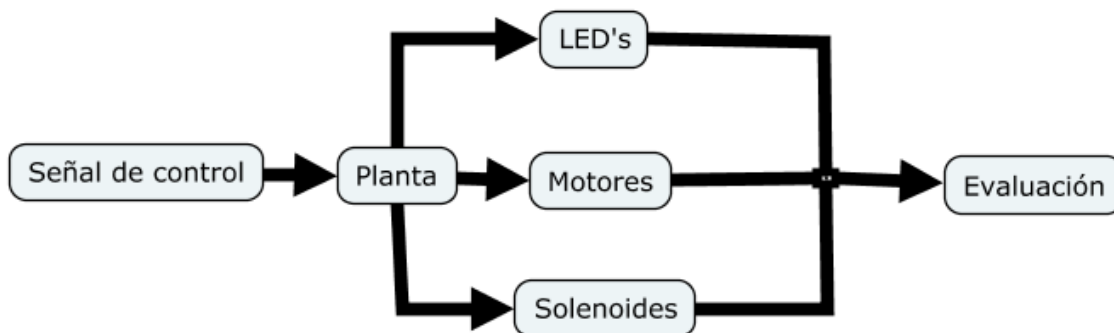


Figura 4. Fases de planta (Autor, 2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Señal de control: la entrada al sistema de hardware propuesto es la salida de la última fase del software explicado, ver Figura 3.

Planta: se define como planta el conjunto de elementos del hardware que instrumentan el sistema a controlar a través de la señal de control, en este caso se proponen tres diseños de hardware diferentes para el propósito de la codificación y posterior lectura en braille.

LED's: se propone un hardware que opere la señal de control y la manifieste a través de diodos emisores de luz (LED's), organizados de tal manera que se evidencie visualmente la codificación del string de entrada a braille. Esta planta es para un testeo de evaluación del sistema, no funcional para personas con limitación visual.

Motores: se propone un hardware que manifieste a través de una acción sensible al tacto la señal de control, para esto se usan motores vibradores dispuestos en el hardware como un cajetín Braille de tal manera que el esfuerzo mecánico de los motores haga sensible al tacto a través de vibraciones la codificación del string de entrada.

Solenoides: se propone un hardware que opere la señal de control y la manifieste por medio de solenoides de dos posiciones organizados de tal manera que se evidencie mecánicamente la codificación del string a braille a través de relieves sensibles al tacto provocados por los solenoides.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Evaluación: se propone al final del desarrollo funcional del sistema, una evaluación general de la codificación realizada con personas con limitaciones visuales y expertas en el sistema braille.

ESQUEMAS DE LOS CIRCUITOS

Para el diseño de los prototipos, se realizarán por medio de una matriz LED's (2x3), dos columnas y tres filas. Como primer paso se realiza un esquema circuital en la plataforma online EasyEDA, tomando LED's como salidas digitales, ver Figura 5. Los anteriores para hacer validación visual del código cargado.

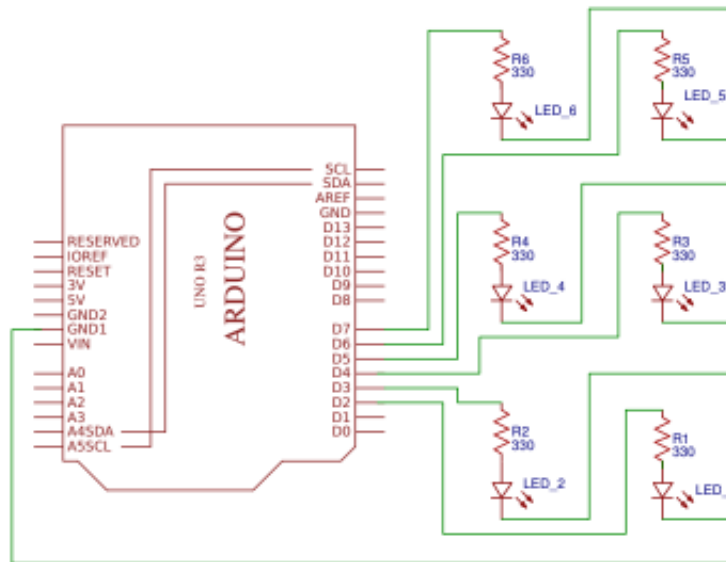


Figura 5. Esquema circuital: matriz LED's (Autor, 2018).

