



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA**  
**BRAILLE DE BAJO COSTO, UTILIZANDO**  
**PLATAFORMA HARDWARE DE CÓDIGO ABIERTO**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:  
**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**AUTOR:** CRISTHIAN PATRICIO VINUEZA ESCOBAR  
**TUTOR:** ING. FRANKLIN GEOVANNI MORENO MONTENEGRO

Riobamba – Ecuador

2017

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA BRAILLE DE BAJO COSTO, UTILIZANDO PLATAFORMA DE CÓDIGO ABIERTO”, de responsabilidad del señor CRISTHIAN PATRICIO VINUEZA ESCOBAR, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Washington Luna		
<b>DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA</b>	.....	.....
Ing. Freddy Chávez		
<b>DIRECTOR (E) DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES</b>	.....	.....
Ing. Franklin Moreno		
<b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	.....	.....
Ing. Henry Vallejo		
<b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	.....	.....

Yo, Cristhian Patricio Vinueza Escobar soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados, expuestos en este Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

Cristhian Patricio Vinueza Escobar

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a mis padres, José Vicente y Susana, que me han apoyado durante mi vida estudiantil y que han confiado en mí siempre, y gracias a ellos he tenido la oportunidad de estudiar esta carrera y llegar a ser un profesional, gracias por todo el apoyo que me han brindado. A mi hermano Paúl que aunque no está presente, lo siento en mi corazón, y gracias a él, tuve la fuerza de llegar a conseguir todas las metas que me proponga. De una manera especial, también quiero dedicarle este proyecto a mi Madre Dolorosa, por llenarme de fuerzas y quitarme tantos obstáculos que se me presentaron durante la elaboración del presente trabajo, y por no abandonarme nunca.

Cristhian

## **AGRADECIMIENTO**

De corazón agradezco a mis padres por ser mi fortaleza y las personas que en todo momento creyeron en mí y nunca me abandonaron. También quiero agradecer a Dios, porque él me dio el valor y las fuerzas para culminar este proyecto. Al Lic. Miguel Gavilanes y a la Ing. Soraya Ramos por brindarme su colaboración a lo largo de este trabajo. Finalmente, a todos los profesores de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de una manera especial, a los de la Escuela de Electrónica, por ser fuente de enseñanza y aprendizaje, y formar Ingenieros Emprendedores con ganas de ayudar a los demás.

Cristhian

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN .....	21
<b>CAPITULO I</b>	
<b>1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....</b>	<b>25</b>
1.1 <b>Historia de la enseñanza de los ciegos .....</b>	<b>25</b>
1.1.1 <i>Historia del braille .....</i>	<i>25</i>
1.1.2 <i>¿Cómo nació el sistema braille? .....</i>	<i>25</i>
1.1.3 <i>Breve síntesis biográfica de Louis Braille .....</i>	<i>26</i>
1.1.4 <i>Importancia del sistema braille.....</i>	<i>29</i>
1.1.5 <i>Sistema Barbier de La Serre .....</i>	<i>30</i>
1.2 <b>Sistema braille.....</b>	<b>32</b>
1.2.1 <i>Alfabeto .....</i>	<i>33</i>
1.2.2 <i>Vocales tildadas.....</i>	<i>33</i>
1.2.3 <i>Signos de función .....</i>	<i>34</i>
1.2.4 <i>Signos de puntuación .....</i>	<i>35</i>
1.2.5 <i>Números cardinales.....</i>	<i>35</i>
1.2.6 <i>Parámetros dimensionales de los caracteres del sistema braille .....</i>	<i>36</i>
1.3 <b>Impresoras braille comerciales .....</b>	<b>38</b>
1.3.1 <i>Index Basic D-V5.....</i>	<i>40</i>
1.3.2 <i>Index Everest D-V5.....</i>	<i>40</i>
1.3.3 <i>Impacto Advanced.....</i>	<i>41</i>
1.4 <b>Microcontroladores.....</b>	<b>42</b>
1.4.1 <i>Definición.....</i>	<i>42</i>
1.4.2 <i>Estructura interna de un microcontrolador .....</i>	<i>43</i>
1.4.2.1 <i>Unidad central de proceso (CPU) .....</i>	<i>43</i>
1.4.2.2 <i>Memoria .....</i>	<i>43</i>
1.4.2.3 <i>Unidades de entrada y salida.....</i>	<i>44</i>

1.4.3	<i>Familias AVR y PIC</i>	44
1.4.4	<i>ATmega</i>	44
1.4.5	<i>Arduino</i>	45
1.4.6	<i>Actuadores eléctricos</i>	46
1.4.7	<i>Motores eléctricos</i>	46
1.4.8	<i>Motores paso a paso</i>	47
1.4.8.1	<i>Unipolares</i>	48
1.4.8.2	<i>Bipolares</i>	48
1.4.9	<i>Controlador de motor paso a paso</i>	48
1.4.10	<i>Solenoides</i>	49
1.4.10.1	<i>Solenoides lineales</i>	50
1.4.10.2	<i>Solenoides giratorios</i>	50
1.4.11	<i>Módulo reproductor de audio</i>	51
1.4.12	<i>Liquid Crystal Display</i>	51
1.5	<b>Sensores</b>	52
1.5.1	<i>Características de los sensores</i>	52
1.5.2	<i>Sensores de contacto</i>	53
1.5.3	<i>Sensores ópticos</i>	54
1.6	<b>Entorno gráfico de programación</b>	55
1.6.1	<i>Programación gráfica con LabVIEW</i>	55
1.7	<b>Interfaz de comunicación</b>	56
1.7.1	<i>Comunicación en paralelo</i>	56
1.7.2	<i>Comunicación en serie</i>	57
<b>CAPITULO II</b>		
<b>2</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>58</b>
2.1	<b>Selección de la impresora a ser modificada</b>	59
2.1.1	<i>Impresora matriz de punto</i>	59
2.1.1.1	<i>Esquema general interno de la impresora matriz de punto</i>	59
2.1.2	<i>Impresora de inyección de tinta</i>	61

2.1.2.1	<i>Esquema interno general de impresora a inyección de tinta</i> .....	62
2.1.3	<i>Descripción de la impresora seleccionada</i> .....	64
2.2	<b>Selección de componentes</b> .....	65
2.2.1	<i>Selección del motor paso a paso para mover el carrete</i> .....	65
2.2.2	<i>Selección de la bobina electromagnética (solenoides)</i> .....	66
2.2.3	<i>Selección de sensores</i> .....	67
2.2.4	<i>Selección de los drivers para los motores paso a paso</i> .....	67
2.2.5	<i>Selección del LCD</i> .....	69
2.2.6	<i>Selección del reproductor de audio</i> .....	69
2.2.7	<i>Selección de elementos para controlar el solenoide</i> .....	70
2.2.8	<i>Señales de entrada y salida requeridas</i> .....	71
2.2.9	<i>Selección del microcontrolador</i> .....	71
2.2.10	<i>Selección de las fuentes de alimentación</i> .....	73
2.3	<b>Diseño electrónico del sistema</b> .....	74
2.3.1	<i>Diseño del circuito para controlar el solenoide</i> .....	74
2.3.2	<i>Diseño del circuito de control</i> .....	76
2.3.3	<i>Diseño de circuitos extras</i> .....	79
2.4	<b>Integración de los componentes electrónicos</b> .....	80
2.4.1	<i>Ubicación del motor paso a paso para mover el carrete</i> .....	80
2.4.2	<i>Ubicación del solenoide</i> .....	81
2.4.3	<i>Ubicación de los sensores</i> .....	81
2.4.4	<i>Implementación y ubicación de un molde para realizar el punto Braille</i> .....	82
2.4.5	<i>Ubicación de elementos restantes</i> .....	83
2.5	<b>Reproducción de voz</b> .....	84
2.6	<b>Programación de la interfaz de usuario</b> .....	86
2.6.1	<i>Pantalla principal</i> .....	86
2.6.2	<i>Esquema interno del software</i> .....	88
2.7	<b>Programación del módulo Arduino</b> .....	89

### **CAPITULO III**

<b>3</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS ....</b>	<b>94</b>
3.1	<b>Funcionamiento, Pruebas y Ajustes.....</b>	<b>94</b>
3.1.1	<b><i>Pruebas Mecánicas</i> .....</b>	<b>94</b>
3.1.1.1	<i>Motores paso a paso .....</i>	94
3.1.1.2	<i>Drivers Motores .....</i>	96
3.1.1.3	<i>Solenoides .....</i>	96
3.1.2	<b><i>Pruebas de Impresión</i> .....</b>	<b>98</b>
3.1.2.1	<i>Impresión del Alfabeto Braille .....</i>	98
3.1.2.2	<i>Impresión de Números Braille .....</i>	100
3.1.2.3	<i>Impresión de Caracteres Especiales .....</i>	100
3.1.2.4	<i>Impresión de Vocales Tildadas Braille .....</i>	101
3.2	<b>Errores relativos de las Pruebas de Impresión .....</b>	<b>102</b>
3.2.1	<i>Distancia horizontal entre los centros de puntos continuos de la misma celda.....</i>	102
3.2.2	<i>Distancia vertical entre los centros de puntos continuos de la misma celda. ....</i>	104
3.2.3	<i>Distancia entre los centros de puntos idénticos de celdas contiguas .....</i>	104
3.2.4	<i>Distancia entre los centros de puntos idénticos de líneas contiguas .....</i>	105
3.2.5	<i>Diámetro de la base de los puntos.....</i>	105
3.2.6	<i>Altura mínima del relieve de los puntos .....</i>	106
3.2.7	<i>Análisis de los errores absolutos y relativos obtenidos .....</i>	106
3.3	<b>Tiempo de impresión por hoja .....</b>	<b>107</b>
3.4	<b>Costo de la Impresora Braille .....</b>	<b>108</b>
	CONCLUSIONES .....	111
	RECOMENDACIONES .....	112
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1.</b>	Parámetros braille recomendados .....	37
<b>Tabla 1-2:</b>	Características de los motores de la impresora Epson LX-300 .....	60
<b>Tabla 2-2.</b>	Características del motor a pasos de la impresora Lexmark Z615 .....	63
<b>Tabla 3-2.</b>	Componentes que se conservará de la impresora Lexmark Z615 .....	65
<b>Tabla 4-2:</b>	Características técnicas del motor paso a paso modificado .....	65
<b>Tabla 5-2:</b>	Características técnicas del solenoide seleccionado .....	66
<b>Tabla 6-2:</b>	Características técnicas de los sensores ópticos seleccionados .....	67
<b>Tabla 7-2:</b>	Características técnicas del driver Pololu A4988 .....	68
<b>Tabla 8-2:</b>	Características técnicas del puente H L298N .....	68
<b>Tabla 9-2:</b>	Características técnicas del LCD seleccionado .....	69
<b>Tabla 10-2:</b>	Características técnicas del reproductor de audio seleccionado .....	70
<b>Tabla 11-2:</b>	Especificaciones técnicas del optoacoplador 4N25 .....	70
<b>Tabla 12-2:</b>	Especificaciones técnicas del MOSFET IRFZ44N .....	71
<b>Tabla 13-2:</b>	Señales de entrada y salida del sistema .....	71
<b>Tabla 14-2:</b>	Características del módulo Arduino Mega seleccionado .....	72
<b>Tabla 15-2:</b>	Características técnicas de la fuente ATX .....	73
<b>Tabla 16-2:</b>	Características técnicas de la fuente de 24VDC .....	74
<b>Tabla 17-2:</b>	Ciclo de trabajo del solenoide .....	75
<b>Tabla 18-2:</b>	Relación de pines de Arduino Mega 2560 con los diferentes componentes. ....	76
<b>Tabla 19-2:</b>	Mensajes del reproductor de voz .....	86
<b>Tabla 1-3:</b>	Relación de pasos por distancia .....	95
<b>Tabla 2-3:</b>	Relación tensión - fuerza del solenoide .....	96
<b>Tabla 3-3:</b>	Relación Fuerza – PWM .....	97
<b>Tabla 4-3.</b>	Parámetros braille recomendados .....	102
<b>Tabla 5-3.</b>	Errores absolutos y relativos de la distancia “a” .....	103
<b>Tabla 6-3.</b>	Errores absolutos y relativos de la distancia “b” .....	104
<b>Tabla 7-3.</b>	Errores absolutos y relativos de la distancia “c” .....	104
<b>Tabla 8-3.</b>	Errores absolutos y relativos de la distancia “d” .....	105
<b>Tabla 9-3.</b>	Errores absolutos y relativos del diámetro del punto “e” .....	105
<b>Tabla 10-3.</b>	Errores absolutos y relativos de la altura del punto “f” .....	106
<b>Tabla 11-3.</b>	Errores absolutos y relativos más altos en relación a las distancias .....	106
<b>Tabla 12-3.</b>	Tiempos de Impresión .....	107
<b>Tabla 13-3.</b>	Costo de los materiales que forman parte de la Impresora Braille .....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b> Louis Braille .....	27
<b>Figura 2-1.</b> Sistema Barbier .....	31
<b>Figura 3-1.</b> Signo generador del braille .....	32
<b>Figura 4-1.</b> Signo generador con los puntos numerados .....	32
<b>Figura 5-1.</b> Alfabeto braille .....	33
<b>Figura 6-1.</b> Vocales tildadas .....	34
<b>Figura 7-1.</b> Signo de mayúscula .....	34
<b>Figura 8-1.</b> Palabra con su primera letra en mayúscula .....	34
<b>Figura 9-1.</b> Signos de puntuación .....	35
<b>Figura 10-1.</b> Signo antecesor de un número .....	35
<b>Figura 11-1.</b> Números cardinales .....	36
<b>Figura 12-1.</b> Ejemplo 1. Números cardinales .....	36
<b>Figura 13-1.</b> Ejemplo 2. Números cardinales .....	36
<b>Figura 14-1.</b> Parámetros dimensionales del sistema braille .....	37
<b>Figura 15-1.</b> Index Basic D-V5 .....	40
<b>Figura 16-1.</b> Index Basic-D V4 .....	41
<b>Figura 17-1.</b> Impacto Advanced .....	41
<b>Figura 18-1.</b> Arquitectura Von Neumann .....	42
<b>Figura 19-1.</b> Arquitectura Harvard .....	43
<b>Figura 20-1.</b> Estructura interna de un microcontrolador .....	43
<b>Figura 21-1.</b> Arduino .....	45
<b>Figura 22-1.</b> Motor de corriente continua .....	46
<b>Figura 23-1.</b> Motor paso a paso .....	47
<b>Figura 24-1.</b> Rotor y estator de un motor paso a paso .....	47
<b>Figura 25-1.</b> Motor paso a paso unipolar .....	48
<b>Figura 26-1.</b> Motor paso a paso bipolar .....	48
<b>Figura 27-1.</b> Líneas de campo magnético en un solenoide .....	49
<b>Figura 28-1.</b> Solenoide lineal .....	50
<b>Figura 29-1.</b> Solenoide giratorio .....	50
<b>Figura 30-1.</b> Módulo reproductor de audio .....	51
<b>Figura 31-1.</b> Liquid Crystal Display 16x2 .....	51
<b>Figura 32-1.</b> Exactitud y precisión .....	53
<b>Figura 33-1.</b> Sensor de contacto (final de carrera) .....	53
<b>Figura 34-1.</b> Sensor óptico con transmisión directa .....	54

<b>Figura 35-1.</b> Sensor óptico con transmisión reflexiva .....	55
<b>Figura 36-1.</b> Sensor óptico con transmisión difusa.....	55
<b>Figura 37-1.</b> Comunicación en paralelo .....	57
<b>Figura 38-1.</b> Comunicación en serie.....	57
<b>Figura 39-1.</b> Cabezal de impresora matriz de punto .....	59
<b>Figura 1-2.</b> Esquema interno de una impresora matriz de punto .....	59
<b>Figura 2-2.</b> Impresora Epson LX-300 .....	60
<b>Figura 3-2.</b> Cabezal de impresora de inyección de tinta .....	61
<b>Figura 4-2.</b> Esquema interno de impresora a inyección de tinta .....	62
<b>Figura 5-2.</b> Impresora Lexmark Z615 .....	62
<b>Figura 6-2.</b> Vista superior de la impresora Z615 .....	64
<b>Figura 7-2.</b> Vista frontal de la impresora Z615 .....	64
<b>Figura 8-2.</b> Motor paso a paso STP-42D201-37.....	66
<b>Figura 9-2.</b> Solenoide seleccionado.....	66
<b>Figura 10-2.</b> Driver A4988.....	67
<b>Figura 11-2.</b> Puente H L298N .....	68
<b>Figura 12-2.</b> Decodificador WTV020-SD .....	69
<b>Figura 13-2.</b> Arduino Mega 2560.....	72
<b>Figura 14-2.</b> Diagrama Arduino Mega 2560 .....	73
<b>Figura 15-2.</b> Circuito de potencia para el solenoide .....	75
<b>Figura 16-2.</b> Diseño esquemático del circuito de control .....	79
<b>Figura 17-2.</b> Circuito de control en placa .....	79
<b>Figura 18-2.</b> Diseño esquemático del circuito para el sensor QRD1114 .....	79
<b>Figura 19-2.</b> Circuitos en placa de los sensores QRD1114.....	80
<b>Figura 20-2.</b> Ubicación del motor paso a paso .....	80
<b>Figura 21-2.</b> Ubicación del solenoide.....	81
<b>Figura 22-2.</b> Ubicación de sensores (vista superior).....	81
<b>Figura 23-2.</b> Ubicación de sensores (vista frontal) .....	82
<b>Figura 24-2.</b> Molde de aluminio con el signo generador Braille .....	82
<b>Figura 25-2.</b> Ubicación del molde de aluminio .....	82
<b>Figura 26-2.</b> Ubicación de los elementos en la estructura de acrílico .....	83
<b>Figura 27-2.</b> Estructura en acrílico instalados los elementos .....	83
<b>Figura 28-2.</b> Impresora Braille .....	84
<b>Figura 29-2.</b> Pantalla principal de Loquendo TTS Director .....	85
<b>Figura 30-2.</b> Pantalla principal de USB Recorder .....	85
<b>Figura 31-2.</b> Pantalla principal de la interfaz de usuario .....	87
<b>Figura 32-2.</b> Documento previo a la impresión .....	87

<b>Figura 33-2.</b> Entorno de desarrollo (IDE) de Arduino.....	89
<b>Figura 1-3.</b> Prueba de desplazamiento generado por los motores.....	95
<b>Figura 2-3.</b> Prueba del punto en relieve con desplazamiento por pasos.....	95
<b>Figura 3-3.</b> Prueba del punto en relieve con desplazamiento por sensor encoder.....	96
<b>Figura 4-3.</b> Punto en relieve energizando el solenoide a 24 VDC.....	97
<b>Figura 5-3.</b> Punto en relieve energizando el solenoide a 36 VDC.....	97
<b>Figura 6-3.</b> Punto en relieve energizando el solenoide a 34 VDC.....	98
<b>Figura 7-3.</b> Archivo de texto con el alfabeto braille en minúsculas.....	98
<b>Figura 8-3.</b> Alfabeto braille en minúsculas.....	99
<b>Figura 9-3.</b> Archivo de texto con el alfabeto braille en mayúscula.....	99
<b>Figura 10-3.</b> Alfabeto braille en mayúscula.....	99
<b>Figura 11-3.</b> Archivo de texto con números braille.....	100
<b>Figura 12-3.</b> Números braille.....	100
<b>Figura 13-3.</b> Archivo de texto con signos de puntuación.....	101
<b>Figura 14-3.</b> Signos de puntuación braille.....	101
<b>Figura 15-3.</b> Vocales tildadas braille.....	101
<b>Figura 16-3.</b> Archivo de texto con vocales tildadas.....	102
<b>Figura 17-3.</b> Calibrador universal estándar.....	103
<b>Figura 18-3.</b> Impresión del signo generador.....	107

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2.</b> Etapas para la construcción impresora braille .....	58
<b>Gráfico 2-2.</b> Ventajas y desventajas de la impresora Epson LX-300.....	61
<b>Gráfico 3-2.</b> Ventajas y desventajas de la impresora Lexmark Z615.....	63
<b>Gráfico 4-2.</b> Algoritmo de programación del software .....	88
<b>Gráfico 5-2.</b> Algoritmo de Arduino al pulsar el botón “HABILITAR” .....	90
<b>Gráfico 6-2.</b> Algoritmo de Arduino al pulsar el botón “IMPRIMIR” .....	91
<b>Gráfico 7-2.</b> Algoritmo de Arduino imprimiendo la palabra “hola” .....	91

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-2.</b> Resistencia de entrada al optoacoplador .....	75
<b>Ecuación 1-3:</b> Distancia que genera el motor por paso.....	94

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

°	Grados
°C	Grados Celsius
<b>A</b>	Amperio
<b>ATX</b>	Advanced Technology Extended
<b>cm</b>	Centímetro
<b>DAC</b>	Conversor digital a analógico
<b>DC</b>	Corriente Directa
<b>E/S</b>	Entradas/Salidas
<b>g</b>	Gramos
<b>Gb</b>	Gigabytes
<b>g-cm</b>	Gramos centímetro
<b>gf</b>	Gramo Fuerza
<b>Hz</b>	Hercios
<b>Kb</b>	Kilobytes
<b>kg</b>	Kilogramos
<b>lbs</b>	Libras
<b>m N*m</b>	MiliNewton por metro
<b>mA</b>	Miliamperio
<b>max.</b>	Máximo
<b>MHz</b>	Megahercios
<b>mm</b>	Milímetros
<b>mW</b>	Miliwatts
<b>N</b>	Newton
<b>N*m</b>	Newton por metro
<b>p/v</b>	Pasos por vuelta
<b>PAP</b>	Paso a paso
<b>PC</b>	Computadora Personal
<b>PWM</b>	Modulación por Ancho de Pulsos
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>V</b>	Voltios
<b>VAC</b>	Voltaje de Corriente Alterna
<b>VDC</b>	Voltaje de Corriente Continua
<b>VIN</b>	Voltaje de entrada
<b>VRMS</b>	Valor Eficaz (Raíz media cuadrática)
<b>W</b>	Watts

**Ω**

Ohmios

## ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO I.** Diagrama electrónico del circuito de control del sistema.

**ANEXO II.** Manual de usuario.

## RESUMEN

A través del presente trabajo de titulación, se realizó el diseño de una impresora braille de bajo costo, utilizando plataforma de código abierto para personas con discapacidad visual, en el cantón Riobamba. Se partió de una impresora de tinta común, que al seleccionar y reemplazar componentes formaron la nueva impresora braille. Se usó una bobina electromagnética (solenoides) encargada de realizar los puntos en relieve o braille, motores paso a paso, dos drivers para los motores a pasos, un módulo reproductor de audio y una pantalla de cristal líquido (LCD) capaz de mostrar el estado de la impresora. Además se utilizó un módulo Arduino Mega que en su interior contiene un microcontrolador ATmega2560 que se encarga de recibir los caracteres del computador por medio del programa LABview, que envía información de un documento de texto (.txt), para controlar los motores que a través de los drivers ubican al cabezal en posiciones exactas, y arrastran la hoja, permitiendo así, que el solenoide realice las diferentes combinaciones de puntos en relieve para cada palabra, obteniendo un documento físico braille. Los resultados se encuentran dentro de los parámetros de medida estandarizados por el Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización (INEN): distancia horizontal entre los centros de puntos contiguos de la misma celda (2.5 mm), distancia vertical entre los centros de puntos contiguos de la misma celda (2.5 mm), distancia entre los centros de puntos idénticos de celdas contiguas (6 mm), diámetro de la base de los puntos (1.5 mm), altura mínima del relieve de los puntos (0.5 mm), obteniendo así un 98,5% de efectividad en el proceso de impresión. Se concluyó que los niños y jóvenes con discapacidad visual de nuestra provincia podrán acceder a la información escrita de documentos digitales. Se recomienda que se realicen impresiones utilizando esta impresora con la finalidad de que personas con discapacidad visual puedan acceder fácilmente al documento.

**PALABRAS CLAVES:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <ING.Y TEC. ELECTRÓNICA>, <IMPRESORA BRAILLE>, <DISCAPACIDAD VISUAL>, <MOTOR PASO A PASO [PAP]>, <BOBINA [SOLENOIDE]>, <INSTITUTO NACIONAL ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN [INEN]>, <PUNTOS EN RELIEVE>, <RIOBAMBA [CANTÓN]>

## **ABSTRACT**

Through the present research, It was designed a low-cost braille printer, using the open source platform for visually impaired people in the canton of Riobamba. It started from a common ink printer, that when selecting and replacing components formed the new braille printer. It was used an electromagnetic coil (solenoid in charge of making relief points or braille, stepper motors, two drivers for stepper motors, an audio player module and a liquid crystal display (LCD) to show the state of the printer. It was used an Arduino Mega model that it contains an ATmega 2560 microcontroller, which It is in charge in receiving the computer characters through the LABview program, which It sends information from a text document (.txt), to control the Engines that through the drivers locate the head in exact positions, and drag the sheet, allowing the solenoid to perform different combinations of relief points for each word, obtaining a physical document braille. The results are within the measurement parameters standardized by Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización (INEN): horizontal distance between the centers of contiguous points of the same cell (2.5 mm), vertical distance between the centers of contiguous points of the same cell (2.5 mm), distance between centers of identical points of contiguous cells (6mm), diameter of base of points (1.5 mm), minimum height of points relief (0.5 mm), obtaining 99 % of Effectiveness in the printing process. It was concluded that the children and young people with visual disabilities in our province can access written information of digital documents. It is recommended that prints be made using this printer do that visually impaired people can easily access the document.

**KEYWORDS:** <TECHNOLOGY AND SCIENCES OF ENGINEERING>, <ING. AND TEC. ELECTRÓNICS>, <BRAILLE PRINTER>, <VISUAL DISABILITY>, <ENGINE STEP BY STEP [PAP]>, <COIL [SOLENOID]>, <INSTITUTO NACIONAL ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN [INEN]>, <POINTS IN RELIEF>, <RIOBAMBA [CANTÓN]>

# INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

La ceguera es una enfermedad permanente que se puede producir en personas adultas o en casos especiales, aparecer con el nacimiento de un niño. En el mundo se produce un caso de ceguera en personas adultas cada diez segundos, por problemas diabéticos o accidentes, y cada minuto cuando nace un infante. La mayoría de estas personas son de recursos económicos bajos, y tienen que adaptarse a la sociedad de alguna manera. Con las nuevas tecnologías, las personas con discapacidad visual se han esforzado para superar obstáculos, que no les permitían interactuar con el medio social y laboral.

Rodrigo Carrasco en el año 2004, estudiante de la UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TEMUCO DE CHILE, elaboró un proyecto donde el objetivo de su tesis, era investigar sobre la accesibilidad y la importancia que tiene el desarrollo tecnológico para todas las personas, ya que no solo va en beneficio de las personas con discapacidad visual, sino también de aquellos usuarios que no la presentan. Para ello elaboró una pequeña guía de sugerencias y normas que permita servir de apoyo a diseñadores y desarrolladores en sus futuras aplicaciones web. Dentro de esta guía se presenta un tipo de metodología proyectiva, pero al mismo tiempo descriptiva, puesto que presenta una iniciativa para resaltar la importancia que tiene el desarrollo de páginas o sitios accesibles para personas que presentan una discapacidad.

Juan Pablo Chiconi de la UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA NACIONAL SAN NICOLÁS EN BUENOS AIRES – ARGENTINA, realizó una impresora braille, a partir de una impresora matriz de punto, donde su objetivo principal, es poder destacar la actividad que vincula diferentes especialidades de la rama técnica y tecnológica, con la parte social. Se destaca de este proyecto la programación del microcontrolador, puesto que se explica detalladamente y con claridad el lenguaje y lógica de programación utilizado. Se toma en cuenta de este proyecto los materiales empleados para la realización de la tesis, los cuales pueden ser en su mayoría usados y tomados como ejemplo, así como también la forma y pasos de la modificación de la ingeniería de fábrica de una impresora matriz de punto que comercialmente no es apta para las tareas que se le desea asignar.