Como segundo paso se realiza otro esquema circuital, tomando motores vibradores como salidas digitales, ver Figura 6. Los anteriores funcionarán como medio para realizar la comunicación entre la persona con discapacidad visual y el texto traducido a código braille por medio del tacto.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

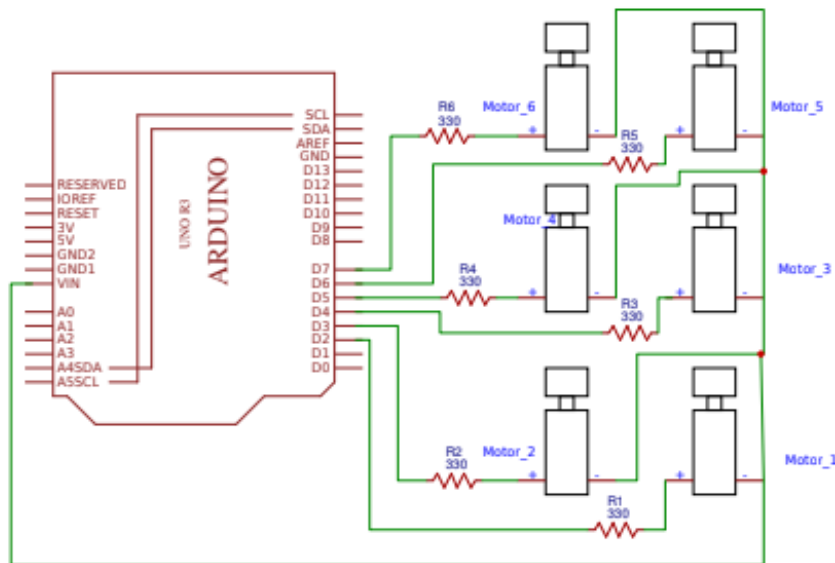


Figura 6. Esquema circuital: matriz motor vibrador (Autor, 2018).

Como tercer paso se realiza otro esquema circuital, tomando solenoides como salidas digitales, ver Figura 7. Un solenoide es una bobina que cuando se energiza, produce un campo magnético controlado a través de su centro, pueden usar la energía magnética para empujar o tirar de algo.

El esquema de la Figura 7 cuenta con un rango de complejidad por los componentes añadidos para su correcto funcionamiento, El TIP122 funciona como un interruptor, aplicando una corriente a base permite que la corriente fluya entre colector y emisor. El diodo (un 1N4007 en este caso) conectado al solenoide permite que la corriente fluya solo en una dirección. Los anteriores funcionarán como interfaz entre la persona con discapacidad visual y el texto traducido a código braille por medio del estímulo táctil generado por el pistón del solenoide que se impulsa y se retrae por el magnetismo cuyo estado se conmuta debido a la señal digital obtenida en la codificación (Ltd, n.d.).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

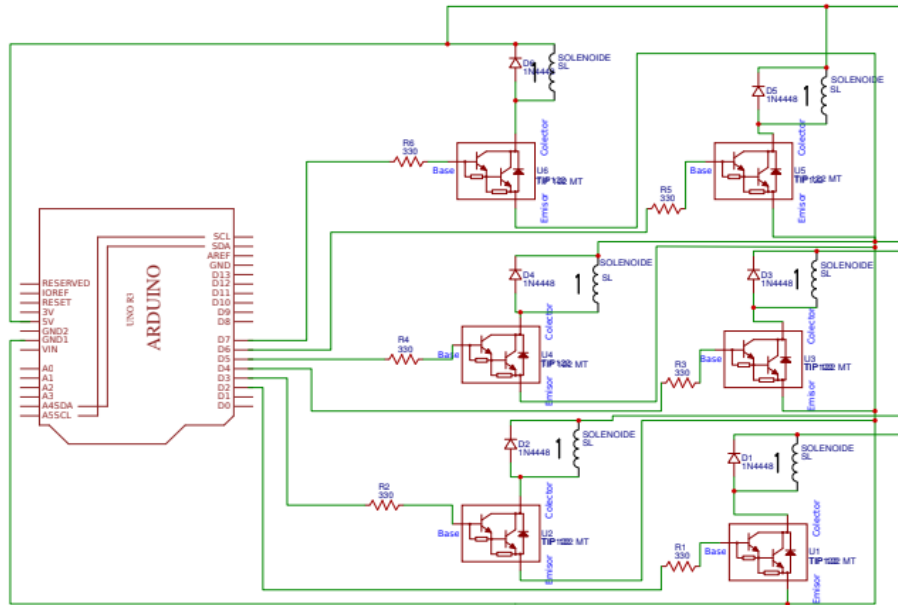


Figura 7. Esquema circuital: matriz solenoide (Autor, 2018).

La matriz de puntos que generan el código Braille, en una posición inicial sin relieve, toma el nombre de “signo generador”, celdilla o cajetín, sus medidas están estandarizadas y su altura es de 5 mm, mientras que su ancho es de 2.5 mm; tomando en cuenta los centros de las circunferencias en los extremos, ver Figura 8 (Pauta et al., 2017) (Loomis, 1981).

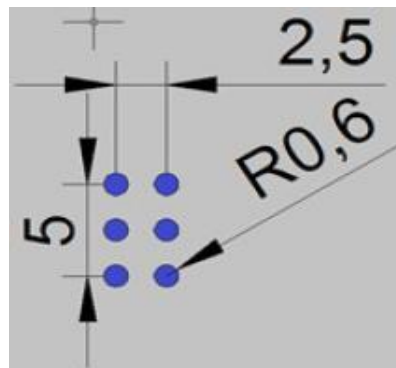


Figura 8. Medidas matriz braille (Pauta et al., 2017) (CARTONPLEX, 2001).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El software desarrollado permite el uso de otros tipos de hardware, por lo que se propone el estudio de otros posibles desarrollos mecánicos y/o adaptaciones al modelo presentado, ver Figura 9.

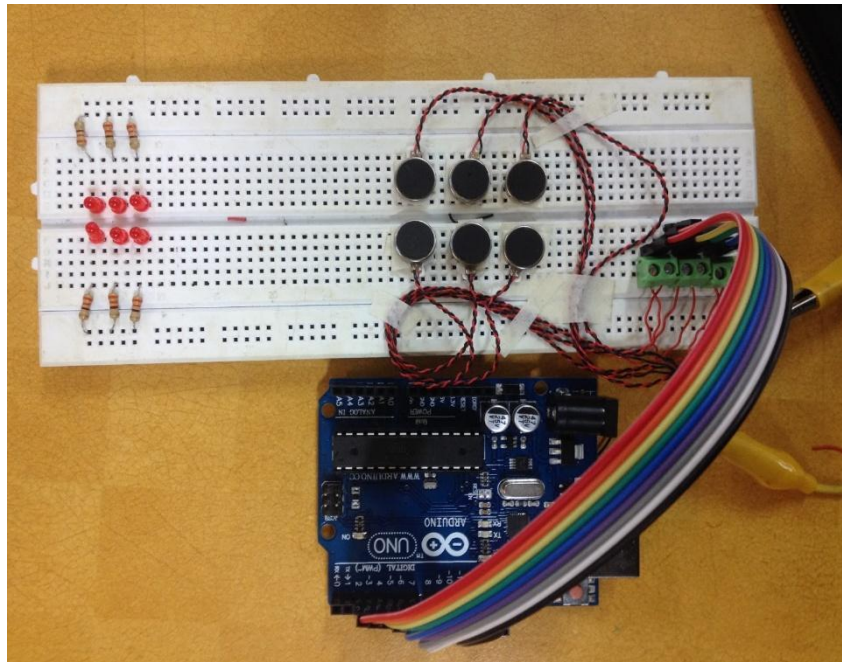


Figura 9. Matriz LED's y motores vibradores (Autor, 2018).