El desarrollo de este trabajo se enfoca en la realidad de los discapacitados visuales de nuestro país, donde se les hace difícil encontrar una máquina de bajo costo que permita imprimir código braille. En el caso de un niño ciego, de pocos recursos económicos que está en el proceso de aprendizaje de lectura, se le hace difícil adquirir una impresora braille comercial porque éstas

superan los 4.000 dólares estadounidenses en Europa y en América del Norte (dependiendo de las diferentes funciones que la máquina disponga), como consecuencia, el niño va a depender siempre de una persona que esté constantemente hablando en voz alta y repitiendo un texto, para que él lo memorice o lo escriba manualmente, perdiendo así, tiempo y además, la importancia de la lectura. En el caso de que quiera obtener información de la web o de un archivo digital de texto, obligatoriamente necesitará de un software que lo transforme en audio, éste software podría llegar a costar hasta 1000 dólares americanos, de acuerdo a la licencia que se escoja.

Por lo tanto una de las premisas para mejorar esta situación es el diseñar y construir una impresora braille, de bajo costo y de fácil uso, teniendo una mentalidad de reciclaje, por lo que se partirá de una impresora de tinta común (dañada o sin usar), adecuando los componentes necesarios para que le permita a la persona discapacitada visual, tener un documento físico braille.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

La alta inversión que significa adquirir una impresora braille, ha llevado a plantearse el diseño y la construcción de un dispositivo de este tipo con bajo costo, analizando las diferentes opciones tecnológicas de hardware y software disponibles en el medio; con el fin de obtener impresiones legibles para las personas con discapacidad visual, cumpliendo con la normativa estandarizada vigente.

- ¿Se obtendrán impresiones legibles para las personas con discapacidad visual, con normas estandarizadas?
- ¿Qué tipo de tecnología se deberá emplear para la implementación de la impresora?
- ¿Qué plataforma software se utilizará para la comunicación entre el usuario y la impresora?
- A través de la tecnología empleada ¿se obtendrá una impresora de bajo costo?

## **JUSTIFICACIÓN**

Mediante el diseño y la ejecución de este proyecto se buscó que las personas con discapacidad visual del país puedan tener acceso a imprimir cualquier documento en braille, logrando así, la interacción, el aprendizaje y el interés por la lectura, especialmente de los niños que son quienes más necesitan de una impresora que cumpla con características que coadyuven satisfacer sus necesidades.

Según la experiencia previa y los conocimientos adquiridos a lo largo del estudio de la carrera se eligió el uso de un microcontrolador Arduino como punto principal de este trabajo. Este microcontrolador posee múltiples ventajas: una plataforma de código abierto (open-source) basado en hardware y software flexible y fácil de usar, que está creado para cualquier interesado en el diseño de objetos o entornos interactivos; tiene la capacidad para recibir señales de entrada de una gran variedad de sensores; puede comunicarse con software en ejecución en un ordenador, el software se puede descargar gratuitamente y cuenta con un entorno de programación simple y claro.

Se emplearon dos motores paso a paso ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieran movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique en sus bobinas. También poseen la habilidad de poderse quedar enclavados en una posición o totalmente libres. Ellos serán capaces de mover el carrito de impresión y el rodillo para que la hoja avance. Para que los motores puedan funcionar se utilizó drivers como es el A4988 y un puente H L298N. El driver A4988 fabricado por la empresa Pololu, controlará el motor del carrito. Dispone de una configuración capaz de mover hasta 1/16 de paso por pulso. El puente H permitirá el movimiento del motor que interactúa con el rodillo a la hora de arrastrar la hoja.

El elemento punzón es un componente muy importante en este proyecto, se utilizó un solenoide (bobina de alambre de cobre), con forma cilíndrica larga, que al transportar una corriente se transforma en un imán, de modo que un núcleo móvil, puede ser atraído a la bobina cuando fluye esa corriente. Los solenoides lineales tienen un émbolo, el cual, una vez energizado, se empuja el émbolo hacia fuera de la caja. Muchos tienen un retorno con resorte para devolver el émbolo a la posición inicial. Los solenoides lineales son dispositivos menos complejos y son significativamente menos costosos.

Dentro de los sensores, se implementaron QRD's que se componen básicamente, de un emisor de LED infrarrojo (luz que no es visible a simple vista) y un fototransistor responsable por filtrar la luz natural y capturar señales de infrarrojos. Estos detectarán la presencia de papel en la bandeja de entrada y además, cuando el papel esté atrancado. También se hizo el uso de un final de carrera o sensor de contacto, encargado de posicionar el carrito al inicio antes de la impresión.

Para que la impresora pueda ser accesible al manejo por sus usuarios se instaló un parlante y un LCD (Display Liquid Crystal) que indicarán en que proceso se encuentra la impresora braille. Para la reproducción de sonido se tiene un módulo WTV020-SD que contiene en su interior una memoria SD, con algunos archivos de audio.

Se diseñó un programa en Labview, en el cual se puede cargar un archivo .txt y enviarlo carácter por carácter al Arduino para que éste lo transforme a braille y lo imprima. Labview es una interfaz de programación gráfica fácil de usar.

Con la creación de la nueva impresora braille las personas con discapacidad visual de bajos recursos económicos en especial los niños que están aprendiendo a leer, podrán adquirirla y realizar múltiples y necesarios trabajos, que con tal solo tener un archivo .txt, podrán imprimirlo, y obtener como resultado, documentos en el sistema braille, facilitando de este modo, un acceso a la información y eliminando una de las principales barreras que ha dificultado la formación académica de este sector de la población en igualdad de condiciones con los que gozan del sentido de la vista.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General:**

Diseñar y construir una impresora Braille de bajo costo, utilizando plataforma hardware de código abierto.

### **Objetivos Específicos:**

- Estudiar e investigar sobre la escritura braille, sus características y normas.
- Determinar los componentes hardware adecuados para la implementación del dispositivo.
- Elaborar una interfaz de usuario que tome un archivo de texto, y envíe los caracteres contenidos en él hacia la plataforma hardware.
- Evaluar la inversión total de la impresora con el fin de comprobar su bajo costo
- Verificar el correcto funcionamiento de la impresora braille de forma que los resultados estén acorde a la norma vigente.

# CAPÍTULO I

## 1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1 Historia de la enseñanza de los ciegos

#### 1.1.1 *Historia del braille*

Desde los albores de la humanidad, el hombre siempre procuró formas de comunicarse. Según nos cuenta la historia, primero a través de la emisión de sonidos guturales, después por medio de gestos y señas hasta llegar al don de la palabra.

Con la evolución del hombre, también llegó la escritura, forma de comunicación que se cree fue inventada en Mesopotamia actual Irak, unos 4000 años A.C. y posteriormente por los egipcios hace aproximadamente 3000 años A.C. con sus famosos jeroglíficos escritos en las grandes pirámides que se conservan intactas hasta nuestros días. El progreso de la comunicación escrita fue tan notorio y evidente hasta alcanzar su culminación con la invención de la imprenta por el alemán Johannes Gutenberg en el siglo XV de nuestra era.

Pese a todos estos avances, un importante sector de la población mundial se encontraba marginado y echado a su suerte porque simplemente no podía ver, su comunicación era oral y muy limitada, se lo trataba como un objeto y según las creencias antiguas solo servía como orador, curandero, cantor o limosnero, principalmente en la vieja Europa. Esta desigualdad comunicacional fue observada a fines del siglo XVIII por el francés Valentín Haüy, cuando vio un grupo de ciegos tocando en las calles parisinas varios instrumentos desafinados. Esto provocó en él un propósito de cambio que lo plasmó con la creación del primer instituto para ciegos del mundo, convirtiéndose así en el precursor de la inclusión de los discapacitados visuales al progreso y la superación, permitiendo que más adelante Charles Barbier y Louis Braille en las primeras décadas del siglo XIX, den las pautas que de una vez por todas y por siempre hicieran brillar la luz que paulatinamente se fue agigantando cual un niño recién nacido con ansias de volar; sí, inteligente como era, Braille aprovechó la creación del método de escritura nocturna del militar, para plasmar el más grande legado que la historia medieval les otorgó a los ciegos del mundo.

#### 1.1.2 *¿Cómo nació el sistema braille?*

En 1784, en París, el filántropo Valentín Haüy funda la primera escuela para personas ciegas “Institución Nacional de Jeunes Aveugles”.

Los procesos de enseñanza en el instituto de Haiiy se los realizaba mediante el alfabeto convencional grabado en relieve, en cobre, madera, plomo y marfil entre otros materiales. Debido a que las letras eran demasiado grandes, éstas no permitían una lectura rápida y por consiguiente su comprensión era casi nula, añadiéndose a aquello la imposibilidad de poder escribir. Sin embargo, esta fue la base para lo que vendría después con la invención del sistema braille.

Charles Barbier, un militar francés retirado había inventado una forma escrita de comunicación nocturna fonética para los soldados en guerra que consistía en palabras y frases escritas en clave a través de puntos en relieve.

Esta manera de comunicación la trasladó al instituto de Haiiy para que se buscara otra alternativa de cómo enseñar a leer y escribir a los ciegos. Un estudiante llamado Louis Braille se interesó por el tema y en silencio lo fue trabajando poco a poco hasta que en 1825 expone ante sus maestros y compañeros la primera propuesta de lo que más adelante se constituiría en el más grande legado que este gran maestro e investigador dejara a los ciegos del mundo, el sistema de lectura y escritura que lleva su nombre.

Si bien Haiiy impulsó e inició la inclusión de los ciegos a la sociedad, no podemos desconocer el valioso aporte que el capitán Barbier realizó con la invención de su sistema de escritura nocturna denominado sonografía en el cual se apoyó Braille para su genial invento.

### ***1.1.3 Breve síntesis biográfica de Louis Braille***

El insigne Louis Braille ocupa un puesto relevante que es admirado y reconocido en la historia de la tiflogía mundial. El significado del término tiflogía viene del griego *tiflos*, ciego y *logo*, tratado.

Aquí trataremos de resumir los datos más importantes de la ejemplar vida y maravillosa obra del inventor de los “seis puntos en relieve”, que abrirían las puertas de la cultura a quienes durante siglos fueron objeto de los más atroces e ignominiosos vejámenes por su condición; de esas seis estrellas que con luz propia han guiado a millones de seres por el camino del saber y la superación a nivel mundial.

(Elissalde, 1992) en su libro “un joven llamado Louis” nos relata que Louis Braille nació el miércoles 4 de enero de 1809 a las 4 de la madrugada, en la población francesa de Coupvray, un fatídico accidente ocurrido en el taller de talabartería de su padre fue la causa del infortunio que marcara su vida desde temprana edad. Louis, solo tenía 3 años cuando un día de aquellos que

nadie quisiera recordar, la travesura y la hiperactividad del niño hicieron que se clavara una lezna en su ojo derecho cuando trataba de imitar la labor de su padre al intentar realizar un hueco en un pedazo de cuero. Aunque con esta limitación iba a la escuela, su situación visual cada vez fue disminuyendo ya que al poco tiempo de suscitado el percance, paulatinamente fue perdiendo la visión en el otro ojo que se contaminó de la enfermedad del ojo accidentado ya que por las limitadas condiciones económicas de la familia no se tomaron las precauciones necesarias que pudieron haber evitado este fatal desenlace, extrayendo el ojo enfermo.

A los 10 años de edad Braille ingresa al Instituto Nacional de Ciegos de París, sin embargo, transcurridos apenas 2 años desde su llegada al instituto con tan solo 12 años, el joven Louis coincidentalmente se encontraba presente cuando Barbier presenta su propuesta de escritura nocturna al director del instituto doctor François René Pignier, gran amigo suyo, iniciándose así una nueva y prometedora etapa para los ciegos del mundo con su trabajo de investigación y creación del sistema de escritura y lectura, agregándose además que el arma causante de su desgracia (la lezna) fue la herramienta principal que el maestro convirtió en la base primordial de su maravilloso invento. La inteligencia de Braille era tal, que apenas con 16 años de edad ya fue nombrado repetidor del instituto y 3 años más tarde como profesor de música (gran ejecutor del piano y violonchelo).

Durante varios años Braille estudia y experimenta modificaciones sustanciales a la propuesta del militar y en 1825 presenta su primer ensayo, mismo que es aceptado con avidez y optimismo por sus compañeros pero rechazado por los profesores del centro. Lejos de desanimarse, continúa con su trabajo y en 1837 presenta la propuesta definitiva. A través de su sistema de lectura y escritura logró obtener 64 combinaciones incluyendo el espacio en blanco utilizado para la separación de las palabras, formadas por 6 puntos en 2 filas verticales de 3 puntos que podían ser percibidos fácilmente por las yemas de los dedos. (Elissalde, 1992)



**Figura 1-1.** Louis Braille  
**Fuente:** (Nancy Lucas Williams, 1995)

Braille decidió utilizar el sistema de grabación de los signos en relieve sobre un papel, ya utilizado anteriormente, pero usando un código alfabético distinto del latino y del griego. La escritura se realizaba mediante impresiones en relieve sobre planchas, lo cual permitía un tipo de lectura analítica y táctil a la velocidad de 125 a 175 palabras por minuto. Las matrices que diseñó no sólo representaban letras sino también los números, signos de puntuación y acentuación y algunas de las contracciones más usuales de los idiomas occidentales. (Elissalde, 1992).

Su sistema de lectura y escritura caló profundamente en sus compañeros y debieron bregar mucho juntos en pro de su aceptación. Para aprenderlo, se reunían a escondidillas ya que los profesores les prohibieron su uso porque a su criterio se contraponía a los códigos de enseñanza convencionales. No fue aceptado como oficial por la Institución de Aveugles sino hasta 1854, dos años después de su muerte, y en 1878 se lo aprobó en el Congreso Internacional de París como sistema universal de enseñanza para los ciegos. Al Ecuador llegó el Sistema Braille en 1952 traído por el profesor lojano Byron Eguiguren discapacitado visual que realizó sus estudios en los Estados Unidos de América. Las primeras entidades educativas para ciegos en nuestro país fueron el Instituto de Ciegos y Sordos Santa Mariana de Jesús en la ciudad de Quito y el Instituto Byron Eguiguren en la ciudad de Loja, (años 1950 y 1952 en su orden).

(Elissalde, 1992) relata sobre la muerte de Louis Braille. El edificio donde funcionaba el instituto en aquel entonces era insalubre y los compañeros más antiguos recibían a los nuevos estudiantes generalmente gastándoles bromas bastante pesadas. Ocurrió que en la primera semana de la llegada de Louis a París, cuando se dirigía a descansar, le arrojaron un balde de agua helada lo que trajo consigo consecuencias fatales ya que posterior a la broma no se tomaron las previsiones del caso, durmiendo esa noche con la ropa mojada. Esta inoportuna acción y sumada a ella las condiciones insalubres del edificio derivaron primero en una enfermedad crónica a los bronquios que más tarde a la edad de 20 años, se transformó en una tisis, enfermedad que lo acompañó hasta su muerte. Falleció víctima de tuberculosis, 2 días después de haber cumplido los 43 años el 6 de enero de 1852 a las 7 y 30 de la noche, rodeado de sus amigos y compañeros en la ciudad de París, Francia.

La gran aportación de Louis Braille a la educación y a la calidad de vida de la población invidente fue finalmente reconocida en su país en 1952, cuando se cumplió el centenario de su muerte, su cuerpo fue trasladado al panteón parisino donde reposan los restos de los héroes nacionales. Aquel mismo año, la Asociación Amigos de Louis Braille compró la casa de Coupvray donde en 1809 había nacido el educador, y poco después el Consejo Mundial para la Promoción Social de los Ciegos se encargó de su administración a través del Comité Louis Braille.

En 1966, el estado francés inscribió la casa natal en el inventario de monumentos históricos, y en 1984, cuando el Consejo se fusionó con la Federación Internacional de Ciegos, de donde surgió la actual Unión Mundial de Ciegos, la casa natal y el Comité Braille pasaron a formar parte de la entidad. (Elissalde, 1992)

#### ***1.1.4 Importancia del sistema braille***

Para las personas con discapacidad visual, el sistema braille es tan necesario como la escritura convencional para quienes gozan del sentido de la vista. Con él, se puede acceder a cualquier tipo de información. Sus 6 puntos o estrellas conocidos como signo generador o signo universal, son de fácil aprendizaje para quienes pueden ver y sus 64 combinaciones les permiten disfrutar no solamente del alfabeto si no de una gran variedad de opciones en todos los idiomas y lenguas del mundo, con ellos podemos escribir los signos matemáticos, musicales, químicos y todo cuanto queramos.

Se resalta la importancia que tiene el sistema braille, no únicamente como el instrumento de comunicación escrita para quienes carecen de visión, su importancia radica esencialmente en el reto que la educación de hoy, impone especialmente a los maestros y maestras que no deben quedarse con los conocimientos adquiridos en función de las actividades que desempeñan. El maestro es maestro dentro y fuera del aula y su vocación siempre será aprender para enseñar y más aún si se habla de inclusión educativa, quien quiera trabajar por la inclusión debe tener como norma fundamental la herramienta que hace grande a quien toma el arado y no lo deja sino hasta el final de la jornada.

La lectura y la escritura son los 2 aprendizajes que se desarrollan en la enseñanza de la lengua escrita y constituyen los pilares en los que se apoyará toda la vida escolar. No hay que olvidar el significado que el sistema braille tiene para el acceso de las personas con discapacidad visual de todo el mundo en sus respectivos idiomas, durante más de 150 años el braille ha sido el instrumento con el cual las personas ciegas han aprendido la literatura y han realizado sus estudios, igual que sus pares que ven.

Varios centros de educación superior en el Ecuador ofrecen la carrera de Educación Especial, y si bien este servicio es un avance positivo como alternativa de formación académica para los futuros docentes, aún falta mucho camino que recorrer. Las ofertas de estudio en esta rama son muy generales, no se cuenta con subespecialidades que favorezcan la inclinación del educando hacia un área específica de estudio y varias asignaturas de singular importancia como la *lectoescritura braille* no se las imparte, y si se lo hace, el aprendizaje es mínimo con relación a

su propósito. Siendo este método de escritura y lectura de fácil aprendizaje, la dificultad radica en que no se disponen de los materiales para su enseñanza por los altos costos y escasez en el mercado ya que por su naturaleza no son comerciales, sin embargo ahora que la educación en el Ecuador está en un nivel de avanzada se aspira que estos inconvenientes sean superados y pronto se rompan las barreras de la desigualdad social y educativa. La inclusión educativa es y debe ser para todos en igualdad de condiciones, oportunidades y derechos.

### **1.1.5 Sistema Barbier de La Serre**

(O.N.C.E, 2002) en su libro “*entre dos mundos*”, nos relata acerca de Charles Barbier de La Serre (1767-1841), antiguo capitán de artillería francés, apasionado de las técnicas de comunicación, que inventó para el ejército de campaña una escritura nocturna destinada a convertir de manera legible los mensajes codificados.

El código del capitán Barbier en su versión clásica, a la vista de todos, está formado por 36 sonidos repartidos en una tabla de 6 columnas, cada una de las cuales se divide en 6 casillas. El sonido puede representarse a través de 2 cifras, la primera indica el número de la línea, la segunda el número de la columna, algo parecido a lo de los crucigramas. En su versión nocturna, esta sonografía es representada no por cifras, sino por puntos en relieve dispuestos en 2 columnas de 6 puntos cada uno. El número de puntos de la izquierda indica el número de la línea, y el número de puntos de la derecha informa el de la columna. Este sistema está basado en el principio de localización de matrices. De la figura 2-1, los puntos negros representan las partes en relieve de la matriz de doce puntos.

En 1819, Barbier construye uno de sus mayores inventos y lo exhibe en la Exposición de productos de la industria, organizada en el Louvre (museo nacional de Francia, Paris). La Institución real para jóvenes ciegos también participó e hizo demostraciones de lectura. (O.N.C.E, 2002) supone que Barbier visitó el stand de la Institución y en aquel momento, ideó la posibilidad de adaptar su sistema para los ciegos. En 1821 se dirigió al director, que era entonces el doctor François René Pignier para proponerle su sonografía.

Para la escritura, Barbier diseña una regleta que al principio consistía en una tablilla de madera en la que se abrían seis surcos horizontales paralelos. Colocando una hoja de papel encima, se forman los puntos en relieve con ayuda de un punzón llamado *estilete*. La verticalidad y el grosor del punto se quedan garantizados por una guía móvil metálica llamada *corchete*, que se reemplazará más tarde por una regleta perforada por un renglón de alvéolos verticales. Más

adelante, la tablilla se agrandará para convertirla en una auténtica pauta con formato de hoja de papel. Braille analiza este sistema y se hace partidario de Barbier (O.N.C.E, 2002)

	1	2	3	4	5	6
1	•• ○○ ○○ ○○ ○○ ○○	•• ○• ○○ ○○ ○○ ○○	•• ○• ○• ○○ ○○ ○○	•• ○• ○• ○• ○○ ○○	•• ○• ○• ○• ○• ○○	•• ○• ○• ○• ○• ○•
	a	i	o	u	é	è
2	•• •○ ○○ ○○ ○○ ○○	•• •• ○○ ○○ ○○ ○○	•• •• ○• ○○ ○○ ○○	•• •• ○• ○• ○○ ○○	•• •• ○• ○• ○• ○○	•• •• ○• ○• ○• ○•
	an	in	on	un	eu	ou
3	•• •○ •○ ○○ ○○ ○○	•• •• •○ ○○ ○○ ○○	•• •• •• ○○ ○○ ○○	•• •• •• ○• ○• ○○	•• •• •• ○• ○• ○○	•• •• •• ○• ○• ○•
	b	d	g	j	v	z
4	•• •○ •○ •○ ○○ ○○	•• •• •○ •○ ○○ ○○	•• •• •• ○• ○• ○○	•• •• •• •• ○○ ○○	•• •• •• •• ○• ○○	•• •• •• •• ○• ○•
	p	t	q	ch	f	s
5	•• •○ •○ •○ •○ ○○	•• •• •○ •○ •○ ○○	•• •• •• ○• ○• ○○	•• •• •• •• ○• ○○	•• •• •• •• ○• ○○	•• •• •• •• ○• ○•
	l	m	n	r	gn	ll
6	•• •○ •○ •○ •○ •○	•• •• •○ •○ •○ •○	•• •• •• ○• ○• ○•	•• •• •• •• ○• ○•	•• •• •• •• ○• ○•	•• •• •• •• ○• ○•
	oi	oin	ian	ien	ion	ieiu

**Figura 2-1.** Sistema Barbier

Fuente: (O.N.C.E, 2002)

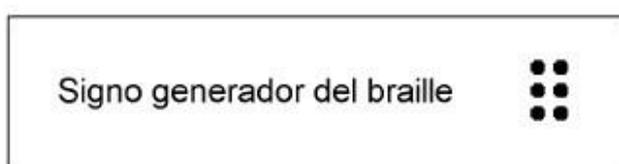
El director del Instituto junto con los profesores del plantel, autorizan el uso del sistema Barbier para que los estudiantes puedan tomar notas en clase y hacer sus deberes, “pero no aprueban el hecho de imprimir algún libro escolar siguiendo este procedimiento”.

Mientras tanto Barbier construye la versión final de su sistema en 1822, y lo exhibe en la Exposición de productos de la industria en 1823, donde le confieren una medalla de bronce, además de dejar un informe muy favorable en la Academia de Ciencia.

Sin embargo, la sonografía de Barbier representaba sonidos y no letras, haciendo a un lado la ortografía, además que el sistema presentaba dos fallas principales: el número demasiado elevado de puntos, y el principio de la localización de las matrices, que impedían una lectura táctil rápida y sintética.

## 1.2 Sistema braille

Es importante destacar que *el sistema braille no es un idioma o lengua, sino un código*. Por lo tanto, las particularidades y la sintaxis serán exactamente las mismas que los caracteres visuales. La realización de los caracteres en el sistema braille se fundamenta en una matriz de seis puntos, distribuidos en dos columnas de tres filas. (INEN, 2014)



**Figura 3-1.** Signo generador del braille  
Fuente: (INEN, 2014)

Con el fin de identificar cada uno de los puntos que forman el signo generador, están numerados según su posición, como puede observarse en la figura 4-1. (INEN, 2014)

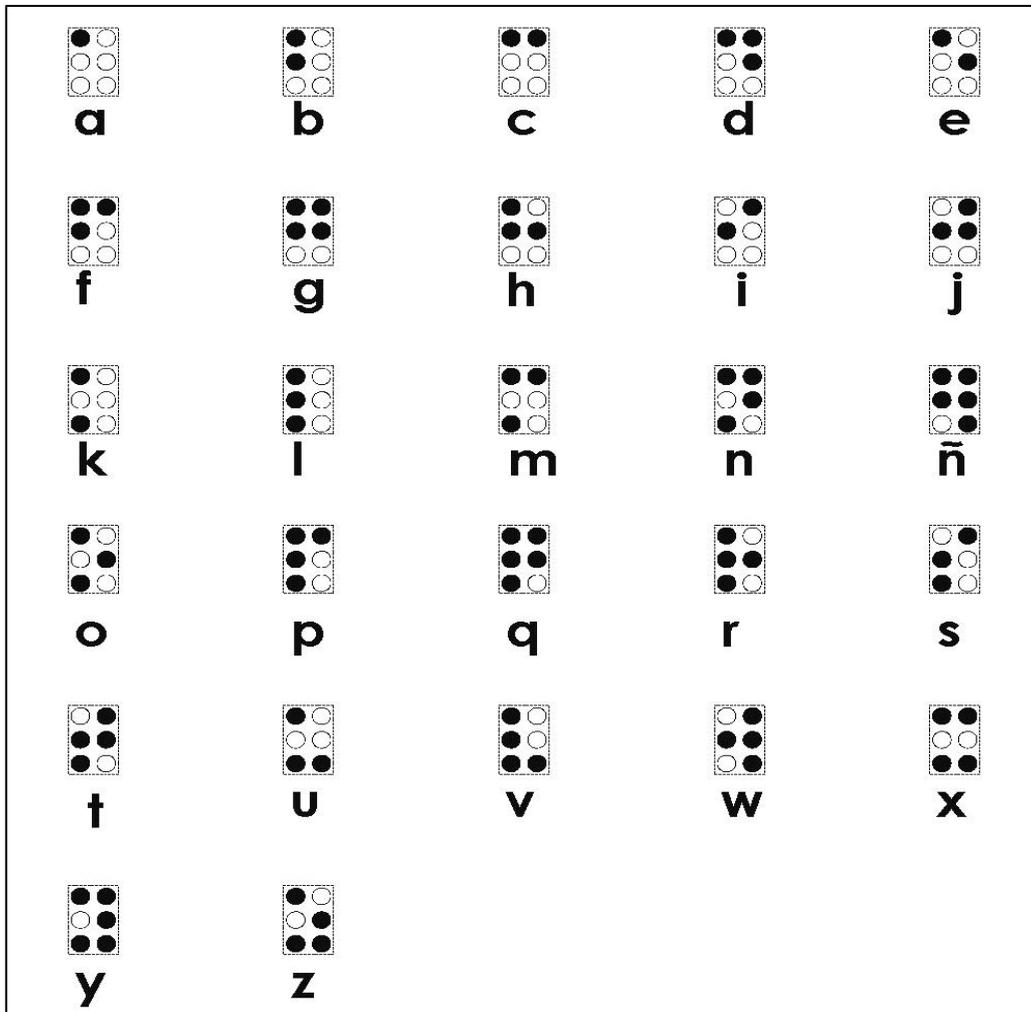


**Figura 4-1.** Signo generador con los puntos numerados  
Fuente: (INEN, 2014)

Combinando estos seis puntos se obtienen los distintos caracteres. Son 64 combinaciones, una de ellas corresponde al espacio en blanco, que no contiene ningún punto. La lectura del alfabeto braille se realiza por medio de las yemas de los dedos, ya que son unas de las zonas más sensibles de nuestro cuerpo para discriminar estímulos táctiles. Para ser legibles deben tener unas medidas específicas que no sobrepasen la superficie de la yema de los dedos, ya que, de lo contrario, son ilegibles. (INEN, 2014).

### 1.2.1 Alfabeto

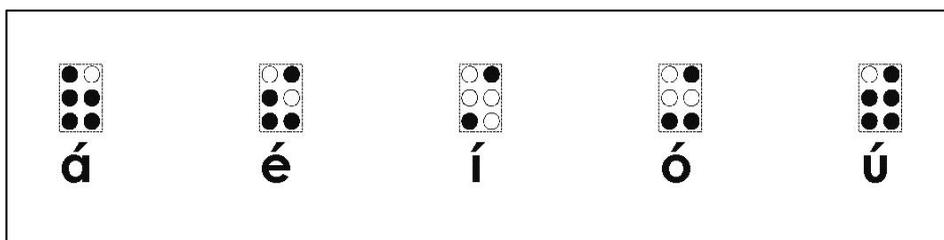
En la figura 5-1 podemos observar los símbolos braille según cada carácter. Los puntos sin color son los puntos del signo generador que no están en relieve, se les representa para una mejor comprensión de cada símbolo.



**Figura 5-1.** Alfabeto Braille  
Fuente: (INEN, 2014)

### 1.2.2 Vocales tildadas

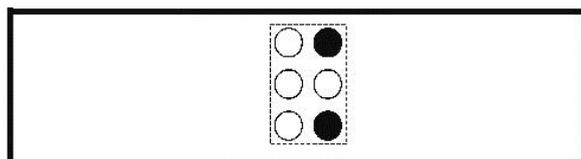
En el caso de las vocales tildadas no es posible colocar la raya sobre el signo correspondiente a las vocales, por lo que existe un signo propio para cada vocal tildada.



**Figura 6-1.** Vocales tildadas  
Fuente: (INEN, 2014)

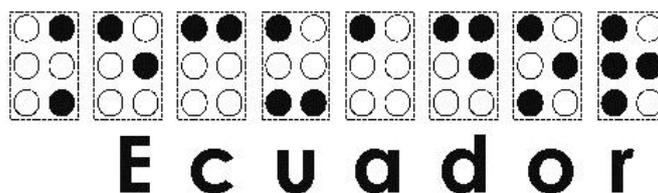
### 1.2.3 Signos de función

Debido a que el sistema braille contiene 64 combinaciones incluido el espacio en blanco para la formación de todos los signos alfabéticos, de números, de música, etc. y a que este sistema de escritura no tiene tipos de fuente (tamaño) a diferencia de los caracteres visuales, se antepone según la necesidad dos signos principales de función que indican si el signo posterior a estos es un número o letra mayúscula. El signo de función para las letras mayúsculas está formado por los puntos 4 y 6, y se colocara delante de la letra que se quiere hacer constar como mayúscula y doble mayúscula cuando se quiere indicar que toda la palabra o frase debería estar escrita en mayúscula. En el caso del signo numérico este se escribe con los puntos 3, 4, 5 y 6, ira colocado adelante del número que se requiera por una sola vez.



**Figura 7-1.** Signo de mayúscula  
Fuente: (INEN, 2014)

En la figura 8-1 se puede observar que el signo de mayúscula está ubicado antes de la letra “e”.



**Figura 8-1.** Palabra con su primera letra en mayúscula.  
Fuente: (INEN, 2014)

### 1.2.4 Signos de puntuación

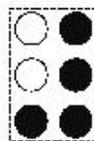
Los signos de puntuación están conformados de la siguiente manera:



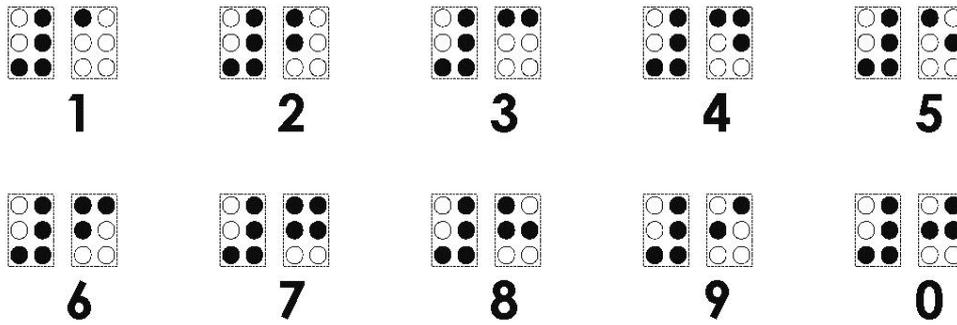
**Figura 9-1.** Signos de puntuación  
Fuente: (INEN, 2014)

### 1.2.5 Números cardinales

Los números cardinales se forman utilizando las primeras diez letras del alfabeto, anteponiendo el signo de función numérico compuesto por los puntos 3, 4, 5 y 6.

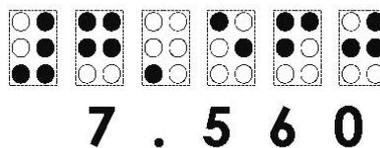


**Figura 10-1.** Signo antecesor de un número  
Fuente: (INEN, 2014)

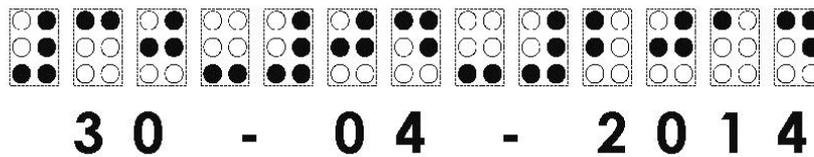


**Figura 11-1.** Números cardinales  
Fuente: (INEN, 2014)

Se escribirá el signo de número delante de la primera cifra o dígito como se muestra en la figura 12-1 y 13-1.



**Figura 12-1.** Ejemplo 1. Números cardinales  
Fuente: (INEN, 2014)



**Figura 13-1.** Ejemplo 2. Números cardinales  
Fuente: (INEN, 2014)

### 1.2.6 Parámetros dimensionales de los caracteres del sistema braille

Los caracteres que forman los signos del sistema braille deben tener unas medidas determinadas para su correcta lectura que son estandarizados por Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), norma NTE INEN 2850. (INEN, 2014)

La figura 14-1 nos indica que:

**a** = Distancia horizontal entre los centros de puntos contiguos de la misma celda: de 2,4 mm a 2,75 mm.

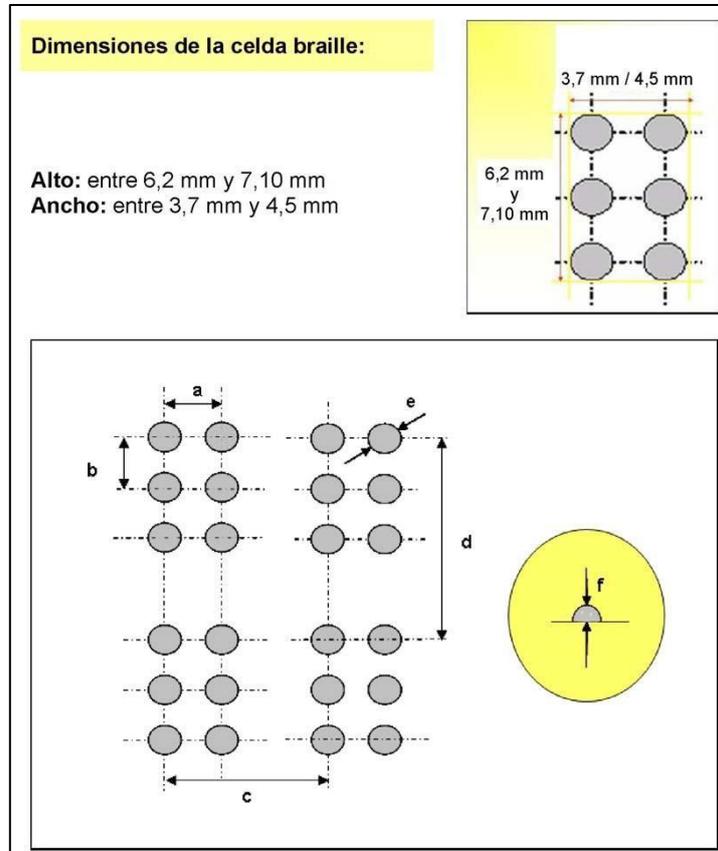
**b** = Distancia vertical entre los centros de puntos contiguos de la misma celda: de 2,4 mm a 2,75 mm.

**c** = Distancia entre los centros de puntos idénticos de celdas contiguas: de 6,0 mm a 6,91 mm.

**d** = Distancia entre los centros de puntos idénticos de líneas contiguas: 10,0 mm a 11,26 mm.

**e** = Diámetro de la base de los puntos: entre 1,2 mm y 1,9 mm.

**f** = Altura mínima del relieve de los puntos: 0,50 mm.



**Figura 14-1.** Parámetros dimensionales del sistema braille  
Fuente: (INEN, 2014)

El espacio en blanco que separa palabras, ocupa el mismo espacio que un carácter cualquiera. Existen parámetros recomendados que dependen del diámetro de la base de los puntos (**e**), como se puede mostrar en la tabla 1-1.

**Tabla 1-1.** Parámetros braille recomendados

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

Fuente: [www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/.../2014/.../2850.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/.../2014/.../2850.pdf)  
Realizado por: INEN

### **1.3 Impresoras braille comerciales**

En el desarrollo de la tecnología la humanidad ha avanzado de manera vertiginosa en todos los aspectos, sin embargo, el progreso generalmente se enfoca hacia y para los niveles productivos, es decir, que se ingresa al campo de la oferta y la demanda.

En el Ecuador de acuerdo al último censo poblacional efectuado en abril del 2016 según información del CONADIS (Consejo Nacional para la Igualdad en Discapacidades), se encuentran carnetizadas 50.627 personas con discapacidad visual (CONADIS, 2016). El 13% (6.582) se encuentra en edad de preparación académica, y el 60% (30.377) aproximadamente en edad productiva. Según datos del INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) en el último censo poblacional realizado en el año 2010 fueron identificadas 274.846 personas que tienen discapacidad visual, lo que implica que hay un alto número de ciudadanos con discapacidad visual que no han sido carnetizados ni atendidos; esto significa que el trabajo todavía es arduo y difícil, principalmente en los sectores rurales y urbanos marginales porque de los 274.846 que es el 100% de personas con discapacidad visual, solo el 17,43% se encuentran registrados.

A este factor se debe añadir además que pese a que Ecuador es uno de los países que más ha trabajado por la inclusión de las personas con discapacidad en el mundo, la discapacidad visual sigue siendo relegada. La cobertura educativa es mínima ya que el Ministerio de Educación no cuenta con un programa definido de estudios para el sector tanto en el nivel escolar como en la alfabetización.

Recién a partir del año 2005, se empezó un proceso serio de alfabetización promovido por la Federación Nacional de Ciegos del Ecuador con la colaboración de la Federación de Impedidos Visuales de Finlandia y el Ministerio de Educación, que paulatinamente ha ido cambiando la situación en la que se encontraba este grupo de atención prioritaria y si bien se han tomado algunos correctivos a medida que se avanza en los procesos de enseñanza van apareciendo dificultades que obstaculizan su total integración educativa.

A diferencia de las demás personas este grupo de ciudadanos requiere de un sistema de escritura y lectura distinto al convencional, detalle que aparte de no ser asimilado y concienciado por las autoridades de turno se constituye en un grave tropiezo para su superación. El braille es un sistema de escritura estándar, carece de tipos de fuente y en relación a un texto escrito en caracteres visuales ocupa entre 3 y 4 veces más espacio lo que encarece considerablemente los costos de producción de textos escolares y todo tipo de impresiones a nivel general. En el Ecuador hay una sola imprenta braille que atiende la demanda de los educandos con discapacidad visual para todos

los niveles educativos, es de propiedad de la Federación Nacional de Ciegos del Ecuador y tiene como domicilio la ciudad de Riobamba, la maquinaria con la que realizan sus trabajos ha sido importada en su totalidad y el mantenimiento es muy alto debido a que se deben importar con relativa frecuencia repuestos y en ocasiones, incluso se trae mano de obra extranjera para asegurar la vida útil de los equipos.

En el mercado local se encuentran impresoras de todo precio y calidad para uso de quienes gozan del sentido de la vista, más importar, una impresora braille de uso casero tiene un costo aproximado de 7000 dólares americanos, entre las más económicas se encuentran la impresora Index Basic D producida por la fábrica Index braille de Suecia y la impresora Impacto fabricada por el Centro de Investigaciones Tiflológicas de la Organización de Ciegos Españoles con un costo mínimo de 15.000 euros, agregándose además el inconveniente de que estas máquinas no imprimen en cualquier tipo de papel, ya que se requiere de hojas en forma continua de 120 gramos o más, de difícil acceso en el mercado ecuatoriano.

Ambas impresoras poseen características similares en los mecanismos de impresión, tienen instalados varios solenoides que imprimen en serie según las letras que hayan sido seleccionadas para el texto que se vaya a imprimir, ya que al ser el braille un sistema de escritura en relieve con dimensiones exactas se requiere que las máquinas se ajusten a las especificaciones técnicas que demandan los procesos de impresión. Cuando se necesita imprimir cierta cantidad de hojas en caracteres visuales por ejemplo: 10 unidades, el tiempo de espera es no mayor a un minuto en tanto que la misma cantidad de hojas impresas en braille puede durar entre 2 y 3 minutos según la capacidad de la impresora. En caracteres visuales hay impresoras de bajo costo que imprimen 100 o más páginas por minuto; en braille la impresora industrial más moderna fabricada por la empresa Braillonorueg de Noruega, imprime hasta 1200 páginas por hora como máximo, es decir un promedio de 20 páginas por minuto. A lo manifestado se debe añadir que la calidad del papel es importante para la impresión del sistema braille, se recomienda usar papel von de 120 gramos como mínimo para favorecer la conservación de las grafías el mayor tiempo posible debido a que para ser leídos los contenidos, las personas con discapacidad visual utilizan el tacto y no todos poseemos la misma sensibilidad lo que hace que principalmente quienes están aprendiendo a leer pasen una y otra vez sus dedos por un mismo escrito hasta descifrar su contenido.

La imprenta braille fue inaugurada el 22 de abril de 1994 y desde entonces ha producido 75.000 ejemplares en lectoescritura braille, entre libros, textos escolares, revistas de la Federación Nacional de Ciegos del Ecuador como lo más destacado de sus publicaciones. Este material ha sido distribuido en forma gratuita principalmente a los niños y jóvenes con discapacidad visual

que cursan sus estudios en los establecimientos de educación especializada para ellos y en los centros de inclusión educativa de todo el país regentados por el Ministerio de Educación.

### **1.3.1 Index Basic D-V5**

Basic D es de las pocas impresoras portátiles braille más vendida en el mundo creada por la empresa Sueca Index Braille.

- Su diseño es ligero y compacto, fácil de usarlo. (INDEX BRAILLE, 2016)
- Utiliza papel en forma continua y puede producir braille en una o dos páginas al mismo tiempo, es decir que imprime en el anverso y reverso de la hoja.
- Tiene la capacidad de imprimir 100 caracteres por segundo. (INDEX BRAILLE, 2016)
- Su costo es de 3.695 dólares estadounidenses en Suecia, Europa y Estados Unidos. Para poder importarla a Ecuador se debe contemplar el pago de impuestos por ingreso al país, lo que implica que al valor anotado se agrega aproximadamente un 80% adicional en el costo. (INDEX BRAILLE, 2016)



**Figura 15-1.** Index Basic D-V5

Fuente: (INDEX BRAILLE, 2016)

### **1.3.2 Index Everest D-V5**

La impresora braille Index Everest D-V5 es un equipo que permite imprimir cualquier documento en el sistema de lecto-escritura Braille. Es la herramienta perfecta para el trabajo en casa y en la oficina, siendo una de las impresoras más usadas a nivel mundial para la producción de libros Braille por su capacidad de imprimir en formato de revista (4 páginas por hoja) encargándose ella misma de estamparla. También permite la impresión de funciones matemáticas, encabezamientos y pies de página, listas de viñetas, ajuste de línea, entre otras funciones. Los menús y los accesos directos son ajustables según las necesidades del usuario y es posible la instalación en una red. Su precio es de 4.395 dólares estadounidenses en los países de origen. (INDEX BRAILLE, 2016)



**Figura 16-1.** Index Basic-D V4  
Fuente: (INDEX BRAILLE, 2016)

### ***1.3.3 Impacto Advanced***

Impacto Advanced es una impresora braille de máxima calidad y alta producción, la impresora imprime al mismo tiempo puntos Braille por las dos caras del papel. Otra característica destacada es la accesibilidad de la impresora mediante la incorporación de un teclado y display que permite el acceso a multitud de parámetros para la gestión de impresión, con inclusión de mensajes de voz. El módulo de impresión autónomo es capaz de trabajar independientemente. Todo el sistema está diseñado en su conjunto de forma modular, tanto es así, que apenas requiere mantenimiento. Su costo es de 15.000 euros en España y el resto de Europa. (O.N.C.E, 2012)



**Figura 17-1.** Impacto Advanced  
Fuente: (O.N.C.E, 2012)

## 1.4 Microcontroladores

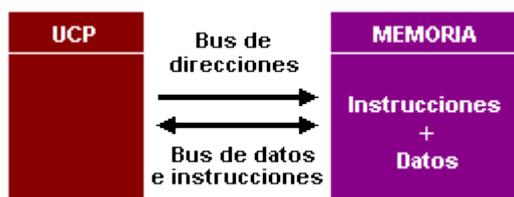
Los microcontroladores están presentes en todas partes, desde los electrodomésticos hasta en las grandes industrias. Antes de la existencia de un microcontrolador las personas no poseían la capacidad de desarrollar circuitos electrónicos pequeños, eficientes y rápidos. El uso de componentes basados en transistores y circuitos lógicos, hacía que el circuito se expanda y que sea de incómodo uso, además que para diseñarlo se involucraba demasiado cálculo matemático. Con los microcontroladores ahora se puede construir dispositivos inteligentes y con un tamaño ideal, que pueden ser programados para realizar un comportamiento.

(Sánchez, 2013) en su blog relata que el primer microcontrolador lo desarrolló Texas Instruments en 1971. Gary Boone y Michael Cochran crearon el TMS 1000, microcontrolador de 4 bits con función de RAM y ROM, muy utilizado en productos de cálculo.

### 1.4.1 Definición

Un microcontrolador es un circuito integrado que tiene la capacidad de desarrollar actividades que han sido antes grabadas en su memoria. Su composición está basada en bloques funcionales, los cuales cumplen tareas específicas. (Sánchez, 2013)

Son dispositivos que operan uno o más procesos, por lo general los microcontroladores están basados en la arquitectura de Von Neumann y la de Harvard. En la arquitectura de John Von Neumann existe una sola memoria principal que contiene las instrucciones del programa y los datos. Para acceder a la memoria se utiliza un sistema de buses, compuesto por control, direcciones y datos. En la arquitectura Harvard existen dos memorias separadas por dos sistemas de buses, una de las memorias solo contiene las instrucciones del programa y la otra solo almacena los datos. Los sistemas de buses pueden ser de distintos anchos. Su ventaja es obtener una mayor velocidad de operación ya que el tiempo de acceso a las instrucciones puede superponerse con el de los datos. Una pequeña desventaja de los procesadores con arquitectura Harvard, es que deben poseer instrucciones especiales para acceder a tablas de valores constantes que pueda ser necesario incluir en los programas, ya que estas tablas se encontraran físicamente en la memoria de programa. (Sánchez, 2013)



**Figura 18-1.** Arquitectura Von Neumann

Fuente: [http://perso.wanadoo.es/luis\\_ju/pic/imagen/newman.gif](http://perso.wanadoo.es/luis_ju/pic/imagen/newman.gif)

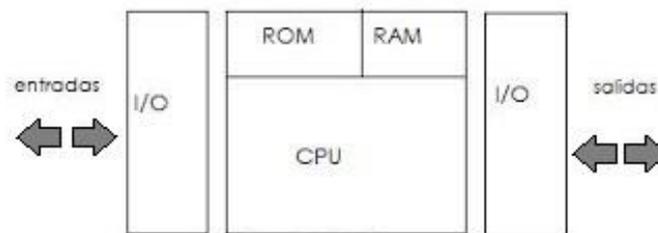


**Figura 19-1.** Arquitectura Harvard  
Fuente: [http://perso.wanadoo.es/luis\\_ju/pic/imagen/harvard.gif](http://perso.wanadoo.es/luis_ju/pic/imagen/harvard.gif)

El término microcontrolador está dado por dos palabras que son *Micro* “pequeño” (en tamaño) y *Controlador* a “maniobrar” o “controlar” procesos los cuales son definidos mediante la programación. (Sánchez, 2013)

#### 1.4.2 Estructura interna de un microcontrolador

Un  $\mu$ C está constituido por tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento (CPU), memoria (ROM y RAM) y unidades de entrada y salida (E/S).



**Figura 20-1.** Estructura interna de un microcontrolador  
Fuente: <https://microcontroladoresv.files.wordpress.com/2012/11/sje.jpg?w=320>

##### 1.4.2.1 Unidad central de proceso (CPU)

Es el cerebro o núcleo del microcontrolador, el cual se encarga de recibir, decodificar, y ejecutar las instrucciones almacenadas en la memoria. También es conocido como procesador o microprocesador, término que a imperceptiblemente se confunde con el de microcontrolador. Ambos términos no significan lo mismo, el microprocesador es una parte del microcontrolador y sin él no sería útil. (Sánchez, 2013)

##### 1.4.2.2 Memoria

Es la encargada de almacenar la información correspondiente a las instrucciones de la programación como a los diferentes datos necesarios para la ejecución del programa durante un periodo determinado de tiempo. Está conformada por una memoria volátil (tipo RAM) la cual pierde la información que almacena una vez que el microcontrolador esté desenergizado, su

función es guardar las variables y los datos; y una memoria no volátil (tipo ROM) que contiene el programa de instrucciones que gobierna la aplicación y no se pierde así se le quite la alimentación al microcontrolador. (Sánchez, 2013)

#### *1.4.2.3 Unidades de entrada y salida*

Son los sistemas que permiten que el microcontrolador se comunique con el exterior, enviando o recibiendo información. Por aquí se podrán manejar dispositivos de salida como LED, relés, etc. y leer dispositivos de entrada como pulsadores, interruptores, sensores, etc.

#### *1.4.3 Familias AVR y PIC*

En años recientes en el mundo de la electrónica y en especial en el diseño de nuevos sistemas basados en microcontroladores, ha sido el escenario de una batalla entre dos grupos de creadores de estos sistemas, un grupo está formado por aquellos entusiastas en electrónica que usan los microcontroladores de la familia PIC fabricados por la empresa estadounidense MICROCHIP; y otro grupo lo forman las personas que prefieren diseñar sistemas basados en los microcontroladores de la familia AVR de la compañía noruega ATMEL. En años recientes se ha visto un crecimiento acelerado de sistemas usando el AVR. (Flores, 2009)

Los microcontroladores necesitan de un código de programa o firmware que incluya las instrucciones necesarias para realizar el control del sistema. El lenguaje de programación de un microcontrolador es el lenguaje ensamblador (.asm), lenguaje de bajo nivel. Sin embargo se pueden encontrar compiladores de lenguaje C, C++, Basic, con la ventaja de facilitar al usuario. La diferencia de utilizar PIC o AVR está en el lenguaje de programación a utilizar y de su IDE (Ambiente Integrado de Desarrollo). Existen más compiladores para microcontroladores AVR, con la ventaja principal de descargar sus IDE gratis en versiones Demo desde la web de sus respectivos fabricantes, caso contrario de IDE's para PIC que son programas pagados.