Este diseño permite el futuro desarrollo de otros proyectos relacionados a la inclusión debido a la reducción de costos y la facilidad de la adquisición de los materiales. Esto permite además modelar una carcasa buscando que sea cómoda, ergonómica y fácil de manejar para el lector, ver Figura 10, a partir de este desarrollo se pueden realizar estudios de adecuación para mejorar la experiencia del usuario, incluyendo diseño de producto e incorporación de funciones que puedan ser útiles para el lector, teniendo en cuenta que el dispositivo presentado da respuesta a la necesidad de un codificador de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

bajo costo y se pueden incluir adaptaciones o mejoras derivadas de las necesidades manifestadas por los usuarios.

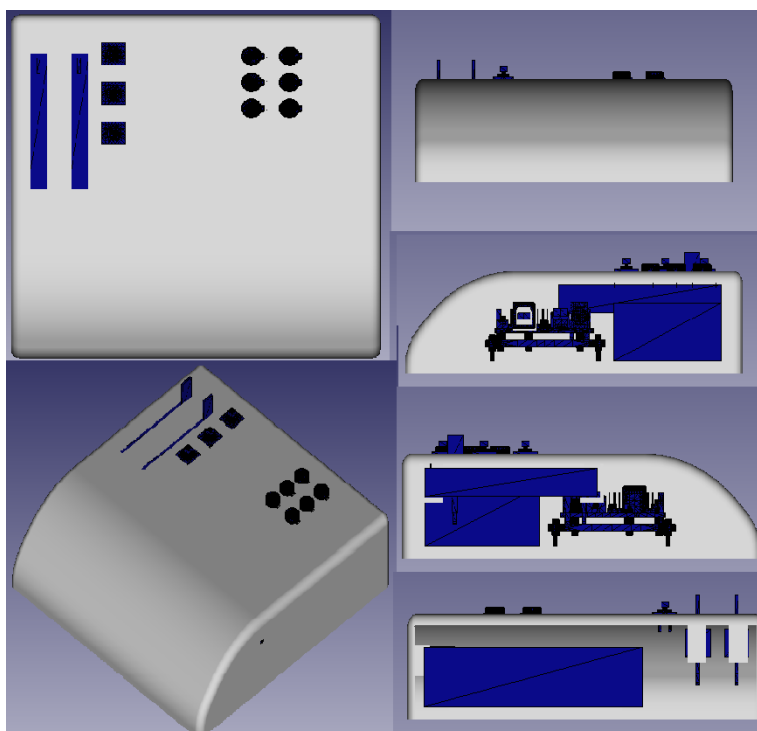


Figura 10. Modelo CAD carcasa (Autor, 2018).

Resultado experimental

Para realizar el experimento de validación de los desarrollos logrados se realizó un taller de lectura con 10 personas con discapacidad visual profunda o ceguera, usuarias del código braille, a quienes previamente se les informa sobre la actividad a realizar y acceden a participar diligenciando el documento de consentimiento informado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