Como se puede ver cada familia, PIC y AVR, tiene sus propias herramientas de programación, lenguajes e IDE, dependerá del conocimiento del diseñador la elección de uno u otro basado en el nivel dominio de que se tenga de cierto lenguaje de programación, tomando en consideración la disponibilidad, gratuidad o paga, de estas herramientas. (Flores, 2009)

#### *1.4.4 ATmega*

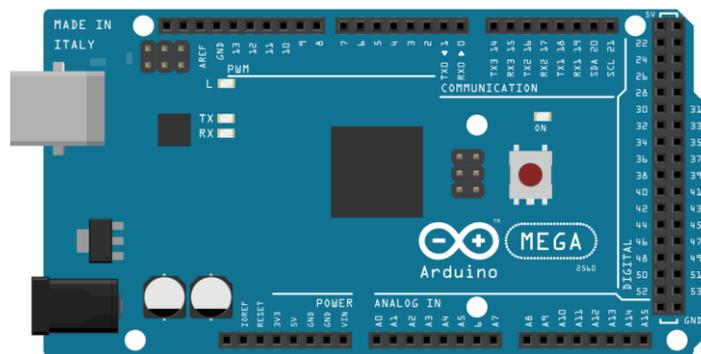
Es un tipo de microcontrolador de la familia AVR, con un procesador de arquitectura RISC (computadores de juego de instrucciones reducido) de 8 bits, el cual el repertorio de instrucciones máquina es muy reducido y las instrucciones son muy simples y generalmente se ejecutan en un

ciclo. La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el hardware y el software del procesador. Tiene una memoria Flash de tipo Harvard, una memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar, funciona como una ROM y una RAM pero consume menos y es más pequeña. Las memorias EEPROM y FLASH son muy útiles al permitir que los microcontroladores que las incorporan puedan ser reprogramados “en circuito”, es decir, sin tener que sacar el circuito integrado de la tarjeta, además la EEPROM permite almacenar datos para conservarlos aun cuando se apague el dispositivo. (Velasco, 2005)

La tecnología AVR combina un gran número de instrucciones con 32 registros de propósito general. Los 32 registros están conectados directamente a la ALU (unidad aritmética lógica), permitiendo que dos registros independientes sean accesibles por una instrucción simple ejecutada en un ciclo de instrucción. Resulta una tecnología muy eficiente, que permite una capacidad de procesamiento hasta diez veces superior que los microcontroladores CISC (computadores de juego de instrucciones complejas). ATmega trabaja a 16MHz con una tensión de alimentación de 4.0 a 5.5 V. (Velasco, 2005)

#### 1.4.5 Arduino

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador de la familia AVR y un entorno de desarrollo para crear software (IDE) para la placa. Su principal función es crear objetos interactivos, leyendo datos de una gran variedad de interruptores y sensores para controlar diferentes actuadores físicos. Los proyectos con Arduino pueden ser autónomos o logran comunicarse con un programa (software) que se ejecuta en un ordenador. Arduino se alimenta a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. (Arduino, 2016)



**Figura 21-1.** Arduino

Fuente: [https://ardubasic.files.wordpress.com/2014/04/arduino\\_mega\\_rev\\_3\\_bb.png](https://ardubasic.files.wordpress.com/2014/04/arduino_mega_rev_3_bb.png)

Existe la posibilidad de adquirir información de exterior a través de sensores, esta información es ingresada por medio de los pines de entrada que posee el Arduino. Además se puede enviar

información al exterior, lo que nos permite el control de diferentes actuadores construyendo elementos autónomos. (Astudillo, 2014)

Arduino ha creado distintas placas, desde básicas para principiantes hasta las que son con características mejoradas, sus precios son convenientes a comparación de otras plataformas. La versión menos cara del módulo Arduino puede ser ensamblado a mano, e incluso los módulos premontados Arduino cuestan menos de 50 dólares estadounidenses. (Arduino, 2016)

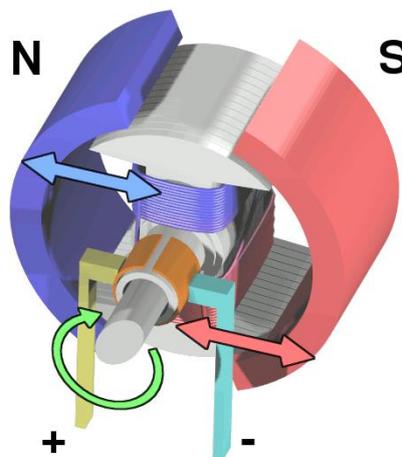
#### **1.4.6 Actuadores eléctricos**

Los actuadores eléctricos son los más extendidos y los que poseen un mayor campo de aplicación dada a la fácil disponibilidad de la energía eléctrica a través de las redes de distribución. Además son altamente versátiles debido a que se utilizan cables eléctricos para transmitir señales de control y alimentación, por lo que prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador. (Sánchez, 2008)

Se utilizan en la industria formando parte de complejos sistemas de elevación, transporte, etc., como también en cualquier electrodoméstico a nuestro alcance, pues su tamaño varía en relación a la potencia que desarrolla. (Sánchez, 2008)

#### **1.4.7 Motores eléctricos**

Son actuadores eléctricos formados por dos principales elementos, un estator y un rotor. Un motor eléctrico es capaz de transformar la energía eléctrica en mecánica creando un movimiento rotatorio. El sentido de rotación se invierte cambiando la polaridad del motor. (Sánchez, 2008)

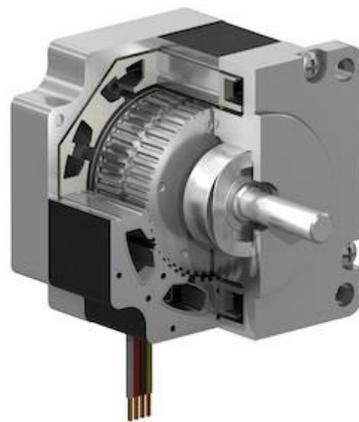


**Figura 22-1.** Motor de corriente continua

Fuente: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/04/Electric\\_motor\\_cycle\\_2.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/04/Electric_motor_cycle_2.png)

### 1.4.8 Motores paso a paso

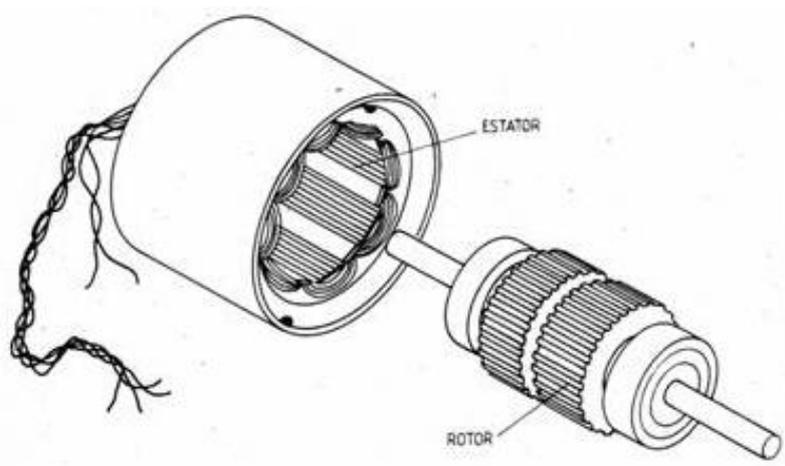
Es un dispositivo electromecánico que se encarga de transformar impulsos eléctricos provenientes del microcontrolador en desplazamientos mecánicos, es decir, por cada pulso se mueve un paso, siendo la característica principal de estos motores, por lo que se les utiliza en sistemas de control digital. Los pasos pueden variar desde  $90^\circ$  hasta pequeños movimientos de  $1.8^\circ$ . Estos motores son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. (Gaibor, y otros, 2015)



**Figura 23-1.** Motor paso a paso

Fuente: [http://wpcore.mctips.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2011/11/Portescap\\_HybridStepper1.jpg](http://wpcore.mctips.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2011/11/Portescap_HybridStepper1.jpg)

Están constituidos básicamente por un rotor formado por distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras en su estator. Toda la conmutación o excitación de las bobinas debe ser extremadamente manejada por un controlador. (Gaibor, y otros, 2015)

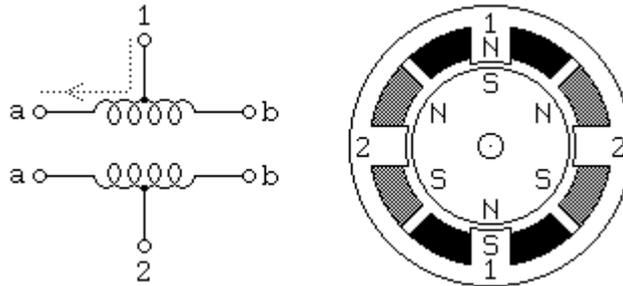


**Figura 24-1.** Rotor y estator de un motor paso a paso

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos93/motor-paso-paso/image003.jpg>

### 1.4.8.1 Unipolares

Es una clasificación de motores paso a paso de rotor imantado, por lo general tienen 4, 5, 6 u 8 cables de salida, dependiendo de las bobinas internas. Son simples de controlar ya que la corriente circula en un mismo sentido. (Gaibor, y otros, 2015)

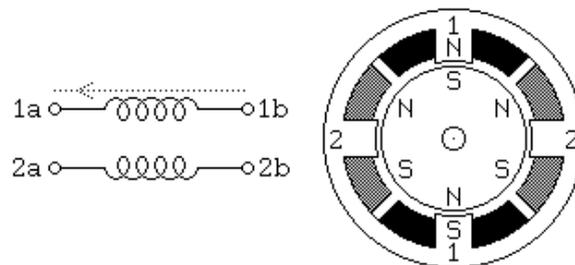


**Figura 25-1.** Motor paso a paso unipolar

Fuente: <http://server-die.alc.upv.es/asignaturas>

### 1.4.8.2 Bipolares

Por lo general tienen 4 cables de salida y en su funcionamiento necesitan ciertas configuraciones para ser controlados, debido a los cambios que presenta en la dirección de flujo de corriente a través de las bobinas en las secuencias apropiadas para realizar los movimientos del motor. Para que el motor funcione, la corriente que circula por las bobinas cambia de sentido en función de la tensión, de ahí el nombre de bipolar, debido a que en los extremos de una misma bobina se pueden tener distintas polaridades. (Gaibor, y otros, 2015)



**Figura 26-1.** Motor paso a paso bipolar

Fuente: <http://server-die.alc.upv.es/asignaturas>

### 1.4.9 Controlador de motor paso a paso

Son dispositivos electrónicos conocidos como drivers, su circuitería está formada por transistores bipolares o Mosfet, y elementos adicionales. Para su funcionamiento, recibe pulsos de corriente

de control desde el microprocesador y proporciona potencia en la salida con niveles de corriente necesarios para accionar los motores. (Gaibor, y otros, 2015)

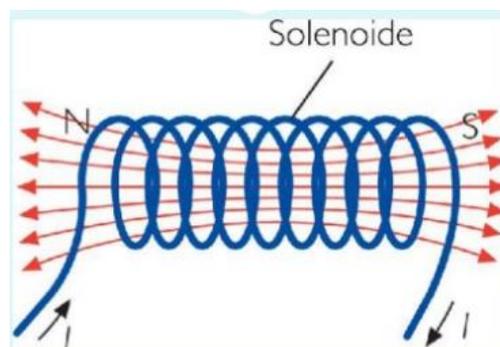
Existen una variedad de drivers para motores paso a paso y su selección depende directamente del tipo de motor paso a paso que se vaya a utilizar. Uno de los criterios es la corriente máxima que pueden entregar, normalmente se debe escoger los de mayor corriente que este en un rango de 1,7-1,8A. (Gaibor, y otros, 2015)

Dentro de ellos tenemos el controlador A4988 desarrollado por la empresa estadounidense Pololu Robotics, que cuenta con ajuste de limitación de corriente; el driver puente H que al excitar las bobinas de los motores podemos controlar el giro del motor; el módulo UNL2003 que contiene un arreglo de 7 transistores Darlington NPN, cuya función es amplificar el voltaje y la corriente de salida del microcontrolador y además protegerlo.

La ventaja de utilizar drivers para los motores paso a paso es importante, porque separa la parte de control (microcontrolador), con la de potencia. En caso de daño del actuador, el driver podrá quemarse, pero el microcontrolador seguirá funcionando.

#### 1.4.10 Solenoides

Forman parte de los actuadores electromecánicos, un solenoide consiste en un hilo conductor dispuesto en forma de espira cilíndrica que actúa como un imán en el momento en el que es recorrido por una corriente eléctrica. Estos componentes poseen un núcleo de hierro móvil en su interior que es desplazado al momento de transportar una corriente eléctrica por la bobina. Los solenoides son capaces de convertir una energía eléctrica en mecánica. (Guerrero Pérez, 2012)



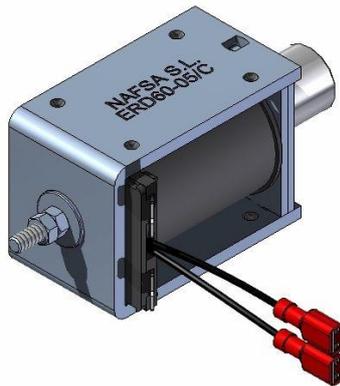
**Figura 27-1.** Líneas de campo magnético en un solenoide  
Fuente: (Guerrero Pérez, 2012)

El objetivo fundamental de un solenoide es transmitir la máxima fuerza al núcleo de hierro para desplazarlo. Este fenómeno es explicado por la ley de Faraday y el teorema de Ampere. La ley de Faraday enuncia que, si un conductor se mueve dentro de un campo magnético o está cerca de

otro conductor que lleva una corriente cuya intensidad varía con el tiempo, se induce una corriente eléctrica en el primer conductor. El teorema de Ampere revela que si una corriente fluye por un conductor que se encuentra dentro de un campo magnético, este ejerce una fuerza mecánica sobre dicho conductor. (Guerrero Pérez, 2012)

#### 1.4.10.1 Solenoides lineales

Proporcionan un movimiento lineal a través de un émbolo de hierro como núcleo. Pueden ser de tipo unidireccional o bidireccional, y están diseñados para realizar trabajos de tire o empuje. Muchos tienen un retorno con resorte para devolver al vástago o émbolo a la posición inicial. (Guerrero Pérez, 2012)



**Figura 28-1.** Solenoide lineal

Fuente: [http://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/22260-4235237.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/22260-4235237.jpg)

#### 1.4.10.2 Solenoides giratorios

Los solenoides giratorios general un movimiento rotacional que se establece en grados. Existen solenoides giratorios unidireccionales y bidireccionales y la mayoría presentan un resorte o muelle que devuelve la parte móvil a su estado inicial. Tienen una fuerza de arranque superior a los solenoides lineales y son más resistentes a golpes y caídas, suelen ser más pequeños pero más complejos. (Guerrero Pérez, 2012)

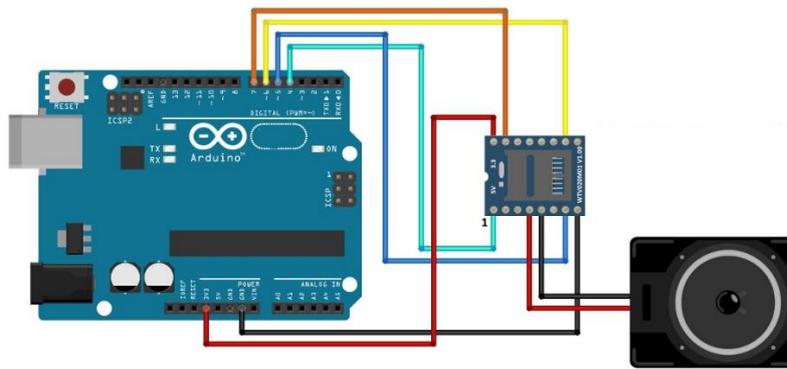


**Figura 29-1.** Solenoide giratorio

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos72/los-solenoides/image002.jpg>

### 1.4.11 Módulo reproductor de audio

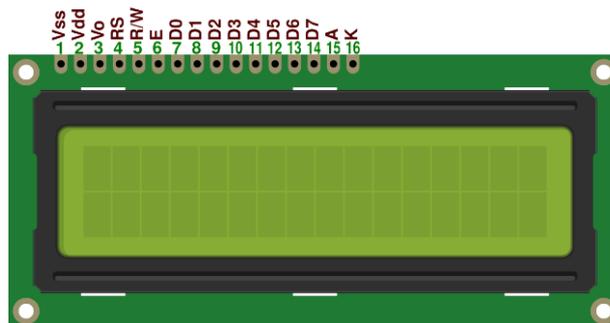
Son conocidos como decodificadores de ficheros de música que permite reproducir archivos de sonido directo almacenados en una memoria SD, normalmente archivos de tipo WAV o AD4. El módulo de audio utiliza un circuito integrado que puede ser controlado en modo manual mediante pulsadores o por medio de un microcontrolador. En caso de utilizar un microcontrolador, se envía señales digitales al CI, obteniendo a la salida, el audio del archivo guardado en la memoria SD. Para poder escuchar dicho sonido, a su salida necesariamente se debe conectar un parlante o una etapa de amplificación.



**Figura 30-1.** Módulo reproductor de audio  
Fuente: <https://http2.mlstatic.com>

### 1.4.12 Liquid Crystal Display

Es un actuador visual formado por una pantalla de cristal líquido, en el que se pueden visualizar signos alfanuméricos. También conocido como LCD (Liquid Crystal Display). Se puede encontrar distintos tipos de LCD, por ejemplo, 2×8, 2×16, 4×20, etc., el primer dígito indica el número de filas del display y el segundo el número de columnas, es decir, 2×16 significa que tiene 2 filas y 16 columnas. (Suárez, 2015)



**Figura 31-1.** Liquid Crystal Display 16x2  
Fuente: <http://electrotec.cms.webhub.la/elements/images/image-article-fc969ceab281396a02812f619c41ab75.png>

## 1.5 Sensores

Un sensor es un dispositivo electrónico, mecánico o electromecánico que genera una señal de voltaje, resistencia o corriente, a través de un fenómeno natural físico como la temperatura, la distancia, la presión, etc., aunque ciertamente no existe una definición clara, (Pallás Areny, 2003) denomina a un sensor como transductor, ya que es capaz de convertir una señal de una forma física en una señal correspondiente pero de otra forma física distinta, por lo tanto, un sensor de acuerdo a la energía del medio donde se mide, da una señal transducible que está en función de la variable de medida.

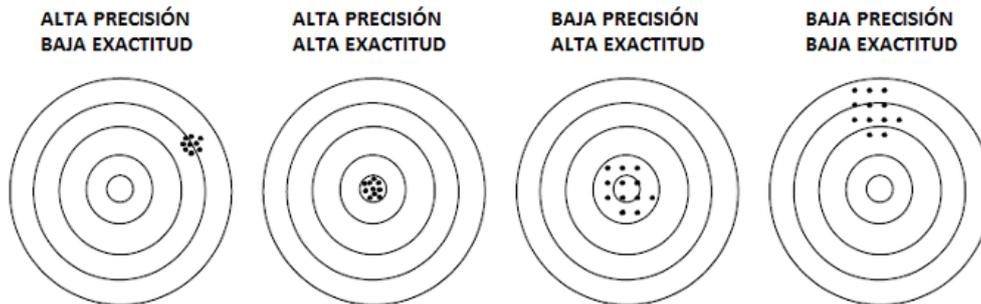
Para que el microcontrolador interprete los valores reales del fenómeno físico, la señal generada del sensor debe ser acondicionada, normalmente por arreglos resistivos o por medio de transistores que amplifiquen dicha señal. En algunos casos, se debe filtrar la señal para que no exista ruido a la hora de obtener datos precisos.

Existen varias formas de clasificar los sensores, por el principio físico de funcionamiento: inductivos, capacitivos, resistivos; por la variable física medida: temperatura, presión, posición, distancia; por el tipo de señal de salida: digitales o analógicos; por la capacidad de generar energía: activos, si no requieren un circuito de excitación y pasivos si lo necesitan. (Aguirre Paredes, 2016)

### 1.5.1 Características de los sensores

- *Campo de medida*: es el conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida del instrumento. Se representa estableciendo los dos valores extremos del intervalo. De esta característica se deriva el alcance, que es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento. (Mendoza Garcia, 2012)
- *Error de la medida*: es la desviación que presentan las medidas prácticas de una variable con relación a las medidas teóricas, como consecuencia de las imperfecciones de los aparatos y variables parásitas que afectan al proceso. (Mendoza Garcia, 2012)
- *Exactitud*: es la capacidad de un sensor de dar lecturas próximas al valor verdadero de la magnitud medida, la exactitud define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales. (Mendoza Garcia, 2012)

- *Precisión*: es la cualidad de un instrumento por la que tiende a dar lecturas muy próximas unas a otras, es decir, es el grado de dispersión de las mismas. (Mendoza Garcia, 2012)



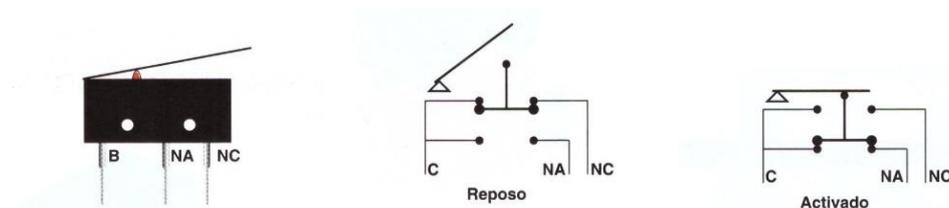
**Figura 32-1.** Exactitud y precisión

Fuente: [ingenieriaelectronica.org/wp-content/uploads/Precisi%C3%B3n-exactitud-y-sensibilidad-Mediciones-El%C3%A9ctricas.png](http://ingenieriaelectronica.org/wp-content/uploads/Precisi%C3%B3n-exactitud-y-sensibilidad-Mediciones-El%C3%A9ctricas.png)

- *Zona muerta*: campo de valores de la variable de entrada para los cuales el instrumento de medición no produce respuesta. (Mendoza Garcia, 2012)
- *Sensibilidad*: es la razón entre el incremento de la variable de salida y el incremento de la variable que lo produce. Viene dada en un tanto por ciento del alcance de la medida. (Mendoza Garcia, 2012)
- *Histéresis*: es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por la señal de salida para el mismo valor, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente. Se expresa en tanto por ciento del alcance de la medida. (Mendoza Garcia, 2012)

### 1.5.2 Sensores de contacto

También conocidos como sensores de final de carrera o “bumpers”. Los sensores de contacto son interruptores que se activan o desactivan al interactuar con un objeto, reconociendo su presencia o posición. Están constituidos por un muelle de retorno a la posición de reposo y por una palanca de accionamiento más o menos larga según el modelo elegido.



**Figura 33-1.** Sensor de contacto (final de carrera)

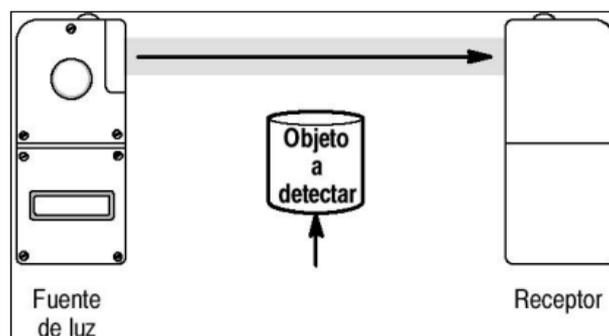
Fuente: [https://3.bp.blogspot.com/-DWftGfpzAOM/VrRyChGp76I/AAAAAAAAAzsc/71aWymh1Q8A/s1600/microrruptor\\_4.jpg](https://3.bp.blogspot.com/-DWftGfpzAOM/VrRyChGp76I/AAAAAAAAAzsc/71aWymh1Q8A/s1600/microrruptor_4.jpg)

### 1.5.3 Sensores ópticos

Conocidos como detectores ópticos, su funcionamiento se basa en la emisión de un haz de luz infrarrojo que es interrumpido o reflejado por el objeto a detectar. Contiene además un receptor encargado de recibir el haz luminoso, usualmente es un fotodiodo o fototransistor. El receptor recibe los pulsos de luz en sincronía con el emisor, esto permite ignorar radiaciones provenientes de otras fuentes. Este tipo de recepción sincrónica sólo es posible cuando la fuente y el receptor están en el mismo encapsulado. En el receptor, además, existe un circuito asociado que acondiciona la señal antes de llegar al dispositivo de salida. (Indriago, 2003)

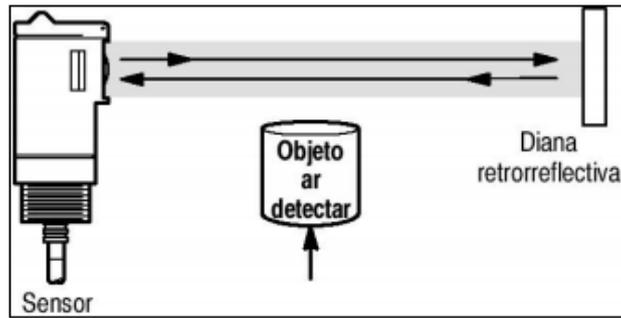
Los sensores ópticos se encuentran en tres diferentes configuraciones, estas son: transmisión directa, reflexiva y difusa.

En la **transmisión directa** el emisor se coloca en frente del receptor y el objeto es detectado cuando pasa entre ambos. Esta configuración tiene la ventaja de alcanzar grandes distancias de detección. (Indriago, 2003)



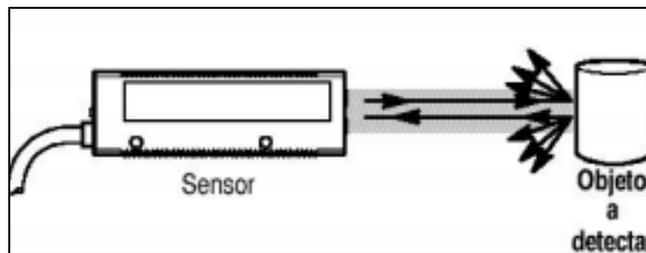
**Figura 34-1.** Sensor óptico con transmisión directa  
Fuente: <http://www.el.bqto.unexpo.edu.ve/mindria/Sensores.pdf>

La **transmisión reflexiva** se da cuando su receptor y emisor se colocan en el mismo sitio uno al lado del otro y en frente de ellos se coloca una superficie reflexiva. El haz de luz emitido choca contra el reflector para ser registrado por el receptor. La detección ocurre cuando pasa el objeto impidiendo el haz de luz que llegue hasta el receptor. Esta configuración, que es la de uso común, tiene la ventaja de que el emisor y el receptor vienen en el mismo empaque y utilizan el mismo ducto para el cableado, pero las distancias de detección son varias veces menor que en la configuración de transmisión directa. La superficie donde choca el haz está formada por reflectores especiales o cintas reflexivas diseñadas para que el haz regrese al fotointerruptor. (Indriago, 2003)



**Figura 35-1.** Sensor óptico con transmisión reflexiva  
 Fuente: <http://www.el.bqto.unexpo.edu.ve/mindria/Sensores.pdf>

En la **transmisión difusa** o de proximidad se parece a la reflexiva sólo que ésta no utiliza el espejo sino que el objeto a detectar es el que sirve de reflector. Para lograr que objetos poco brillantes puedan ser detectados, el haz de luz no se transmite en una sola dirección como en las configuraciones anteriores, sino que viaja en varias direcciones. Esta configuración presenta la desventaja de tener muy corta distancia de detección, pero es muy útil cuando es difícil acceder ambos lados de objeto. (Indriago, 2003)



**Figura 36-1.** Sensor óptico con transmisión difusa  
 Fuente: <http://www.el.bqto.unexpo.edu.ve/mindria/Sensores.pdf>

## 1.6 Entorno gráfico de programación

Un lenguaje de programación es aquel que permite que las personas se comuniquen a través de las máquinas, computadores, microcontroladores, entre otros, utilizando símbolos o caracteres especiales para formar un conjunto de instrucciones que realicen funciones requeridas o necesarias. Un lenguaje de programación gráfico está basado en un diagrama de bloques y conectados entre sí. Normalmente se lo hace por medio de un software que permite el acceso remoto de datos de un proceso. Por ser un lenguaje G, tiene la ventaja de ser rápido y sencillo a la hora de programar. El software contiene todas las herramientas necesarias para el desarrollo rápido de aplicaciones.

### 1.6.1 Programación gráfica con LabVIEW

LabVIEW es el acrónimo de “*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*”, laboratorio virtual de instrumentos electrónicos, software creado por la empresa estadounidense

National Instruments. LabVIEW es un reconocido entorno de programación gráfica en el que se puede crear aplicaciones de una forma rápida y sencilla. (Lajara Vizcaíno, y otros, 2007)

Los programas realizados en LabVIEW se llaman instrumentos virtuales “VIs”, por tener la apariencia de instrumentos reales, sin embargo, poseen analogías con funciones provenientes de lenguajes de programación convencionales. (Holguín Londoño, y otros, 2002)

Dentro de las principales características de los VIs tenemos:

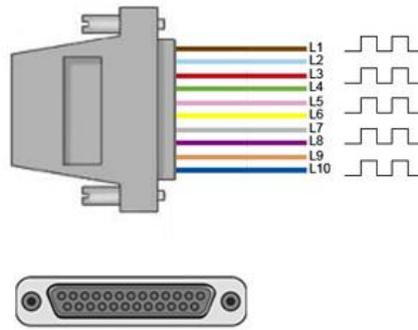
- Una interface interactiva con el usuario que tiene la capacidad de simular el panel de un instrumento físico, además, se puede tener la visualización de los resultados en la pantalla del computador. (Holguín Londoño, y otros, 2002)
- Los VIs reciben instrucciones de un diagrama de bloques construido en lenguaje G.
- Son fáciles de utilizarlos.
- Contiene objetos necesarios para implementar y desarrollar tareas.
- Permite cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.

## **1.7 Interfaz de comunicación**

Denominamos interfaz de comunicación a la transferencia de información entre dos sistemas digitales. Generalmente la comunicación se lo realiza carácter a carácter utilizando códigos binarios, ASCII, decimales, hexadecimales, etc., La información se transmite en unidades de información llamadas palabras, que suelen ser de 8, 16, 32 bits. Existen dos formas de realizar la transmisión de palabras, por el método en paralelo o el método en serie.

### **1.7.1 Comunicación en paralelo**

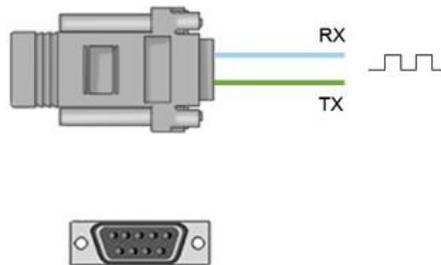
Transmite todos los bits de la palabra simultáneamente, por líneas separadas, junto con una señal de reloj que indica el momento en que está presente la palabra en las líneas de datos. Este método es utilizado para transmisiones de alta velocidad entre dos sistemas digitales. La desventaja se encuentra cuando dos sistemas están separados por una gran distancia, aumentando el costo de materiales para que los datos no se pierdan.



**Figura 37-1.** Comunicación en paralelo  
 Fuente: <http://www.luisllamas.es/wp-content/uploads/2014/05/Puerto-serie.jpg>

### 1.7.2 Comunicación en serie

Transmite en forma secuencial en el tiempo todos los bits de la palabra, uno tras otro, utilizando solo una línea de datos. Al utilizar este método es necesario un sistema de codificación que permita resolver problemas de sincronización de bits, de caracteres y de mensajes. Utilizan un estándar llamado RS-232 que establecen niveles de voltaje, velocidad de transmisión de datos, etc. La comunicación serial se lleva asincrónicamente, es decir, no necesitan una señal de reloj de sincronización, los datos pueden enviarse en intervalos aleatorios.