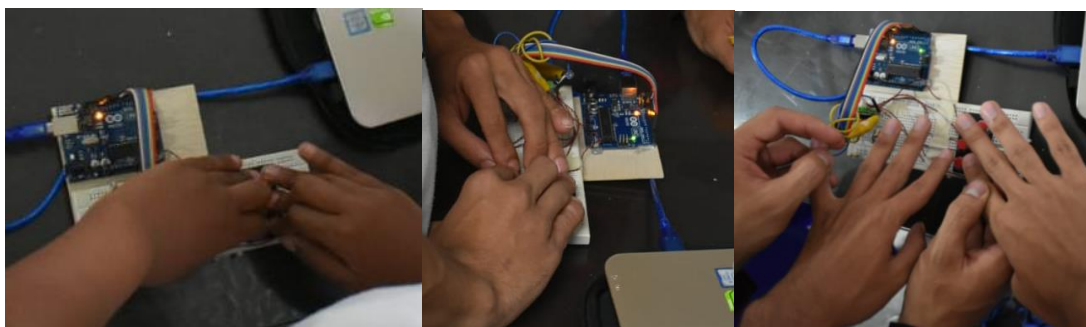
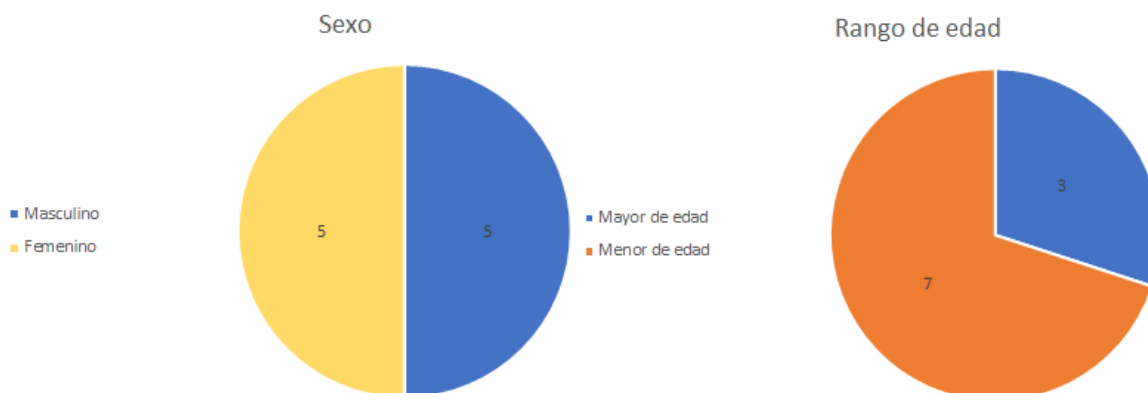


Figura 11. Fotos de la prueba con usuarios del código Braille (Autor, 2018).

La caracterización de la población que participó de la actividad se puede observar en las siguientes gráficas:



Gráfica 1. Sexo y rango de edad (Autor, 2018).

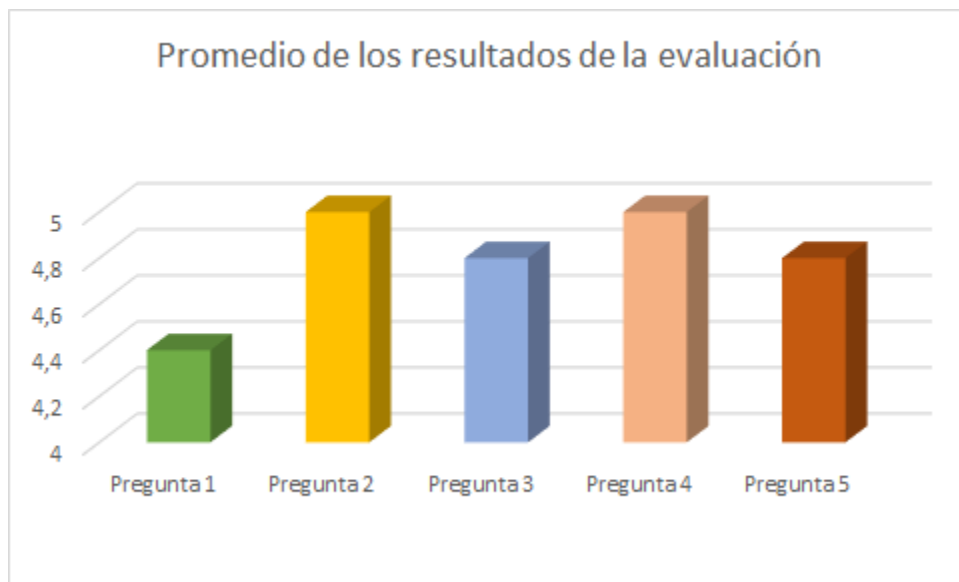
La prueba que se realizó consistió en darle uso al prototipo del dispositivo, previa explicación del funcionamiento, se realizaron unos ciclos de lectura de palabras y frases, posterior a la actividad se realizó el registro de la comparación del mensaje que estaba en

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

el dispositivo y el mensaje leído por los usuarios del código braille dando como resultado que todas fueron leídas correctamente sin excepción, al finalizar se realizó una encuesta sobre la experiencia de los usuarios consistente en las siguientes 5 preguntas:

- 1) ¿Cómo considera que es su nivel de lectura en código Braille?
- 2) ¿Cómo califica la codificación del texto a código braille lograda con el dispositivo?
- 3) ¿Qué calificación le otorga a la legibilidad de las letras?
- 4) ¿Cómo considera el funcionamiento general del dispositivo?
- 5) ¿Cómo califica la prueba realizada?

Calificadas de 1 a 5 siendo 1 (muy malo), 2 (malo), 3 (regular), 4 (bueno), 5 (excelente), obteniendo los siguientes resultados promedio:



Gráfica 2. Promedio de los resultados de la evaluación (Autor, 2018).

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

8. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Como resultado de la investigación presentada, es posible concluir que el diseño del dispositivo codificador de textos digitales a código braille es compatible con diferentes tipos de actuadores booleanos y puede formar el signo generador a partir de la señal obtenida del proceso de acondicionamiento digital, que al ser desarrollado usando el software y hardware libre de Arduino reduce los costos de producción y mantenimiento significativamente.
- Los resultados presentados por el proceso de acondicionamiento digital y en general de la etapa del software son óptimos, en términos de velocidad, precisión y exactitud en la codificación.
- Los resultados de la evaluación prueban que los hardware diseñados realizan un estímulo sensible adecuado para la correcta interpretación del código braille.
- Las pruebas realizadas con la población arrojan resultados prometedores por lo que se recomienda como trabajo futuro realizar estudios de diseño de producto.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

REFERENCIAS

- Alvarez, C., Podoliako, C., Paul, J., Padilla, B., Alvarez, C., & Podoliako, C. (2018). Iris : Mensajería instantánea para personas con ceguera en dispositivos móviles con pantalla táctil, 18–19.
- Americanos, E., Unidas, N., Sostenible, D., Diplom, C., Internacional, A., Pablo, S., & Inclusiva, S. V. (2016). Unión latinoamericana de ciegos, 13–14.
- Atmel. (2016). ATmega328 / P. AVR *Microcontrollers*, 441–442. <https://doi.org/10.1104/pp.108.130294>
- Ba, F. (2015). Electronic and Computer-Assisted Refreshable Braille Display Developed for Visually Impaired Individuals. *International Journal of Medical, Health, Pharmaceutical and Biomedical Engineering*, 9(1), 23–26.
- Beatriz, P., & Antúnez, C. (2011). Ayudas Técnicas Utilizadas Con El Alumnado Con Discapacidad Visual, 39–47.
- CARTONPLEX. (2001). TEXTOS EN BRAILLE EN ENVASES, 10.
- Ciegas, L. A. S. P., Discapacidad, C. O. N., Con, V. O., Dificultades, O., Acceder, P., & Texto, A. L. (2013). Conferencia Diplomática sobre la conclusión de un tratado que facilite a las personas con discapacidad visual y a las personas con dificultad para acceder al texto impreso el acceso a las obras publicadas, 1–12.
- Comenzando, P., & Arduino, Q. (2009). Hardware y cable USB Especificaciones técnicas. *Universidad de Cádiz*, 1–7. Retrieved from http://www.uca.es/recursos/doc/Unidades/Unidad_Innovacion/Innovacion_Docente/ANEXO_S_2011_2012/22232441_310201212102.pdf
- Duarte-Barón, K., Pabón, J. X., Claros, R., & Gil, J. J. (2016). Diseño y construcción de un dispositivo para facilitar el aprendizaje del sistema de lectoescritura Braille. *Revista Ingeniería y Competitividad*, 18(1), 77–90.
- Egea García, C., & Sánchez Sarabia, A. (2001). Clasificaciones de la OMS sobre discapacidad. *Murcia*, 15–30. <https://doi.org/10.1590/S1135-57271997000200004>
- Gavia Alejandro. (2017). Ley estatutaria 1618 de 2013 Minsalud. *Minsalud*, 2013(febrero 27), 41.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Retrieved from