**Figura 38-1.** Comunicación en serie  
 Fuente: <http://www.luisllamas.es/wp-content/uploads/2014/05/Puerto-serie.jpg>

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

Para la construcción de la impresora braille, se siguió una serie de pasos secuenciales importantes y necesarios: el estudio para poder seleccionar la impresora a ser modificada, manteniendo elementos necesarios y reemplazando los componentes que no serán útiles; el diseño y la implementación de los diferentes circuitos electrónicos que controlará el sistema; y la programación tanto del microcontrolador como del entorno gráfico como interfaz para el usuario. En el gráfico 1-2 se detallan brevemente las etapas que se cumplieron para lograr este proyecto:



**Gráfico 1-2.** Etapas para la construcción impresora braille

Fuente: Vinueza C., 2016

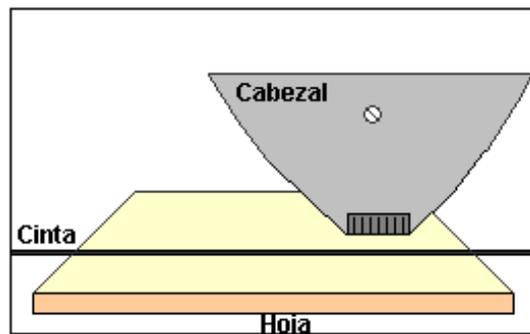
## 2.1 Selección de la impresora a ser modificada

Como paso principal, se basó en la estructura de una impresora de tinta descompuesta o sin usarse, creando así, además, una conciencia de reciclaje. Por lo que se logró adquirir dos tipos de impresoras:

- Impresora matriz de punto
- Impresora de inyección de tinta

### 2.1.1 Impresora matriz de punto

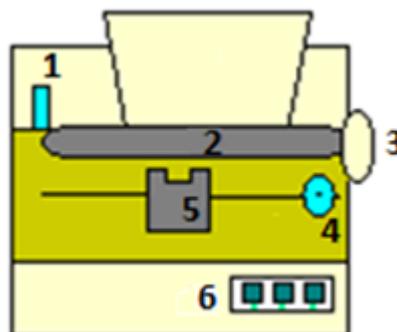
La impresora matriz de punto conocida también como matricial, fue una de las primeras en el mercado, actualmente se las utiliza para imprimir facturas o documentos que requieran una mínima calidad de impresión. Dentro del cabezal de impresión contiene nueve agujas que son activadas por pequeños electroimanes, que al impactar o golpear una cinta de tinta forma puntos. Con la combinación de estos nueve puntos se puede obtener distintos tipos de letras, así como gráficos.



**Figura 1-2.** Cabezal de impresora matriz de punto

Fuente: <http://informaticamoderna.com/Hospedados/Animaciones/immat2.gif>

#### 2.1.1.1 Esquema general interno de la impresora matriz de punto



**Figura 2-1.** Esquema interno de una impresora matriz de punto

Fuente: [http://www.informaticamoderna.com/Impresora\\_de\\_matriz\\_archivos/intmatpar.gif](http://www.informaticamoderna.com/Impresora_de_matriz_archivos/intmatpar.gif)

- 1.- Motor eje y: se encarga de mover el rodillo principal durante el proceso de impresión.
- 2.- Rodillo: introduce la hoja y la coloca en frente del cabezal.
- 3.- Mango del rodillo: permite mover la hoja manualmente.
- 4.- Motor eje x: se encarga de mover el cabezal.
- 5.- Cabezal: golpea la cinta mediante sus nueve agujas para formar las diferentes letras en la hoja.
- 6.- Panel: contiene botones que permiten elegir los distintos tipos de fuente de letra disponibles.

Se pudo conseguir una impresora matriz de punto de la marca Epson cuyo modelo fue LX-300, impresora que no estaba en funcionamiento. En base al esquema interno general, a simple vista se observa el carrito junto a una cinta de tinta, pegado al rodillo principal, el cual permite desplazar la hoja de papel. Cuenta además, con dos motores a pasos que sus características se detallan en la tabla 1-2.



**Figura 3-2.** Impresora Epson LX-300  
Fuente: Vinueza C., 2016

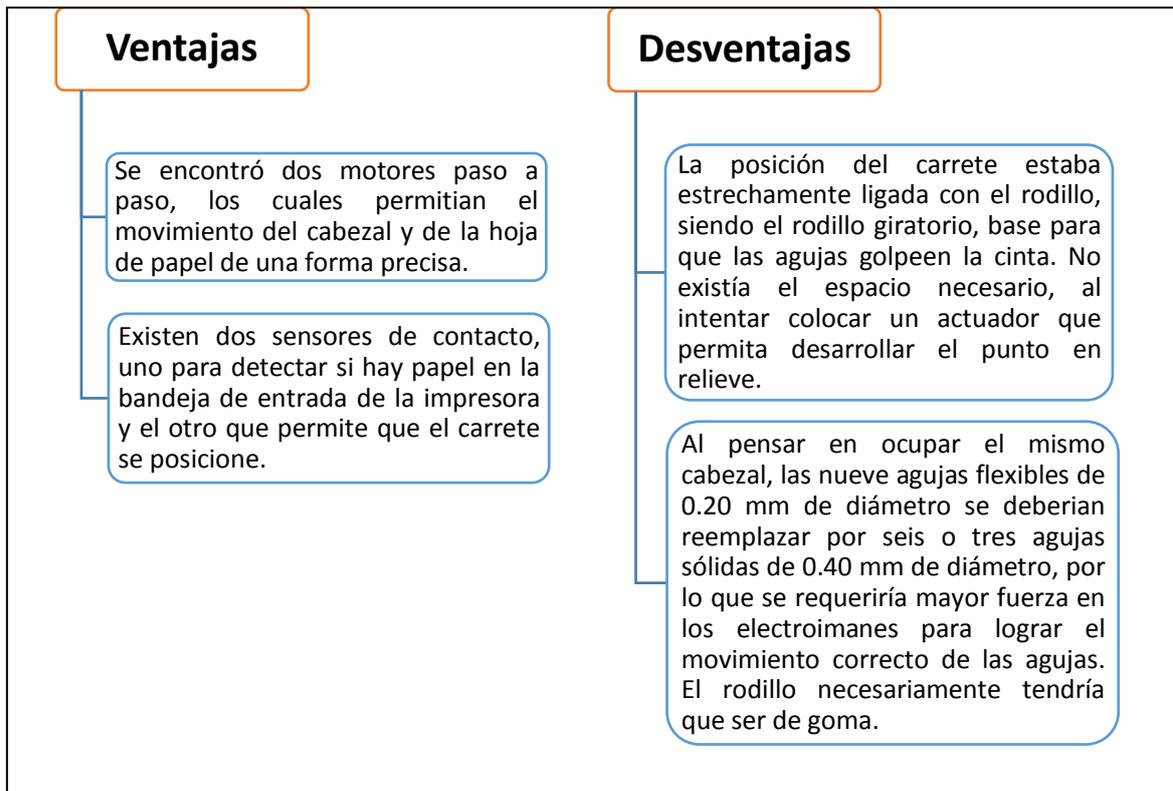
**Tabla 1-2:** Características de los motores de la impresora Epson LX-300

<b>Motores</b>			
<b>Motor EM-211</b>		<b>Motor EM-210</b>	
Tipo	Unipolar	Tipo	Unipolar
Número de hilos	6 hilos	Número de hilos	6 hilos
Número de pasos	50 p/v	Número de pasos	50 p/v
Ángulo por paso	7,2°	Ángulo por paso	7,2°
Corriente por paso (A)	0,15A	Corriente por paso (A)	0,42A
Voltaje por paso (V)	9V	Voltaje por paso (V)	9V

Fuente: <http://www.zerokol.com/2012/09/hack-stepper-motor-em-210-and-em-211.html>

Realizado por: Cristhian Vinueza

Al analizar todos los componentes minuciosamente que la Epson LX-300 poseía, se encontraron algunas ventajas y desventajas, referentes al empleo de esta impresora como base para la construcción de la impresora braille, las mismas que son descritas en el gráfico 2-2.

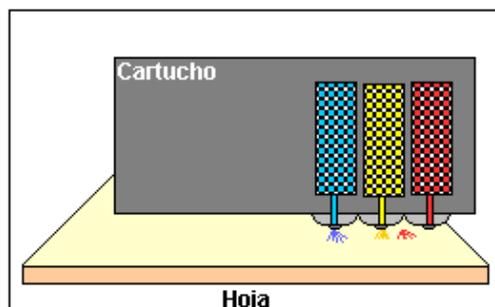


**Gráfico 2-1.** Ventajas y desventajas de la impresora Epson LX-300

Fuente: Vinueza C., 2016

### 2.1.2 Impresora de inyección de tinta

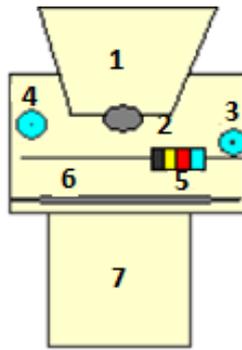
Actualmente son las impresoras más comercializadas debido a su bajo precio. Este tipo de impresora cuenta con un cabezal que contiene cartuchos de tinta líquida. En el interior de los cartuchos existen orificios que expulsan la tinta sobre el papel sin tener contacto con la hoja, como se observa en la figura 4-2, los caracteres o dibujos se forman con varias líneas de píxeles tanto verticales como horizontales por medio de dos motores, el uno que mueve el cabezal, y el otro la hoja de papel.



**Figura 4-2.** Cabezal de impresora de inyección de tinta

Fuente: <http://informaticamoderna.com/Hospedados/Animaciones/imin0.gif>

### 2.1.2.1 Esquema interno general de impresora a inyección de tinta



**Figura 5-2.** Esquema interno de impresora a inyección de tinta

Fuente: [http://www.informaticamoderna.com/Impresoras\\_de\\_inyec\\_archivos/inypar.gif](http://www.informaticamoderna.com/Impresoras_de_inyec_archivos/inypar.gif)

- 1.- Bandeja de entrada: es el espacio para colocar el papel previo al proceso de impresión.
- 2.- Rodillo de goma: se encarga de introducir la hoja hacia el rodillo principal.
- 3.- Motor eje x: mueve el cabezal de manera horizontal sobre la hoja.
- 4.- Motor eje y: mueve el rodillo principal.
- 5.- Cabezal: contiene los cartuchos de tinta.
- 6.- Rodillo principal: se encarga de arrastrar la hoja durante la impresión.
- 7.- Bandeja de salida: almacena el material impreso.

Se adquirió una impresora de la marca Lexmark, modelo Z615 (figura 6-2), con problemas en la parte electrónica. En su interior contaba con un motor a pasos que se encargaba del movimiento del rodillo principal (sus características se describen en la tabla 2-2), y un motor de corriente continua (normal), responsable de mover el cabezal de impresión. En la parte posterior del cabezal, se encontró un sensor óptico (encoder), que con una tira de acetato transparente con líneas negras verticales a lo largo de ella (cinta encoder), posicionaba al carrete en un lugar específico. El cabezal contenía dos cartuchos de tinta, que podían ser expulsados fácilmente.



**Figura 6-2.** Impresora Lexmark Z615

Fuente: Vinueza C., 2016.

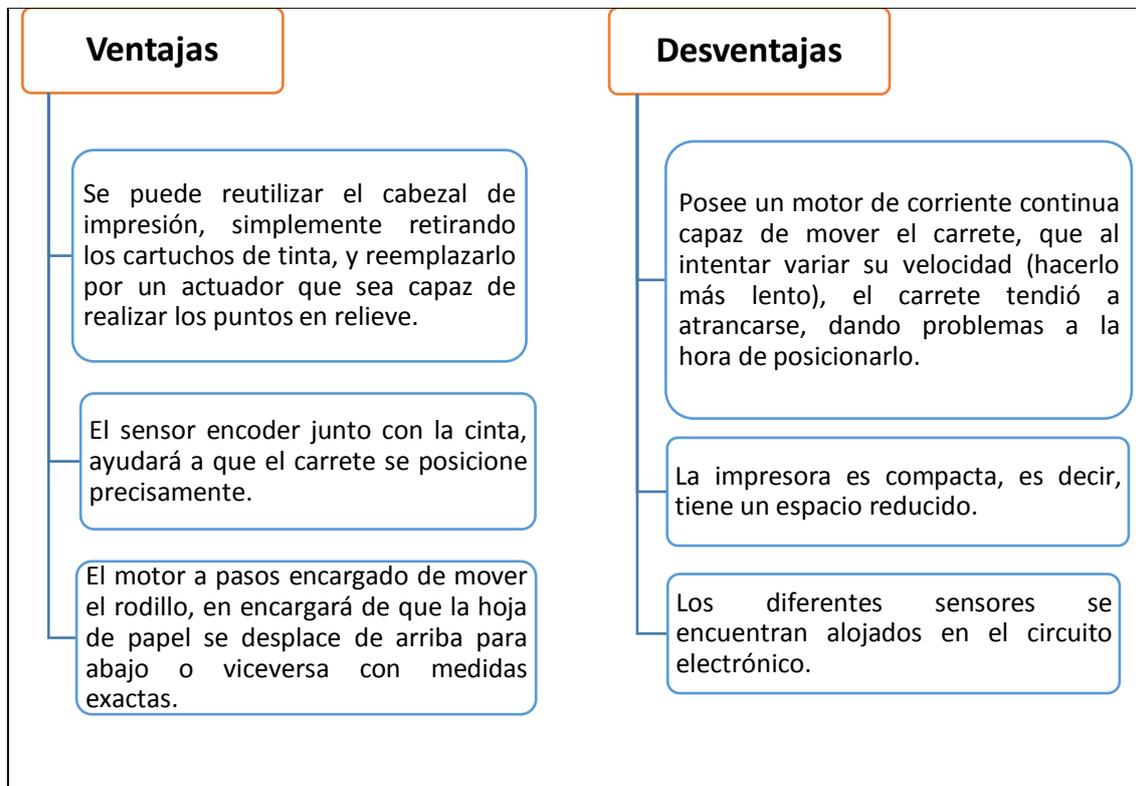
**Tabla 2-1.** Características del motor a pasos de la impresora Lexmark Z615

Fabricante	Mitsumi
Serial	SM42SP-6NK
Tipo	Bipolar
Tensión Nominal	12 VDC
Tensión de trabajo	10.8 – 13.2 VDC
Corriente Nominal / Bobina	400mA
Resistencia de la bobina	5 $\Omega$
Número de Bobinas	2 Bobinas
Número de hilos	4 Hilos
Número de pasos por vuelta	48 pasos
Ángulo por paso	7.5° x paso
Torque	41.2 m N*m

Fuente: <http://www.datasheetcafe.com/m42sp-6-datasheet-stepping-motor/>

Realizado por: Cristhian Vinueza

Al apreciar meticulosamente todo su esquema interno, se pudo tener algunas ventajas y desventajas para el uso de ésta impresora como estructura base, las cuales se especifican en el gráfico 3-2.

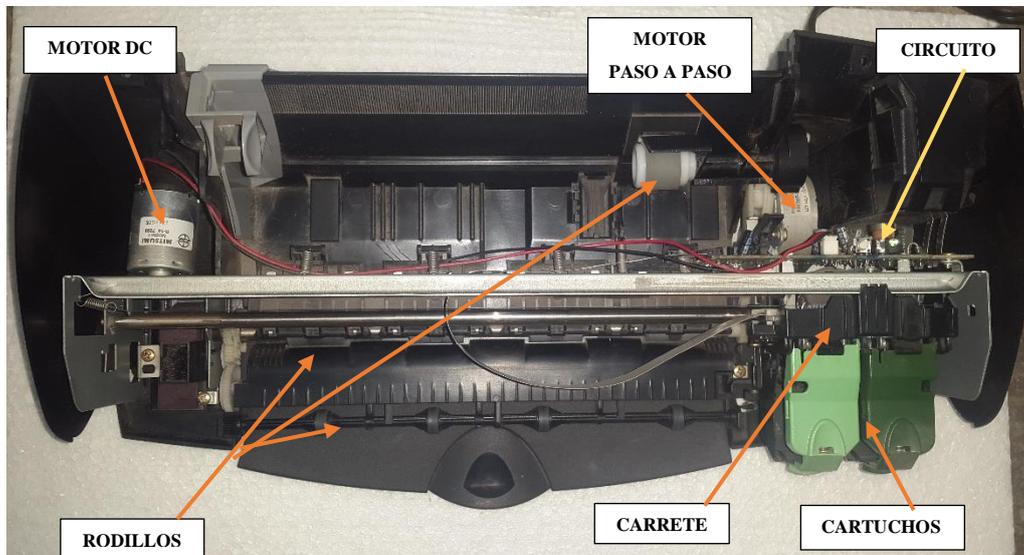


**Gráfico 3-2.** Ventajas y desventajas de la impresora Lexmark Z615

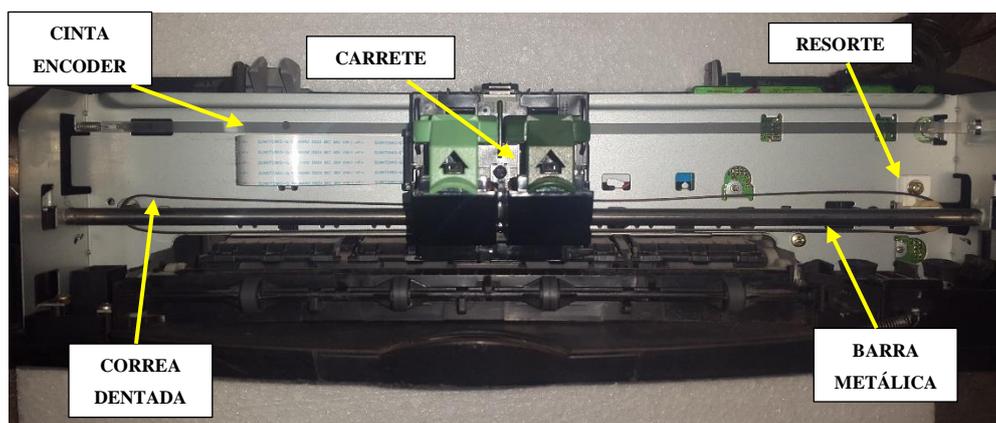
Fuente: Vinueza C., 2016

### 2.1.3 Descripción de la impresora seleccionada

Teniendo en cuenta las diferencias entre cada una de las impresoras adquiridas, se ha elegido como estructura base para éste proyecto, a la impresora Lexmark Z615, por ser más precisa a la hora de posicionar el carrete, ya que ésta cuenta con un encoder de precisión, además, de que su cabezal puede ser modificado, agregándole un actuador que permita crear el punto en relieve. Tiene la ventaja de ser una impresora ligera de peso, además, de tener un valor económico bajo. Para corregir las desventajas obtenidas, se reemplazará el motor DC por un motor a pasos que pueda encajar con la banda dentada transportadora del carrete. Los circuitos electrónicos tanto de control como de la fuente de alimentación, se ubicaran en una caja de acrílico. Se implementarán también sensores que detecten la presencia del papel en la bandeja de entrada y cuando el papel se encuentre atascado, así como, un sensor que determine la posición inicial del carrete, antes de la impresión. En la tabla 3-2 se detallan los componentes de la impresora que se conservarán y que se reutilizarán para la impresora braille.



**Figura 2-2.** Vista superior de la impresora Z615  
Fuente: Vinueza C., 2016



**Figura 2-3.** Vista frontal de la impresora Z615  
Fuente: Vinueza C., 2016

**Tabla 3-2.** Componentes que se conservará de la impresora Lexmark Z615

Elemento	Detalle
Motor paso a paso	Encargado de mover el rodillo principal
Rodillos	Arrastran la hoja de papel
Engranajes	Complementos del motor paso a paso
Encoder	Sensor óptico
Cinta Encoder	Cintra transparente con líneas verticales
Correa dentada	Mueve el cabezal de impresión
Resorte con ajuste	Sostiene la banda dentada
Barra metálica	Guía del carrete de impresión
Estructura	Parte metálica y plástica de la impresora

Fuente: Vinueza C.,2016

Realizado por: Cristhian Vinueza

## 2.2 Selección de componentes

Una vez analizados los elementos internos de la impresora Lexmark Z615 que se reutilizarán, y verificando que se encuentren funcionando, se procede a elegir nuevos componentes que formen parte de la impresora braille.

### 2.2.1 Selección del motor paso a paso para mover el carrete

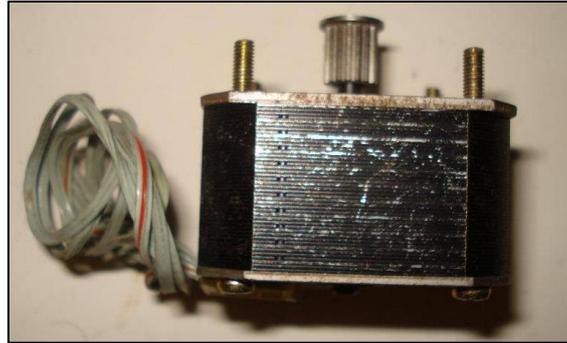
Para desplazar el carrete se eligió el uso de un motor paso a paso bipolar que cumpla con características similares a la correa dentada, es decir, que el rotor del motor y la correa tengan la misma distancia entre dientes (1mm entre diente y diente), para que encajen correctamente. El objetivo principal, es no tener pérdidas de posición. Con esto, el recorrido del cabezal será más exacto, gracias también, a la ayuda del sensor encoder, consiguiendo posiciones más pequeñas a la hora de desarrollar el punto braille, cumpliendo así, con las normativas declaradas por el INNEN. La descripción del motor paso a paso se muestra en la tabla 4-2.

**Tabla 4-2:** Características técnicas del motor paso a paso modificado

Fabricante	Shinano Kenshi
Serial	STP-42D201-37
Tipo	Bipolar
Tensión Nominal	12 VDC
Corriente Nominal / Bobina	1700mA
Resistencia de la bobina	1.55 $\Omega$
Número de Bobinas	2 Bobinas
Número de hilos	4 Hilos
Número de pasos por vuelta	200 pasos
Ángulo por paso	1.8° por paso
Torque	163 g-cm
Diámetro del piñón	6 mm

Fuente:[http://www.jameco.com/z/STP-42D201-37-Shinano-Kenshi-12-Volt-1-8-Step-Angle-Bipolar-Stepper-Motor\\_2158531.html](http://www.jameco.com/z/STP-42D201-37-Shinano-Kenshi-12-Volt-1-8-Step-Angle-Bipolar-Stepper-Motor_2158531.html)

Realizado por: Cristhian Vinueza



**Figura 9-2.** Motor paso a paso STP-42D201-37  
Fuente: Vinueza C., 2016

### 2.2.2 Selección de la bobina electromagnética (solenoid)

Para realizar los puntos braille (puntos en relieve), se eligió el uso de un actuador electromecánico llamado solenoide. Las características técnicas del solenoide se pueden ver en la tabla 5-2.

**Tabla 5-2:** Características técnicas del solenoide seleccionado

Fabricante	Isliker Magnete
Serie	GE-32.06
Voltaje	24 a 50VDC
Corriente	7.92 A
Fuerza (24VDC)	4.5 N
Dimensiones	32.3 x 32.3 x 48 mm
Peso	0.245 kg

Fuente: [http://www.islikermagnete.co.uk/download/prospekt/4\\_01\\_1\\_GE-32.pdf](http://www.islikermagnete.co.uk/download/prospekt/4_01_1_GE-32.pdf)

Realizado por: Cristhian Vinueza

En la parte inferior del solenoide se encuentra una tuerca que sostiene al vástago, cuando no corre ninguna corriente por la bobina (desactivado), debido a que el resorte ubicado en la parte superior expulsa al vástago hacia arriba. Para realizar la forma de punzón, se limó cuidadosamente el vástago hasta obtener el diámetro de punta adecuada (0.5mm).



**Figura 10-2.** Solenoide seleccionado  
Fuente: Vinueza C., 2016

### 2.2.3 Selección de sensores

Para posicionar el carrito en su punto de inicio, se eligió un sensor de contacto (final de carrera), tipo pulsador. Cuando el pulsador es accionado envía una señal digital al arduino, el cual, indica que el carrito llegó a su posición inicial.

Para la detección de papel en la bandeja de entrada y para conocer si el papel se atascó, se escogió dos sensores ópticos QRD1114, sensores que detectan la presencia de dos colores, el blanco y el negro. Si el sensor detecta el color blanco (color de la hoja de papel), la impresora realizará la impresión, caso contrario, emitirá un error. Sus características técnicas se presentan a continuación en la tabla 6-2:

**Tabla 6-2:** Características técnicas de los sensores ópticos seleccionados

Fabricante	FAIRCHILD
Serie	QRD1114
Voltaje de entrada (Emisor)	5 VDC
Voltaje Colector Emisor	30VDC
Rango de temperatura	-40 a +85 °C
Distancia de funcionamiento (máx.)	1.6 mm
Dimensiones	6.10 x 4.65 x 4.39 mm
Tipo de detector	Fototransistor

Fuente: <https://www.sparkfun.com/datasheets/BOT/QRD1114.pdf>

Realizado por: Cristhian Vinuesa

### 2.2.4 Selección de los drivers para los motores paso a paso

Al poseer dos motores paso a paso bipolares, se optó por usar un driver de la marca Pololu A4988 y un puente H L298N. El driver A4988 se conectará al motor que moverá el carrito. Su ventaja se caracteriza por ser de fácil manejo y de conexión, ya que mediante pulsos digitales enviados por el arduino será capaz de controlar el giro y los pasos deseados, además que cuenta con un potenciómetro variable para ajustar la corriente de salida que se le proporcionará al motor. Cuenta también con diferentes resoluciones de paso (paso completo, medio paso, cuarto de paso, etc.), haciendo más preciso y exacto el movimiento del motor. En la tabla 7-2 se observan las características del driver A4988:



**Figura 11-2.** Driver A4988

Fuente: <https://www.pololu.com/product/1182>

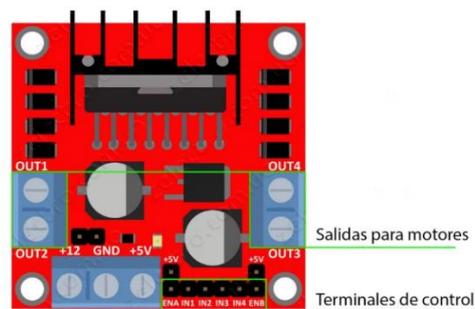
**Tabla 7-2:** Características técnicas del driver Pololu A4988

Fabricante	Pololu
Serie	A4988
Voltaje de operación	8 – 35 VDC
Corriente continua por fase	1 – 2 A
Voltaje lógico	3.3 – 5.5 VDC
Resolución de pasos	Full, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16
Número de pines	16 Pines
Dimensiones	20.3 x 15.2 mm

Fuente: <https://www.pololu.com/product/1182>

Realizado por: Cristhian Vinueza

El puente H L298N se encargará del motor que mueve al rodillo principal. Este driver o módulo es diseñado por la empresa ELECTRONILAB.CO. y cuenta con todos los elementos necesarios para controlar cualquier motor de corriente continua o paso a paso, entre ellos un regulador de 5 voltios de corriente continua para alimentar la parte lógica del módulo, además se encuentran, diodos de protección que cuidan el puente H. Posee un conector de 6 pines donde ingresan las señales del arduino para controlar (tanto en dirección como en velocidad), las 2 salidas (A y B), en donde se puede conectar en cualquiera de ellas, un motor de corriente continua o una de las bobinas del motor paso a paso bipolar. Las características del driver puente H se detallan en la tabla 8-2.

**Figura 12-4.** Puente H L298N

Fuente: <http://electronilab.co/>

**Tabla 8-2:** Características técnicas del puente H L298N

Fabricante	ELECTRONILAB.CO.
Serie	L298N
Voltaje de operación	6 – 35 VDC
Corriente pico de operación	4 A
Corriente constante de operación	2 A
Voltaje lógico de operación	3.3 – 5.5 VDC
Potencia máxima	25 W
Peso	30 g
Dimensiones	43 x 43 x 27 mm

Fuente: <http://www.naylampmechatronics.com/drivers/11-driver-puente-h-l298n.html>

Realizado por: Cristhian Vinueza

### 2.2.5 Selección del LCD

Para poder visualizar el proceso de impresión, se elige un LCD (Liquid Crystal Display) o pantalla de cristal líquido de 16x2, es decir, 16 columnas con 2 filas, sus especificaciones se muestran en la tabla 9-2:

**Tabla 9-2:** Características técnicas del LCD seleccionado

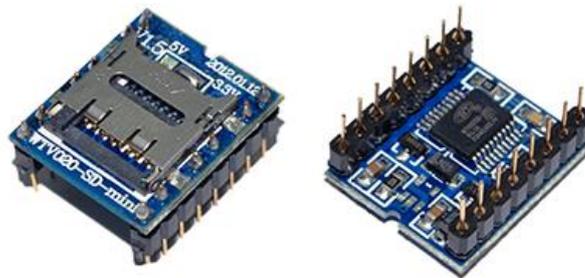
Fabricante	VISHAY
Serie	LCD-016M002B
Voltaje de entrada	5 VDC (4.7 VDC – 5.3 VDC)
Corriente de entrada	1.2 – 3 mA
Temperatura de Operación	0 - +50 °C
Voltaje Led	4.2 – 4.6 VDC
Resistencia Led	25 $\Omega$
Dimensiones	80 x 36 x 13.5 mm
Potencia	7.5 mW

Fuente: <http://www.engineersgarage.com/sites/default/files/LCD%2016x2.pdf>

Realizado por: Cristhian Vinueza

### 2.2.6 Selección del reproductor de audio

Para que las personas con discapacidad visual tengan acceso a la información, se designó un decodificador de ficheros de audio WTV020-SD-16P, que verbalice el estado de la impresora braille. Contiene una tarjeta MicroSD, donde se encontrarán los archivos de audio que se van a reproducir. Las ventajas de utilizar el decodificador WTV020 se reflejan en su reducido tamaño y en su potencia al reproducir el audio en cualquier parlante que se lo coloque. La desventaja precisamente se localiza en la tarjeta MicroSD a utilizar, ya que debe ser compatible con el módulo reproductor de audio, y máximo poseer 2 Gb de memoria. En la tala 10-2 se detallan las características principales del decodificador WTV020-SD.



**Figura 13-2.** Decodificador WTV020-SD

Fuente: <http://artofcircuits.com/wp-content/uploads/2016/05/WTV020-SD-16P.png>

**Tabla 10-2:** Características técnicas del reproductor de audio seleccionado

Serie	WTV020-SD-16P
Voltaje de entrada	2.8 – 3.5 VDC
Memoria MicroSD máxima	2 Gb
Tipos de archivos	.ad4 .wav
Velocidad de muestreo	6 Khz hasta 32 Khz
Salida de Audio	16 bits DAC/PWM
Número de pines	16 Pines
Dimensiones	20.5 x 17.5 x 9.3 mm
Peso	5 g

Fuente: <http://avrproject.ru/chasy-budilnik/WTV020SD.pdf>

Realizado por: Cristhian Vinueza

### 2.2.7 Selección de elementos para controlar el solenoide

Para activar o desactivar la bobina electromagnética (puzón) o solenoide, se necesita construir un circuito de potencia, que separe la parte de control (arduino). Es necesario que el circuito trabaje con 24 Vdc hasta máximo 50 Vdc como se especifica en las características del solenoide (tabla 5-2). Se eligió el uso de un optoacoplador 4N35, que en su interior contiene un diodo emisor de luz (LED) y un fototransistor, al ser encendido el LED, el fototransistor comienza a trabajar en modo saturación, similar al funcionamiento de un switch. En la tabla 11-2 se encuentran las características del optoacoplador 4N35.

**Tabla 11-2:** Especificaciones técnicas del optoacoplador 4N25

Fabricante	Vishay
Serie	4N35
Voltaje de entrada	1.3 – 1.5 VDC
Voltaje Colector Emisor	30 VDC
Voltaje de aislamiento	2500 VRMS
Dimensiones	7.12 x 6.5 x 4.5 mm
Tipo de detector	Fototransistor
Rango de temperatura	-55 a +100 °C
Número de pines	6 Pines

Fuente: <http://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf>

Realizado por: Cristhian Vinueza

Como complemento para el optoacoplador se seleccionó un dispositivo semiconductor llamado MOSFET (transistor de efecto de campo de metal-óxido-semiconductor), utilizado para la conmutación y amplificación de señales. Posee 3 terminales (Compuerta, Drenaje y Fuente) y pueden ser de dos tipos, canal N o P (negativo o positivo). Se opta usar el MOSFET IRFZ44N de canal N por las siguientes características que se encuentran en la tabla 12-2.

**Tabla 12-2:** Especificaciones técnicas del MOSFET IRFZ44N

Fabricante	Vishay
Serie	IRFZ44N
Voltaje Drenaje-Fuente	60 VDC
Voltaje Compuerta-Fuente	$\pm 20$ VDC
Corriente continua de Drenaje	50 A
Disipación de energía	150 W
Temperatura de operación	-55 a +175 °C

Fuente: <http://www.vishay.com/docs/91291/91291.pdf>

Realizado por: Cristhian Vinueza

### 2.2.8 Señales de entrada y salida requeridas

En la tabla 13-2 se declaran las señales de entrada y salida que estarán presentes en el sistema, es necesario realizar este proceso para proceder a elegir el microcontrolador o la placa programable (arduino), que controlará el proceso de impresión braille. Las señales de entrada vendrán de los sensores seleccionados. Las señales de salida serán generadas por el microcontrolador y permitirá que los actuadores funcionen.

**Tabla 13-2:** Señales de entrada y salida del sistema

Elementos	Entradas	Salidas
Sensor de contacto (posición del carrete)	1	
Sensor óptico (detección de la hoja en la bandeja de entrada)	1	
Sensor óptico (hoja de papel atascada)	1	
Encoder (posición del carrete)	2	
Driver Solenoide		1 PWM
Driver A4988		6
Puente H L298N		4 2 PWM
Reproductor de audio (WTV020-SD)		4
LCD (pantalla de cristal líquido)		6
Pulsadores Extras	2	
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>20</b> <b>3 PWM</b>

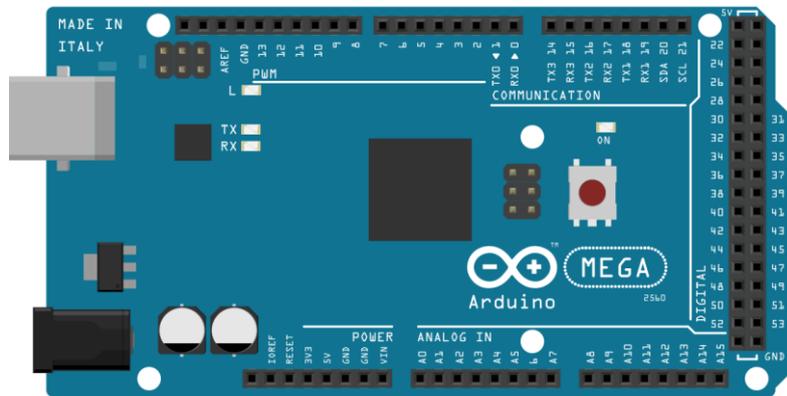
Fuente: Vinueza C., 2016

Realizado por: Cristhian Vinueza

### 2.2.9 Selección del microcontrolador

El microcontrolador es el elemento esencial del sistema de impresión braille, analizando la tabla 13-2, se necesitan 7 entradas digitales, 20 salidas digitales y 3 salidas digitales PWM (modulación por ancho de pulsos). Se seleccionó un módulo Arduino Mega 2560 en base al número de entradas y salidas. Arduino Mega 2560, posee un microcontrolador de la familia AVR denominado ATmega2560, el cual contiene 54 entradas y salidas digitales, de las cuales 15 de ellas poseen

PWM. La elección del módulo Arduino se hizo por las múltiples ventajas que ofrece: tiene fácil comunicación con la PC, posee un software libre que puede ser descargado fácilmente y su lenguaje de programación es conocido (C++), cuenta con un regulador de voltaje en su entrada para no quemar el microcontrolador, además que es compacto y fácil de manejarlo. En la tabla 14-2 se describen sus características:



**Figura 14-2.** Arduino Mega 2560  
**Fuente:** <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoMega.jpg>

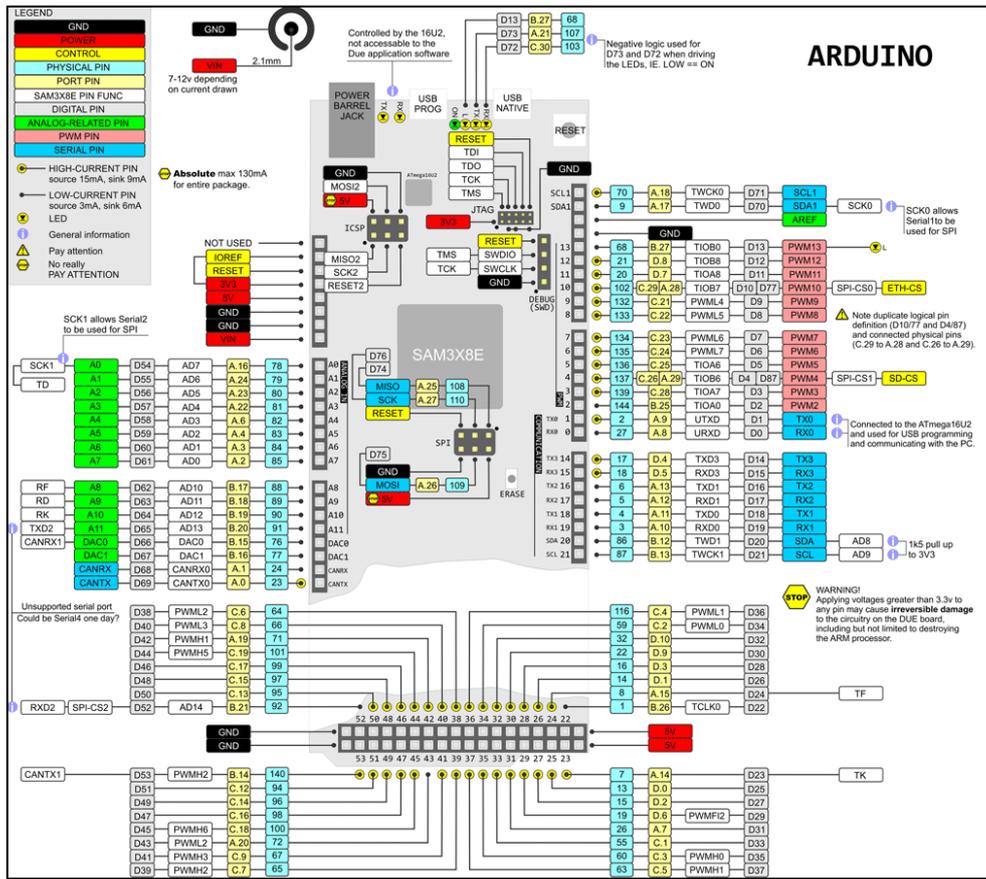
**Tabla 14-2:** Características del módulo Arduino Mega seleccionado

Fabricante	Arduino
Microcontrolador	ATmega2560
Tensión de funcionamiento	5 VDC
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12 VDC
Voltaje de entrada (límite)	20 VDC
Entradas/Salidas digitales	54 (15 salidas PWM)
Entradas analógicas	16
Corriente continua de funcionamiento	20 mA
Memoria flash	256 KB, 8 KB gestor de arranque
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
Dimensiones	101.52 x 53.3 mm
Peso	37 g

**Fuente:** <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

**Realizado por:** Cristhian Vinuesa

Arduino Mega puede ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. En el terminal VIN (voltaje de entrada) se puede suministrar un voltaje a la placa Arduino, cuando se trata de utilizar una fuente de alimentación externa. Tiene comunicación en serie con el programa y se lo realiza por medio del cable USB.



**Figura 15-2.** Diagrama Arduino Mega 2560  
**Fuente:** <http://www.robgray.com/temp/Due-pinout-WEB.png>

### 2.2.10 Selección de las fuentes de alimentación

Para la alimentación del Arduino Mega y la energización de los motores paso a paso se adaptó una fuente de computadora ATX. Los sensores, LCD y el reproductor de audio, no fueron considerados para la selección, debido a que estos componentes se energizan mediante el módulo Arduino, ya que es capaz de generar 5 VDC y 3.3 VDC. Las características de la fuente externa ATX se observan en la tabla 15-2:

**Tabla 15-2:** Características técnicas de la fuente ATX

Fabricante	Optimus
Serie	ATX-PIV-500W
Voltaje de entrada	115 – 230 VAC
Frecuencia	60 Hz
Voltaje y corriente de salida	+ 3.3 VDC - 28 A + 12 VDC - 20 A - 12 VDC - 1 A + 5 VDC - 30 A - 5 VDC - 0.5 A
Potencia	500 W

**Fuente:** Vinueza C., 2016

**Realizado por:** Cristhian Vinueza

Para la alimentación del solenoide se seleccionó una fuente externa de 24 VDC. Este voltaje alimentará tanto al fototransistor del 4N25 y al MOSFET IRFZ44N debido a que ellos actúan como switch para que el solenoide se active. Sus características se expresan en la tabla 16-2:

**Tabla 16-2:** Características técnicas de la fuente de 24VDC

Fabricante	QWIFM
Serie	IDR-60-24
Voltaje de entrada	100 – 240 VAC
Frecuencia	50/60 Hz
Voltaje y corriente de salida	+ 24 VDC – 2.5 A
Potencia	60 W

**Fuente:** <http://www.tme.eu/es/details/mdr-60-24/fuentes-de-alimentacion-para-rail-din/mean-well/>

**Realizado por:** Cristhian Vinueza

## 2.3 Diseño electrónico del sistema

En esta etapa se construyeron los diferentes circuitos electrónicos que interactuarán con el módulo Arduino Mega 2560. Además, se empleó el uso de un software llamado Eagle, el cual permite diseñar el esquema de cualquier circuito electrónico y posteriormente realizarlo en PCB (circuito impreso en placa). El software cuenta con una serie de dispositivos electrónicos virtuales en su memoria, y tiene la capacidad de crear nuevos componentes en caso de no contar con ellos.

### 2.3.1 *Diseño del circuito para controlar el solenoide*

El solenoide es el elemento que se encarga de realizar el punto en relieve. Por ser un actuador electromecánico, es valorado como elemento de potencia. De acuerdo a las características de la tabla 5-2, trabaja a un voltaje de 24VDC, generando 4,5 Nétwtones de fuerza. El sistema de control del solenoide será ON/OFF, ya que solo se necesita activarlo, para que realice la presión necesaria y forme el punto braille. Para ello, se necesita de un circuito tipo switch o interruptor para cargas que requieran mayor potencia, es decir, que conecte o desconecte la fuente de voltaje a la carga, permitiendo o no, el paso de corriente, a partir de una señal digital enviada por el microcontrolador. En la tabla 17-2 se observa la potencia consumida del electroimán en relación a su ciclo de trabajo.

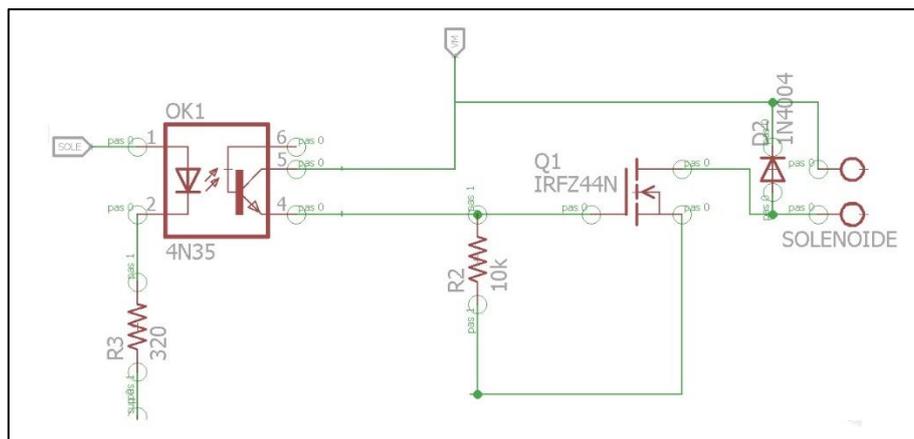
**Tabla 17-2:** Ciclo de trabajo del solenoide

Ciclo de Trabajo	Potencia	Corriente a 24 VDC	Corriente a 50 VDC	Tiempo de Operación
5 %	190 W	7,92 A	3.8 A	46 ms
15 %	63 W	2,62 A	1,26 A	52 ms
25 %	38 W	1,58 A	0,76 A	56 ms
40 %	24 W	1 A	0,48 A	61 ms
100 %	9.4 W	0,39 A	0,19 A	62 ms

Fuente: [http://www.islikermagnete.co.uk/download/prospekt/4\\_01\\_1\\_GE-32.pdf](http://www.islikermagnete.co.uk/download/prospekt/4_01_1_GE-32.pdf)

Realizado por: Cristhian Vinueza

El uso de un transistor Mosfet como interruptor es necesario, debido a que maneja grandes cantidades de corriente y posee un switcheo bastante rápido. Es importante proteger de corrientes altas la etapa de control, por lo que mediante un optoacoplador 4N35 (fototransistor), se separa la etapa de potencia con el microcontrolador (Arduino), como se visualiza en la figura 16-2.



**Figura 16-2.** Circuito de potencia para el solenoide

Fuente: Vinueza C., 2016

La salida del microcontrolador es una señal PWM, es decir que se puede cambiar el ancho del pulso de la señal. La resistencia R3 se determina por medio de la ecuación 1-2.

**Ecuación 1-2.** Resistencia de entrada al optoacoplador

$$R3 = \frac{V_{in} - V_{LED}}{I_{LED}}$$

Donde:

**R** = Resistencia

**V<sub>in</sub>** = Voltaje entrada (señal microcontrolador)

**V<sub>LED</sub>** = Voltaje consumido por el LED

**I<sub>LED</sub>** = Corriente consumida por el LED

$$R3 = \frac{5 - 1.8}{10 \text{ mA}} = 320 \Omega$$

Por lo tanto usando la ecuación 1-2, se obtiene que la resistencia a la entrada del 4N35, es de  $320\Omega$ , que por no existir en el mercado, se colocó una resistencia de  $330\Omega$ .

El fototransistor del 4N35, trabaja como un interruptor, que al detectar la luz del led, deja pasar una corriente entre colector y emisor, la misma que es receptada por el pin Gate del Mosfet, controlando la corriente que circulará entre los pines de Fuente y Drenador ( $I_{sd}$ ). Por lo tanto el Mosfet trabajará en modo de Corte (OFF) y de Saturación (ON). Para llegar a la saturación es importante que la tensión de control en el terminal Gate sea suficientemente alta. La resistencia R2 se usa para definir un estado lógico preciso del Mosfet, en caso que no lo hiciera por sí solo, especialmente en la fase de inicialización del mismo. Esta resistencia también es llamada PULL-DOWN, debido a que mantiene un estado lógico bajo (0) cuando no existe tensión en la compuerta Gate. Los valores de resistencia PULL-DOWN comunes pueden estar entre  $1 \text{ K}\Omega$  y  $100 \text{ K}\Omega$ .

Es necesario colocar un diodo de protección en paralelo a la carga, debido a que es un inductor, y puede generar corrientes dañinas que destruyan el circuito de potencia. El diodo elegido soportará una corriente de 3A.

### 2.3.2 *Diseño del circuito de control*

Una vez seleccionados todos elementos y componentes que formarán parte de la impresora Braille, se procedió a diseñar el circuito esquemático de control. El elemento principal es el módulo Arduino Mega 2560, y es con éste, donde se empieza el desarrollo.

**Tabla 18-2:** Relación de pines de Arduino Mega 2560 con los diferentes componentes.

Pin Arduino Mega	Nombre Pin Arduino	Elemento	Pin Elemento
RESET	RESET	-	-
3V3	Salida de 3 Vdc	WTV020-SD A4988	PIN 16 PIN 10
5V	Salida de 5 Vdc	L298N LCD Encoder	PIN 1 PIN 2 , PIN 15 PIN 4
GND	GND	WTV020-SD A4988	PIN 8 PIN 9
GND	GND	L298N LCD Encoder 4N25	PIN 2 PIN 1, PIN 16 PIN 1 PIN2
VIN	Voltaje de Entrada		
A0	Pin Analógico 0	-	-
A1	Pin Analógico 1	-	-

<b>Pin Arduino Mega</b>	<b>Nombre Pin Arduino</b>	<b>Elemento</b>	<b>Pin Elemento</b>
A2	Pin Analógico 2	-	-
A3	Pin Analógico 3	-	-
A4	Pin Analógico 4	-	-
A5	Pin Analógico 5	-	-
A6	Pin Analógico 6	-	-
A7	Pin Analógico 7	-	-
A8	Pin Analógico 8	-	-
A9	Pin Analógico 9	-	-
A10	Pin Analógico 10	-	-
A11	Pin Analógico 11	-	-
A12	Pin Analógico 12	-	-
A13	Pin Analógico 13	-	-
D0 (PWM)	Pin Digital 0 (PWM)	-	-
D1 (PWM)	Pin Digital 1 (PWM)	-	-
D2 (PWM)	Pin Digital 2 (PWM)	A4988	RESET
D3 (PWM)	Pin Digital 3 (PWM)	A4988	STEP
D4 (PWM)	Pin Digital 4 (PWM)	A4988	DIR
D5 (PWM)	Pin Digital 5 (PWM)	Pulsador Imprimiendo	PIN1
D6 (PWM)	Pin Digital 6 (PWM)	Pulsador Habilitar	PIN 1
D7 (PWM)	Pin Digital 7 (PWM)	Fin de carrera	PIN 1
D8 (PWM)	Pin Digital 8 (PWM)	L298N	ENABLE A
D9 (PWM)	Pin Digital 9 (PWM)	L298N	IN 1
D10 (PWM)	Pin Digital 10 (PWM)	L298N	IN 2
D11 (PWM)	Pin Digital 11 (PWM)	L298N	IN 3
D12 (PWM)	Pin Digital 12 (PWM)	L298N	IN 4
D13 (PWM)	Pin Digital 13 (PWM)	L298N	ENABLE B
D14	Pin Digital 14	-	-
D15	Pin Digital 15	-	-
D16	Pin Digital 16	-	-
D17	Pin Digital 17	-	-
D18 (INT 3)	Pin Digital 18 - Interrupción 3	-	-
D19 (INT 2)	Pin Digital 19 - Interrupción 2	-	-
D20 (INT 1)	Pin Digital 20 - Interrupción 1	-	-
D21 (INT 0)	Pin Digital 21 - Interrupción 0	Encoder	PIN 2
D22	Pin Digital 22	A4988	MS1
D23	Pin Digital 23	LCD	Register Select (RS)
D24	Pin Digital 24	A4988	MS2
D25	Pin Digital 25	LCD	Enable ( E )
D26	Pin Digital 26	A4988	MS3
D27	Pin Digital 27	LCD	DATA 4
D28	Pin Digital 28	-	-
D29	Pin Digital 29	LCD	DATA 5
D30	Pin Digital 30	-	-
D31	Pin Digital 31	LCD	DATA 6

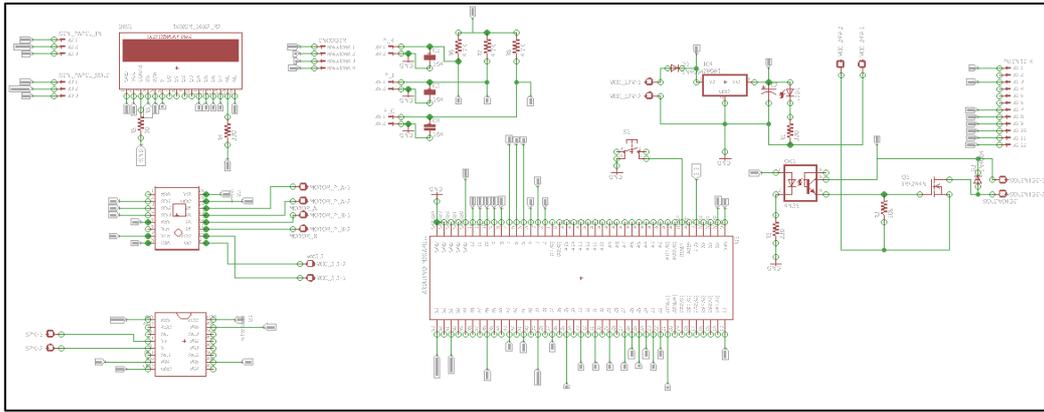
Pin Arduino Mega	Nombre Pin Arduino	Elemento	Pin Elemento
D32	Pin Digital 32	-	-
D33	Pin Digital 33	LCD	DATA 7
D34	Pin Digital 34	-	-
D35	Pin Digital 35	Encoder	PIN 3
D36	Pin Digital 36	-	-
D37	Pin Digital 37	WTV020-SD	DATA
D38	Pin Digital 38	-	-
D39	Pin Digital 39	WTV020-SD	RESET
D40	Pin Digital 40	-	-
D41	Pin Digital 41	WTV020-SD	BUSY
D42	Pin Digital 42	-	-
D43	Pin Digital 43	WTV020-SD	CLOCK
D44 (PWM)	Pin Digital 44 (PWM)	-	-
D45 (PWM)	Pin Digital 45 (PWM)	-	-
D46 (PWM)	Pin Digital 46 (PWM)	4N25	PIN 1
D47	Pin Digital 47	-	-
D48	Pin Digital 48	-	-
D49	Pin Digital 49	-	-
D50	Pin Digital 50	-	-
D51	Pin Digital 51	Sensor Papel de Entrada	Emisor Fototransistor
D52	Pin Digital 52	-	-
D533	Pin Digital 53	Sensor Papel Atascado	Emisor Fototransistor

Fuente: Vinueza C., 2016

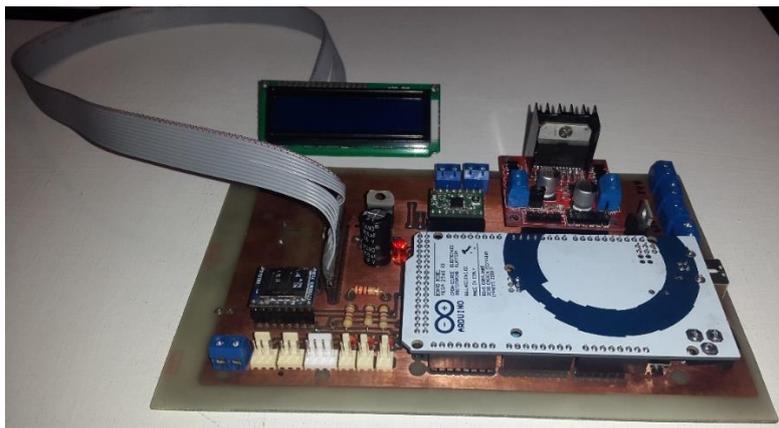
Realizado por: Cristhian Vinueza

En la tabla 18-2, se puede visualizar los pines o terminales del Arduino Mega ya seleccionados para cada componente o elemento escogido anteriormente.