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/documento-balance-1618-2013-240517.pdf>

Genaidy, A. M., Al-Shedi, A. A., & Shell, R. L. (1993). Ergonomic risk assessment: preliminary guidelines for analysis of repetition, force and posture. *Journal of Human Ergology*, 22(1), 45–55.

Hernández, C., Pedraza, L. F., & López, D. (2011). Dispositivo tecnológico para la optimización del tiempo de aprendizaje del lenguaje Braille en personas invidentes. *Revista de Salud Pública*, 13(5), 865–873. <https://doi.org/10.1590/S0124-00642011000500015>

Iberoamericano, C., & Braille, D. E. L. (2010). Consejo iberoamericano del braille, 3–4.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España. (2015). *Factores de riesgo del trabajo repetitivo*.

Loomis, J. M. (1981). On the tangibility of letters and braille. *Perception & Psychophysics*, 29(1), 37–46. <https://doi.org/10.3758/BF03198838>

Ltd, S. C. (n.d.). Solenoids, 5–6.

Madeira, M. D., & Sousa, N. (1991). Representation of braille characters in human nerve fibres. *Camera*, 537–545.

Mennens, J., van Tichelen, L., François, G., & Engelen, J. J. (1994). Optical Recognition of Braille Writing Using Standard Equipment. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 2(4), 207–212. <https://doi.org/10.1109/86.340878>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2016). Análisis de Situación de Salud Visual en Colombia. *Convenio 519 Del 2015*, 49–56. Retrieved from <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ENT/asis-salud-visual-colombia-2016.pdf>

Muñoz Quintero, L. (2010). Acercamiento del discapacitado visual al espacio de exhibición, 1–93.

OMS. (2014). Ceguera y Discapacidad Visual, 281–282. Retrieved from <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>

Oyentes, L., Almansa, A., & Católica, U. (2008). CARACTERIZACIÓN DE LOS LECTORES SORDOS : UN ESTUDIO COMPARATIVO CON LOS BUENOS CARACTERIZACIÓN DE LOS LECTORES SORDOS : UN ESTUDIO LECTORES OYENTES, 4.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Pauta, J. A. A., Vélez, E. P., & Serpa-Andrade, L. (2017). Braille teaching electronic prototype. 2016 *IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing, ROPEC 2016*, (Ropec). <https://doi.org/10.1109/ROPEC.2016.7830573>

Preliminares, T., & Antecedentes, O. G. Y. (1997). Arduino, 3–8.

Premkumar, T. (2018). Braille display by rotating multi-octagonal segment. In *2017 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies, i-PACT 2017* (Vol. 2017–Janua, pp. 1–4). <https://doi.org/10.1109/IPACT.2017.8244896>

Ryles, R. (1996). The Impact of Braille Reading Skills on Employment, Income, Education, and Reading Habits. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, *90*, 219–226. <https://doi.org/Article>

Suárez Escudero, J. C. (2011). Discapacidad visual y ceguera en el adulto: Revisión de tema. *Medicina U.P.B.*, *30*(2), 170–180. Retrieved from <https://revistas.upb.edu.co/index.php/Medicina/article/download/924/834>

Vallés, A. (2005). Comprensión lectora y procesos psicológicos. *Liberabit*, *11*, 49–61.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

APÉNDICE

Apéndice A: Programa codificador de textos digitales a código braille.

Apéndice B: CAD interfaz usuario-maquina.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

FIRMA ESTUDIANTES _____

FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES ___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01- 27

ACTA NO. _____
FECHA ENTREGA: _____