Seguidamente se comenzó a diseñar el esquema del circuito que contenga el módulo Arduino, los dos drivers o controladores de los motores paso a paso (A4988 y L298N), y además, el módulo WTV020-SD-16P, encargado de reproducir archivos de audio, el LCD (pantalla de cristal líquida) y el circuito de potencia y control del solenoide, conformado por el optoacoplador y el MOSFET para el encendido y apagado del mismo. En la figura 17-2 se muestra la simulación del diseño esquemático del circuito diseñado en el software Eagle. El diagrama del circuito de control se encuentra en el Anexo 1.



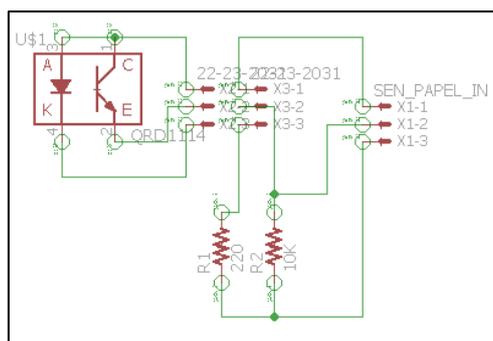
**Figura 17-2.** Diseño esquemático del circuito de control  
**Fuente:** Vinueza C., 2016.



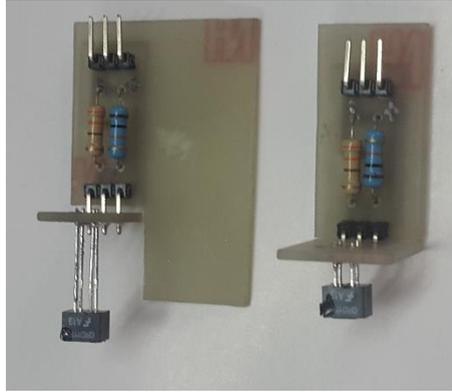
**Figura 18-2.** Circuito de control en placa  
**Fuente:** Vinueza C., 2016.

### 2.3.3 Diseño de circuitos extras

Los diferentes sensores ópticos, también fueron diseñados en placa, debido a que cuentan con elementos pasivos que le permiten trabajar al sensor. En la figura 19-2 se muestra el diagrama esquemático realizado en Eagle del sensor óptico QRD1114.



**Figura 19-2.** Diseño esquemático del circuito para el sensor QRD1114  
**Fuente:** Vinueza C., 2016.



**Figura 20-2.** Circuitos en placa de los sensores QRD1114  
**Fuente:** Vinueza C., 2016.

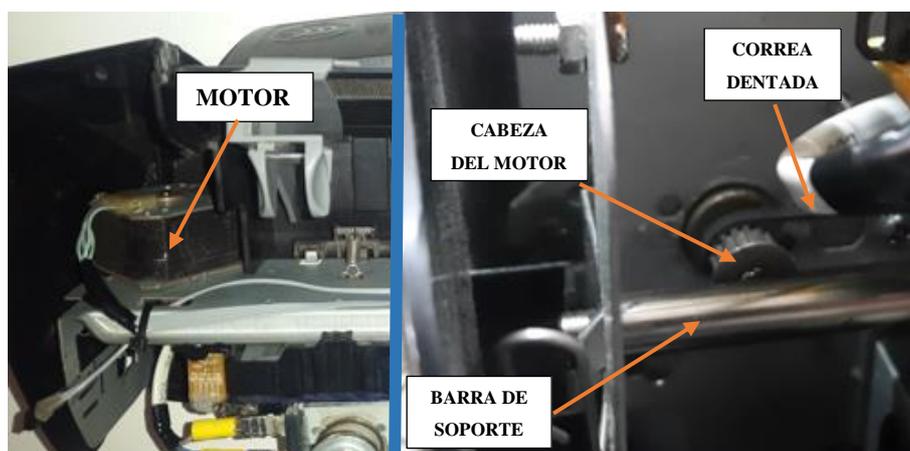
Para elaborar el circuito del sensor de fin de carrera, se usó una placa universal perforada, donde simplemente se colocó al sensor y los terminales que permitirán conectarse con el circuito principal. Sus elementos pasivos para lograr el funcionamiento de éste, se alojan en el circuito de control (ver Anexo 1).

## 2.4 Integración de los componentes electrónicos

Una vez diseñados y contruidos todos los circuitos en placa, se hizo la instalación de los componentes electrónicos escogidos anteriormente, en la estructura de la impresora Lexmark Z615 seleccionada.

### 2.4.1 Ubicación del motor paso a paso para mover el carrete

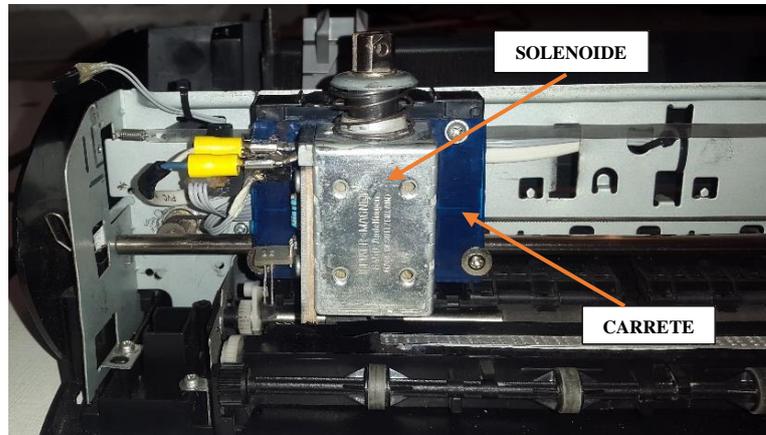
Se reutilizó el lugar del motor de corriente continua que incluía la impresora Lexmark Z615, y se colocó el motor paso a paso bipolar seleccionado, como se muestra en la figura 21-2. Al activarse el motor, moverá la correa dentada y por ende, el carrete de impresión.



**Figura 21-2.** Ubicación del motor paso a paso  
**Fuente:** Vinueza C., 2016.

### 2.4.2 Ubicación del solenoide

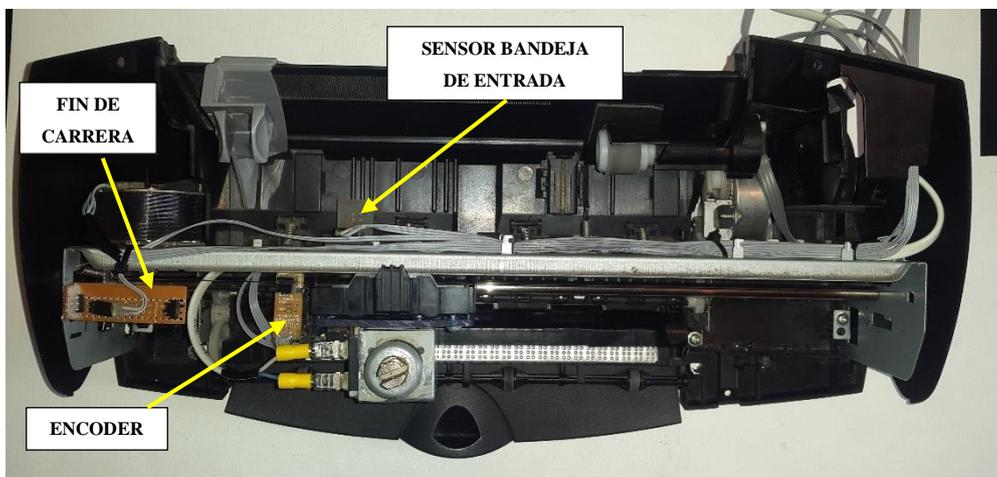
El solenoide (punzón de la impresora Braille), se situó en el carrete, una vez que fueron retirados los cartuchos de tinta y el soporte de éstos. En la figura 22-2, se aprecia la ubicación del solenoide en la impresora.



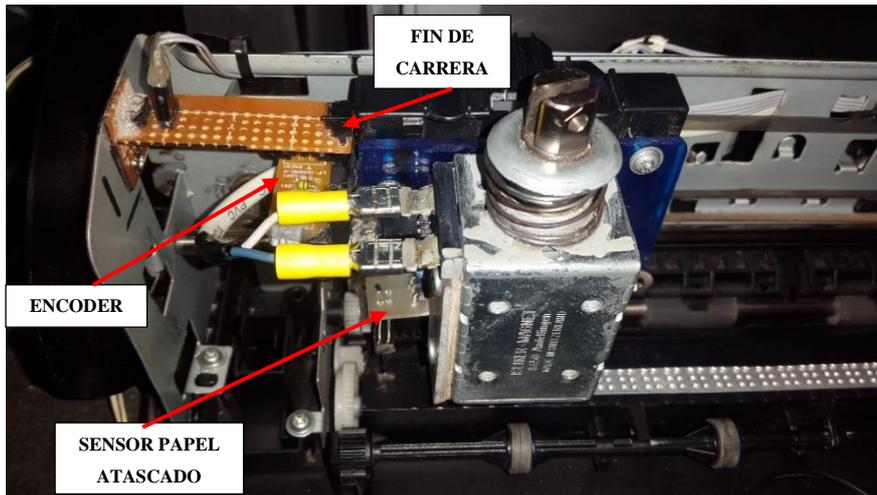
**Figura 22-2.** Ubicación del solenoide  
Fuente: Vinueza C., 2016.

### 2.4.3 Ubicación de los sensores

Los sensores se ubicaron estratégicamente para que cumplan con los objetivos de: verificar si en la bandeja de entrada se encuentra una hoja de papel (QRD1114); si en el instante en que se introduce la hoja, ésta se atasca o no (QRD1114); para ubicar en una posición inicial el carrete de impresión (fin de carrera) y el más importante, trasladar en medidas exactas el punzón para que realice el punto en relieve (encoder). En las figuras 23-2 y 24-2, se muestra la ubicación de los diferentes sensores.



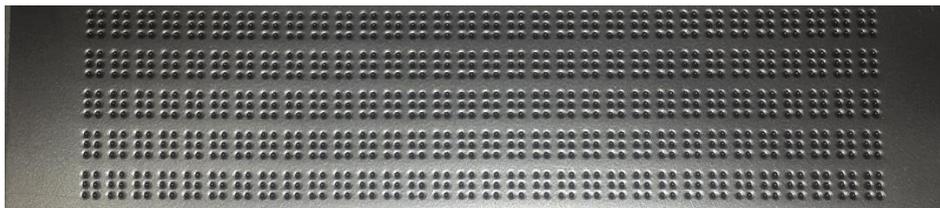
**Figura 23-2.** Ubicación de sensores (vista superior)  
Fuente: Vinueza C., 2016.



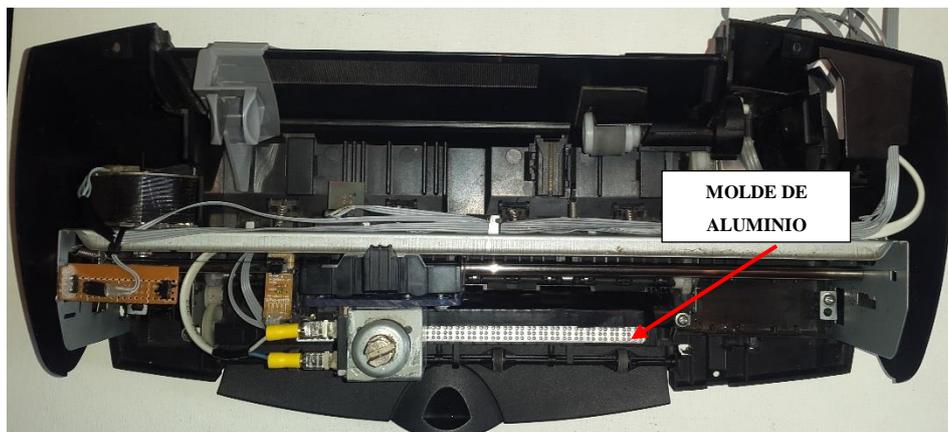
**Figura 24-2.** Ubicación de sensores (vista frontal)  
 Fuente: Vinueza C., 2016.

#### 2.4.4 Implementación y ubicación de un molde para realizar el punto Braille

Para formar el punto en relieve sin que rompa la hoja de papel, se diseñó en una lámina de aluminio, el signo generador Braille, para que cumpla con la función de molde. Al ser golpeada la hoja de papel con el solenoide, el molde que se encontrará por debajo de la hoja, formará el punto en relieve. En la figura 26-2 se muestra la ubicación de la lámina de aluminio en la impresora.



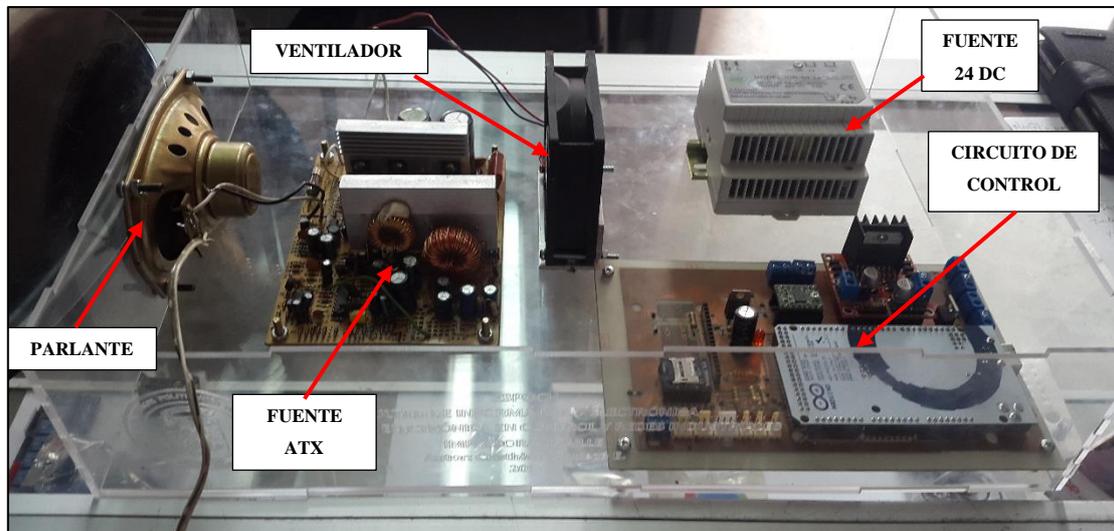
**Figura 2-5.** Molde de aluminio con el signo generador Braille  
 Fuente: Vinueza C., 2016.



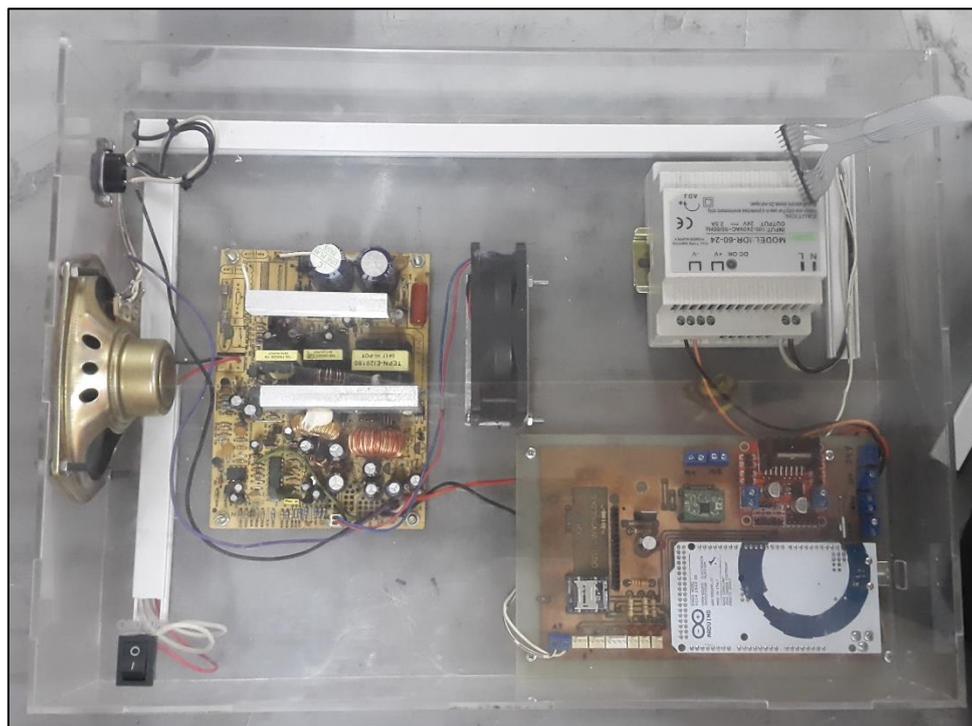
**Figura 2-6.** Ubicación del molde de aluminio  
 Fuente: Vinueza C., 2016.

#### 2.4.5 Ubicación de elementos restantes

Para la ubicación del circuito de control, el parlante y las dos fuentes de alimentación, se diseñó una estructura en acrílico de 40 cm de largo, 30 cm de ancho y 9 cm de altura. En la figura 27-2 se expone la ubicación de los elementos en la base de la estructura de acrílico



**Figura 27-2.** Ubicación de los elementos en la estructura de acrílico  
Fuente: Vinueza C., 2016.



**Figura 28-2.** Estructura en acrílico instalados los elementos  
Fuente: Vinueza C., 2016.

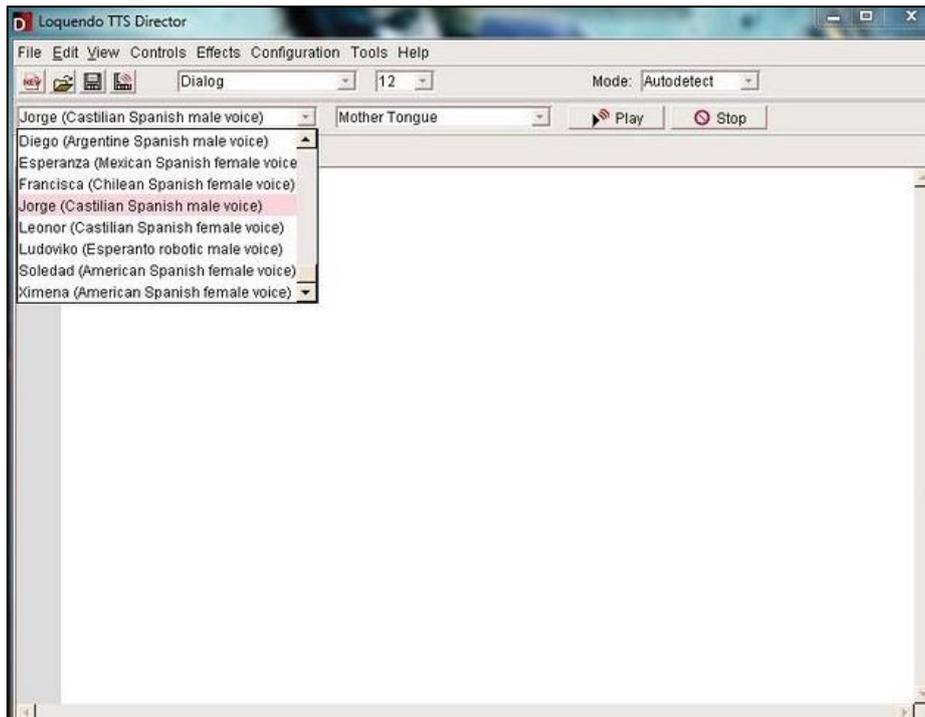
Una vez colocados todos los elementos, se obtuvo como resultado la impresora Braille la cual se puede observar en la figura 29-2.



**Figura 29-2.** Impresora Braille  
Fuente: Vinueza C., 2016.

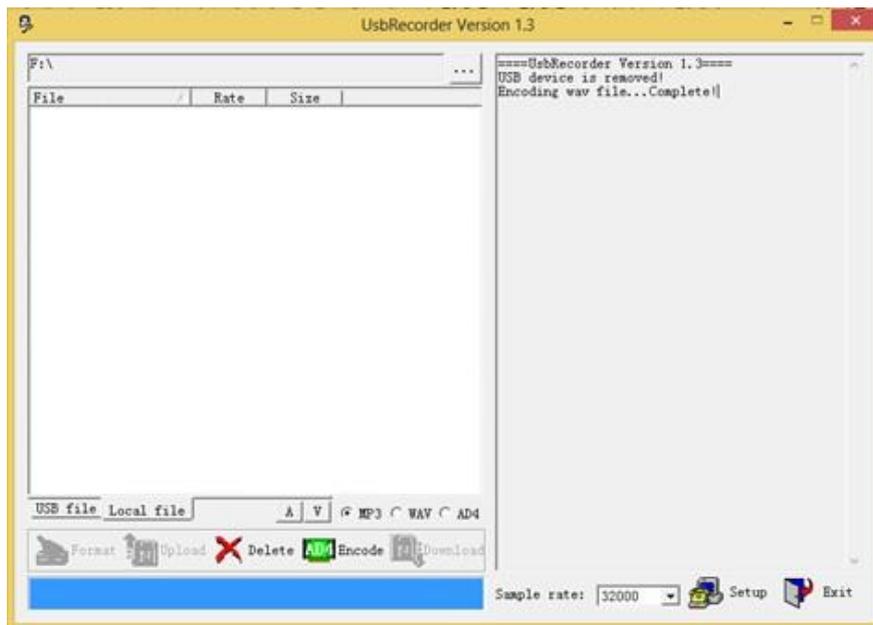
## 2.5 Reproducción de voz

En esta etapa, se graban los mensajes de audio que indican a la persona discapacitada visual, el estado en que se encuentra la impresora. Primero se generan los archivos de voz mp3, ocupando un programa llamado Loquendo TTS Director.



**Figura 30-2.** Pantalla principal de Loquendo TTS Director  
**Fuente:** Vinueza C., 2016.

Una vez creadas las voces, se usa el software USB Recorder, capaz de convertir los archivos mp3, en archivos compatibles con el módulo WTV020-SD-16P (AD4) y a una frecuencia de 32000 Hz.



**Figura 31-2.** Pantalla principal de USB Recorder  
**Fuente:** Vinueza C., 2016.

Una vez convertidos los archivos, se los copia a la tarjeta Micro SD. En la tabla 19-2, se muestran los archivos convertidos y los mensajes que emitirá el reproductor de voz.

**Tabla 19-2:** Mensajes del reproductor de voz

ARCHIVO	MENSAJE
000.AD4	LISTO PARA IMPRIMIR
001.AD4	IMPRESIÓN TERMINADA
003.AD4	IMPRIMIENDO
004.AD4	NO SE HA ENCONTRADO PAPEL

Fuente: Vinueza C., 2016

Realizado por: Cristhian Vinueza

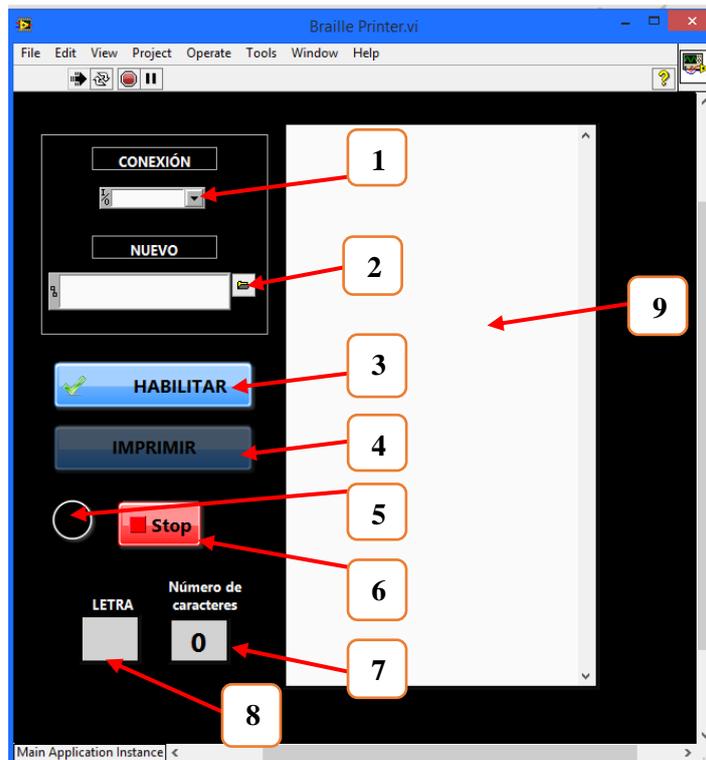
## 2.6 Programación de la interfaz de usuario

En esta etapa se creó una interfaz de usuario que permita interactuar con la impresora braille, un programa para el sistema operativo Windows XP, 7, 8 o 10. El software es capaz de tomar el archivo de texto (.txt), habilitar la impresora e imprimir. Este programa fue realizado en Labview 2012, un entorno de programación gráfico (lenguaje G), que interactúa y controla elementos hardware. Diseñado y creado por la empresa National Instruments hace 40 años. En su base de datos contiene bloques prediseñados con funciones especiales que al unir o entrelazar con otros bloques, se puede crear un proceso secuencial capaz de resolver un problema. El programa consta de dos pantallas individuales que están estrechamente ligadas, una frontal o de monitoreo donde el usuario es capaz de visualizar variables o interactuar con ellas, y la otra de programación donde se encuentran los diagramas de bloques funcionales.

### 2.6.1 Pantalla principal

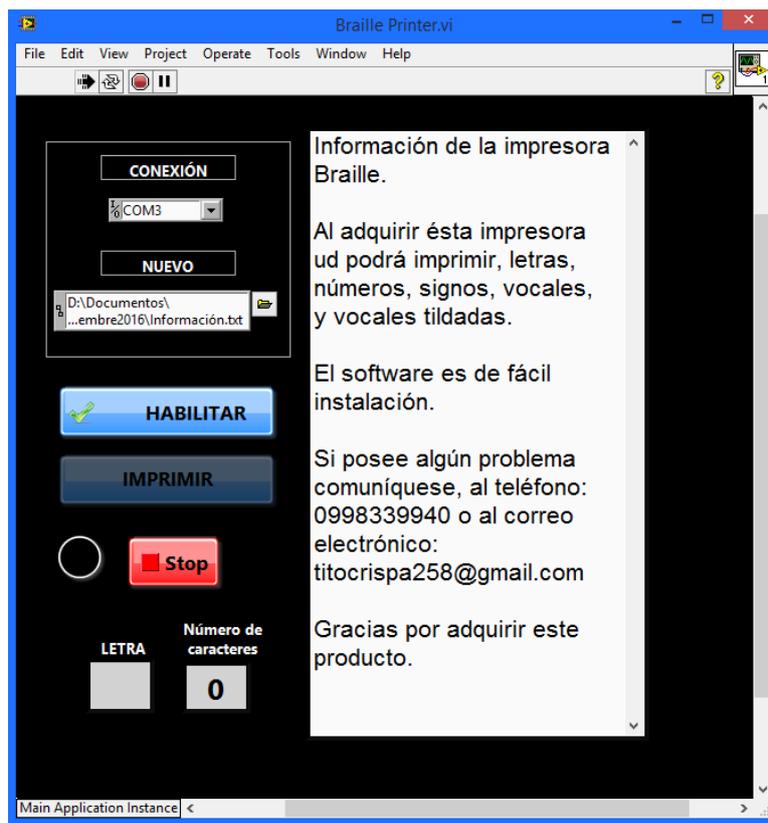
En la pantalla principal del programa, le permite al usuario, escoger el puerto de comunicación donde se encuentra conectada la impresora braille; además de seleccionar un archivo de texto (.txt). Cuenta también con dos pulsadores digitales (HABILITAR e IMPRIMIR), los cuales activan y ordenan a la impresora braille, que realice el proceso. En la figura 32-2 se detallan las partes principales que compone la pantalla principal del programa desarrollado en Labview 2012.

1. Conexión con la impresora braille. Número del puerto.
2. Selección del archivo de texto (.txt).
3. Botón “HABILITAR”, prepara la impresora para imprimir.
4. Botón “IMPRIMIR”, ejecuta la impresión.
5. Indicador de estado de la impresora, al recibir un carácter.
6. Botón “STOP”, cancela la impresión.
7. Indicador del número de caracteres que se van imprimiendo.
8. Indicador de carácter que se está imprimiendo.
9. Texto a imprimir.



**Figura 32-7.** Pantalla principal de la interfaz de usuario  
 Fuente: Vinueza C., 2016.

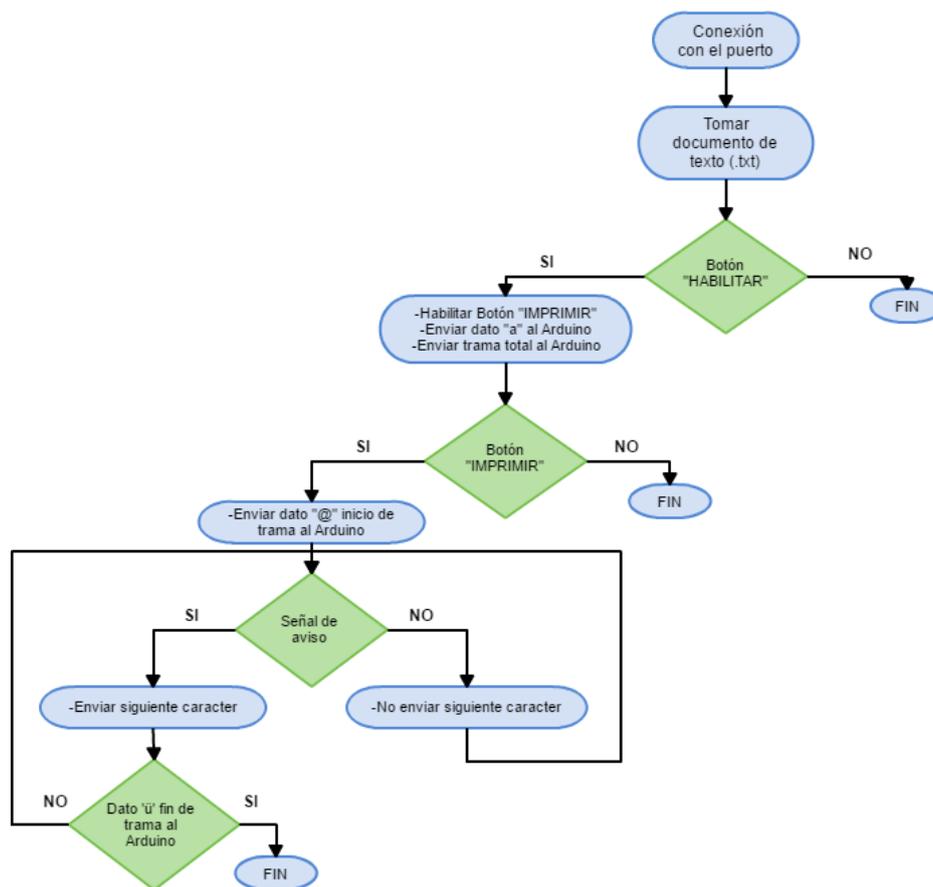
En la figura 33-2, se puede observar un documento de texto que está listo para ser impreso.



**Figura 33-2.** Documento previo a la impresión  
 Fuente: Vinueza C., 2016.

## 2.6.2 Esquema interno del software

La función del software es tomar un archivo de texto (.txt), y desglosarlo caracter por caracter, para posteriormente, enviar cada uno de ellos, al módulo Arduino Mega, mediante el puerto de comunicación serial, utilizando los drivers de NI VISA para Labview 2012, encargados de la lectura y escritura de datos. Al intercambiar información serialmente, el código ASCII está presente, debido a que cada caracter se identifica por un número decimal, permitiendo así que no se pierda o se confunda a la hora de receptorlo. Por ser un sistema estándar, existen tablas establecidas de los caracteres con su respectivo número decimal o código ASCII. En el siguiente esquema (gráfico 4-2), se observa el algoritmo general de funcionamiento del software.



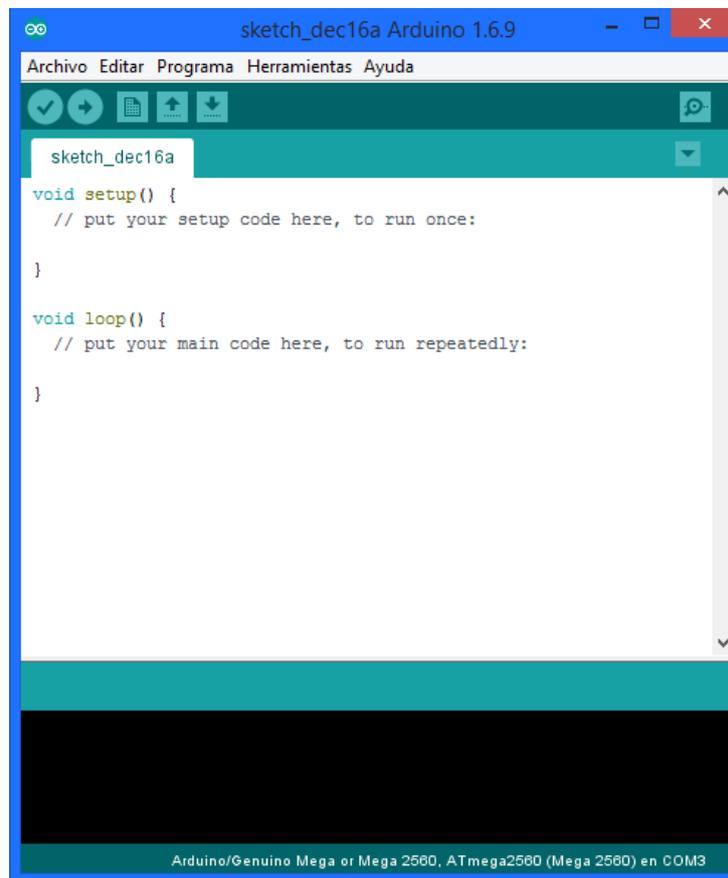
**Gráfico 4-2.** Algoritmo de programación del software  
Fuente: Vinueza C., 2016.

Analizando el gráfico 4-2, la interfaz de usuario permite que se escoja el puerto de comunicación donde se encuentra la impresora braille, además, de seleccionar el documento (.txt) a imprimir. El botón “HABILITAR”, prepara la impresora antes de la impresión. El botón “IMPRIMIR” genera una señal que es receptada por Arduino, que indica que se enviará toda la cadena de caracteres. Para que Arduino identifique la cadena de datos, el software enmarca el texto con dos caracteres especiales, el arroba “@” y la diéresis “ü”, esto significa que cuando Arduino Mega

recibe “@”, comenzará la impresión y de la misma forma, cuando recibe “ü”, después de un espacio u otro caracter que no sea la “g”, la impresión finalizará. Para que el software despache un caracter, se necesita de una señal de aviso por parte de Arduino señalando que se encuentra disponible.

## 2.7 Programación del módulo Arduino

La programación de Arduino se lo realizó mediante un software llamado entorno de desarrollo (IDE), que se lo puede descargar gratuitamente en su página web. El lenguaje de programación que utiliza es C++, un lenguaje de fácil uso y con múltiples funciones. Arduino tiene una comunicación serial con el software, y puede recibir y transmitir datos por medio de su cable USB. En la figura 34-2 se muestra el entorno de desarrollo (IDE) de Arduino.

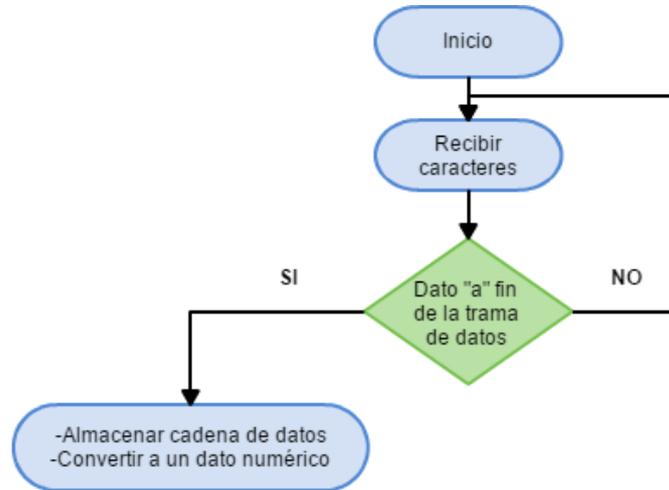


**Figura 34-2.** Entorno de desarrollo (IDE) de Arduino

Fuente: Vinueza C., 2016.

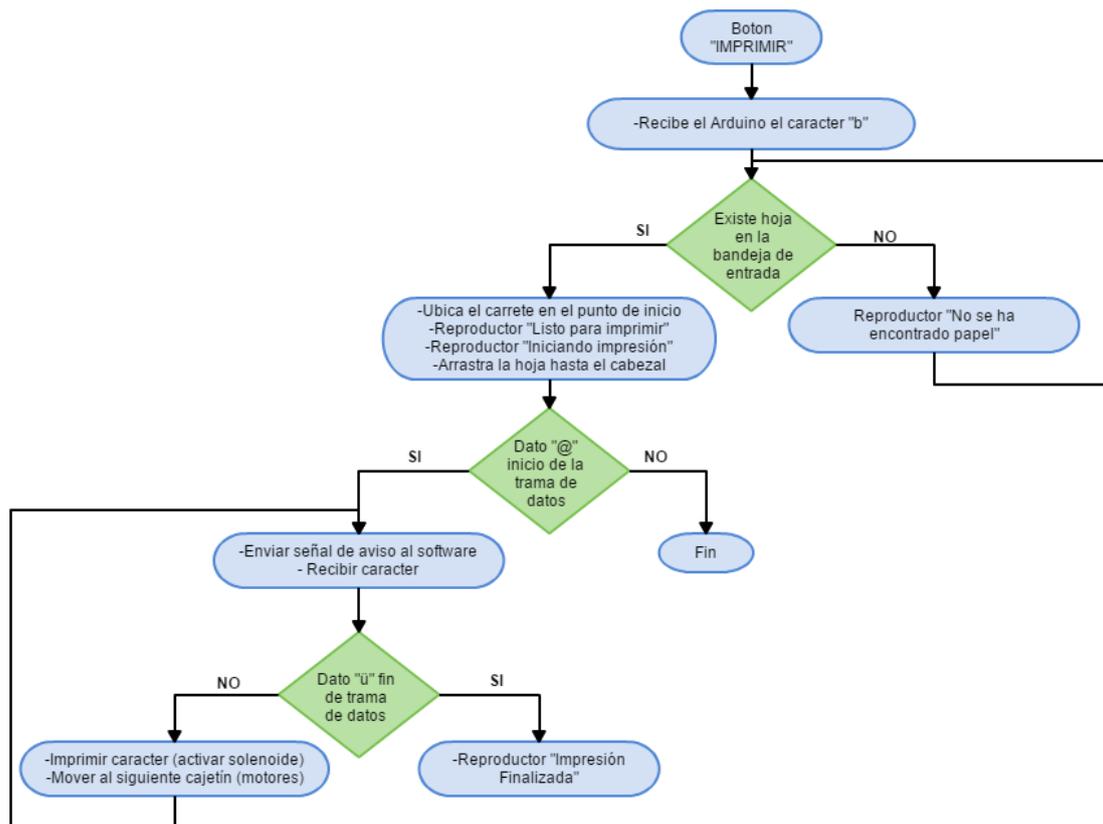
El programa diseñado para Arduino, trabaja conjuntamente con el software desarrollado en Labview 2012. Al pulsar el botón “HABILITAR” en el software, el microcontrolador obtiene el número total de caracteres que se van a imprimir, es decir, el programa envía una trama de números que viene enmarcada al final por una letra “a”, indicando el final de la trama. Todos los

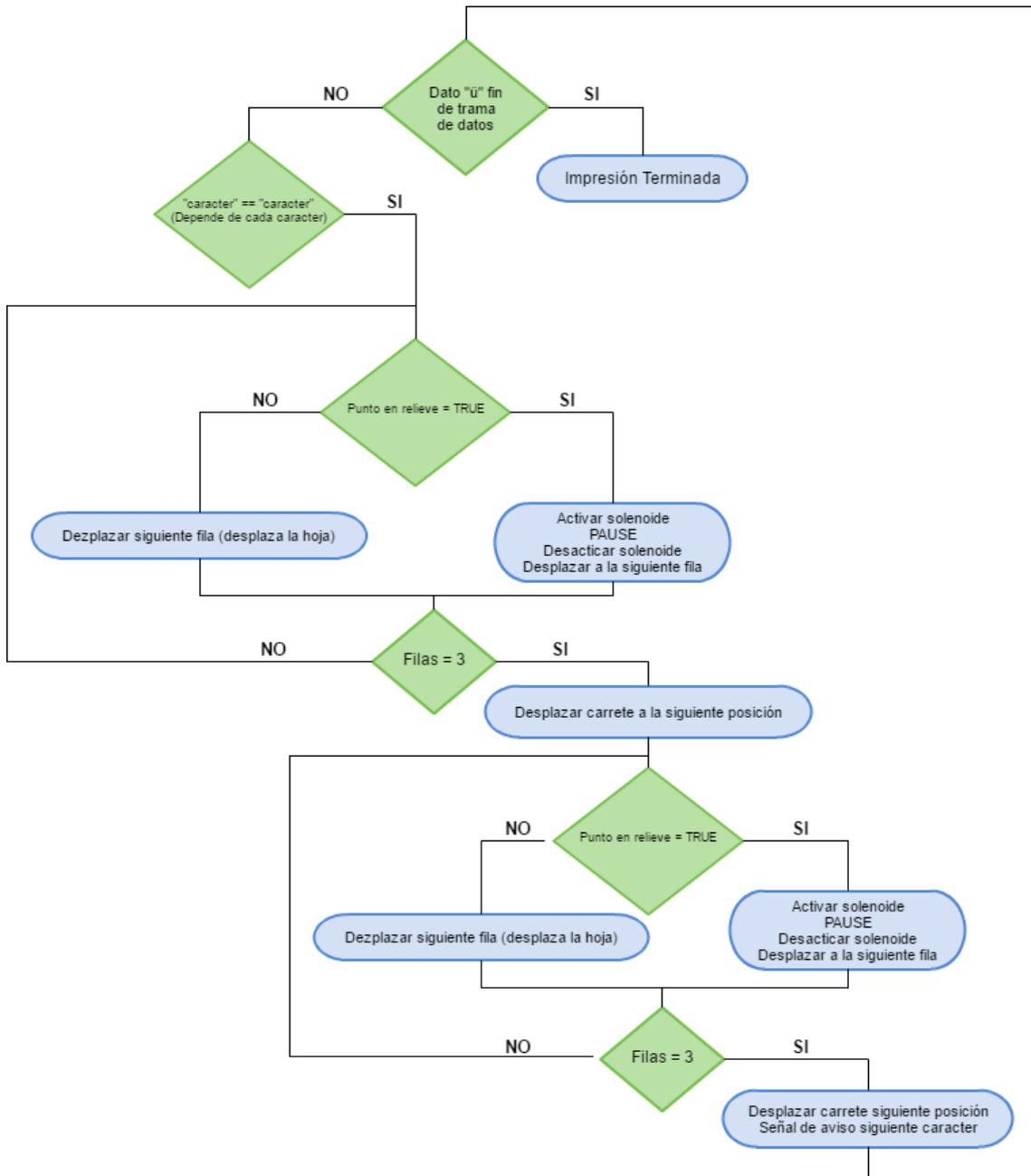
datos recibidos antes de la letra “a”, se guardan en un vector que después se lo convierte a un dato numérico, con la finalidad de comparar, cuantos datos se han impreso y cuantos faltan por imprimirse. El algoritmo al pulsar el botón “HABILITAR” se observa en el gráfico 5-2.



**Gráfico 5-2.** Algoritmo de Arduino al pulsar el botón “HABILITAR”  
Fuente: Vinueza C., 2016.

Una vez que se conoce el número total de letras a imprimir, se espera que el usuario pulse el botón “IMPRIMIR”. En el gráfico 6-2, se observa el algoritmo al pulsar el botón “IMPRIMIR”.





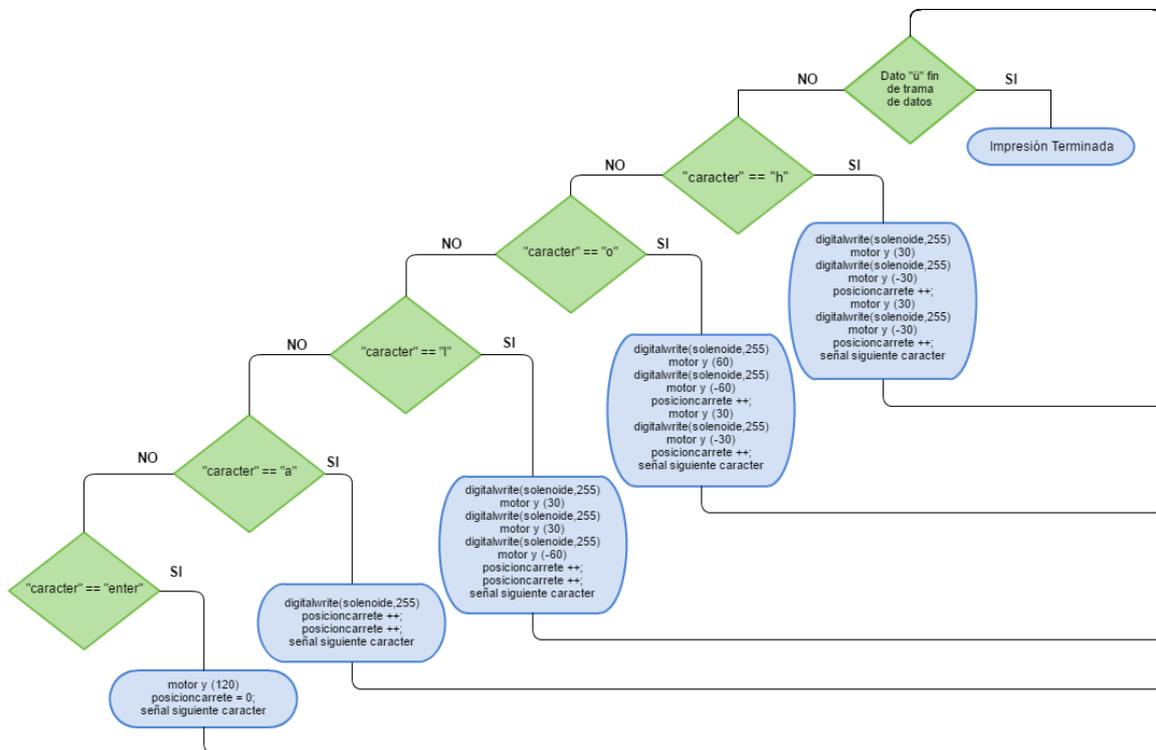
**Gráfico 6-2.** Algoritmo de Arduino al pulsar el botón “IMPRIMIR”

Fuente: Vinueza C., 2016.

Analizando el algoritmo al pulsar el botón “IMPRIMIR” (gráfico 6-2), el software envía una señal de aviso al Arduino de forma serial, comenzando así, la impresión. Como primer paso el sensor óptico ubicado en la bandeja de entrada detectará la hoja de papel, que en caso de no encontrarla, el reproductor de audio y el LCD emitirán un mensaje de “No se ha encontrado papel”, y lo repetirá hasta que el usuario la coloque. Una vez detectada la hoja, el carrete de impresión que contiene al solenoide, se ubica en una posición inicial establecida por medio, del sensor fin de carrera.

Al establecer todos los puntos de inicio para la impresión, el reproductor de audio y el LCD emitirán dos mensajes, “Listo para imprimir” e “Iniciando impresión”, indicando al usuario que está a punto de iniciar la impresión.

La hoja comienza a ser arrastrada por el rodillo principal, hasta colocarse por debajo del punzón. Al percibir Arduino el carácter “@”, envía una señal de aviso al software, indicando que se despache el primer carácter. Cada letra braille se forma por medio de una matriz de 3x2 (3 filas y 2 columnas), y se diferencian por la variedad de puntos en relieve que se pueden formar con dicha matriz. Basándonos en el alfabeto braille (figura 5-1), se convirtió cada letra, número y símbolo por medio de su código ASCII, en código braille, por lo que se hizo uso de los dos motores paso a paso, del sensor encoder y del solenoide. El motor del Eje X trabaja conjuntamente con el encoder, posicionando milimétricamente al solenoide, para que pueda encajar en el molde y realizar el punto en relieve en cada columna, mientras que el motor del Eje Y, recorre a la hoja para que se realicen puntos entre fila y fila.



**Gráfico 7-2.** Algoritmo de Arduino imprimiendo la palabra “hola”  
**Fuente:** Vinueza C., 2016.

Cuando Arduino recibe el primer dato, lo imprime en código braille y seguidamente se ubica en la siguiente posición o matriz y espera que se presente la siguiente letra, número o símbolo para repetir el mismo proceso. En caso de ser letras mayúsculas o números, se ocupará un espacio de dos matrices, por ser caracteres especiales con símbolos braille auxiliares. En el gráfico 7-2 se muestra el algoritmo de secuencia de impresión de la palabra “hola”.

Terminada la trama de datos y recibiendo el caracter “ü”, el reproductor de audio indicará por medio de una nota de voz que la impresión ha finalizado, y de la misma forma, el LCD, mostrará un mensaje que se ha culminado el proceso.

## CAPÍTULO III

### 3 MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1 Funcionamiento, Pruebas y Ajustes

Una vez instalados todos los componentes mecánicos y electrónicos, y programados tanto el microcontrolador ATmega2560 como la interfaz de usuario (software) en Labview 2012, el siguiente paso consiste en hacer pruebas mecánicas, pruebas de impresión y ajustes de programación si es necesario.

##### 3.1.1 Pruebas Mecánicas

###### 3.1.1.1 Motores paso a paso

La función principal de los motores paso a paso, es generar desplazamientos, tanto del carrete como de la hoja, en distancias exactas. Esta distancia depende de algunas variables como: el número de pasos por vuelta, el ángulo por paso y el diámetro de rotor. El alfabeto braille tiene medidas establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN, las cuales se pueden apreciar en la figura 14-1 o en la tabla 1-1.

Para determinar el número de pasos de acuerdo a las medidas establecidas por el INEN, es importante conocer, que distancia se obtiene cuando el motor da un paso. El cálculo de la distancia producida por el motor, se encuentra en función de los grados por paso y el diámetro del piñón, y se obtiene mediante la ecuación 1-3.

**Ecuación 1-3:** Distancia que genera el motor por paso

$$D = \frac{2 * \pi * r * n^\circ}{360^\circ}$$

**Donde:**

$D$ : Distancia recorrida por el motor en un paso

$\pi$ : Constante pi

$r$ : Radio del piñón del motor

$n^\circ$ : Grados por paso

El motor del eje X, encargado del desplazamiento del carrete, tiene un ángulo de 1.8° por paso y un diámetro de piñón de 6 mm, datos encontrados en la tabla 4-2. Mediante la ecuación 1-3, el carrete se desplazará a 0.094 mm por paso. Por otro lado el motor del eje Y, tiene un ángulo de

7.5° por paso, dato que no se usó para el cálculo de distancia, debido a que el rodillo principal es el encargado de arrastrar la hoja. Basándose en la tabla 4-2, el motor al recorrer 200 pasos, realizaría una vuelta de 360°, por lo que experimentalmente se calculó la distancia de arrastrado de la hoja, y se obtuvo como resultado 63,4 mm por vuelta del motor, por lo tanto el rodillo, desplaza a la hoja 0.084 mm por paso. Los pasos y ángulos que debe generar el motor en relación a las distancias establecidas se detallan en la tabla 1-3.

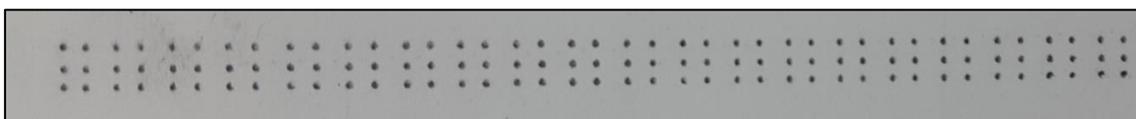
**Tabla 1-3:** Relación de pasos por distancia

Motor	Distancia Requerida	Pasos	Grados	Distancia Real
Eje X	1.0 mm	11 pasos	19.8°	1.034 mm
	2.5 mm	27 pasos	48.6°	2.538 mm
Eje Y	1.0 mm	12 pasos	90°	1.008 mm
	2.5 mm	30 pasos	225°	2.52 mm
	10 mm	120 pasos	900°	10.08 mm

Fuente: Vinueza C., 2016

Realizado por: Cristhian Vinueza

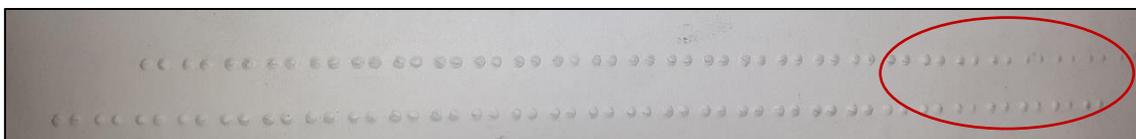
Definidos los pasos de los motores, la primera prueba consistió en determinar si el desplazamiento que se generaba era preciso y exacto de acuerdo a la tabla 1-3, por lo que se utilizó una hoja de papel carbón, convirtiendo el golpe del solenoide, en un punto que se lo pueda visualizar. En la figura 1-3 se observa el resultado de esta prueba al formar el signo generador braille en cada cajetín. Un cajetín corresponde a una matriz de 3x2 (3 filas y 2 columnas) de puntos.



**Figura 1-3.** Prueba de desplazamiento generado por los motores

Fuente: Vinueza C., 2016.

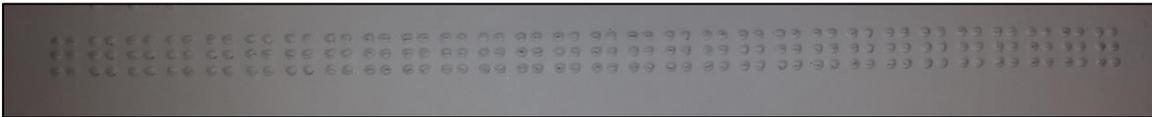
Examinando la figura 1-3, las distancias entre los puntos son uniformes, llegando a la conclusión de que el recorrido de los motores es constante. Pero al colocar el molde de aluminio para formar los puntos en relieve, el resultado fue distinto. En la figura 2-3 se observa que a lo largo de la trayectoria, se va perdiendo el punto, como se puede visualizar dentro del círculo rojo de la figura, esto se debe, a que la distancia real que se genera en un paso, excede en decimas de milímetro, de forma que, al final, no coincide el punzón con el molde de aluminio.



**Figura 2-3.** Prueba del punto en relieve con desplazamiento por pasos

Fuente: Vinueza C., 2016.

Para corregir este error, se utilizó un sensor óptico llamado encoder, junto con una cinta de posición. La cinta se caracteriza por ser transparente y contener varias líneas negras verticales, separadas entre sí, a 0.1 mm de distancia. Éstos serían los encargados de desplazar el carrito a medidas exactas, estableciendo que el punzón del solenoide coincida con el molde del punto de una forma precisa. Por lo tanto los pasos generados por el motor del eje X, perderían importancia y se enfocaría al número de líneas de la cinta que el sensor óptico encoder ha recorrido. En la figura 3-3, se observa el resultado al formar el signo generador braille en cada cajetín, usando el molde de aluminio junto con el sensor óptico encoder.



**Figura 3-1.** Prueba del punto en relieve con desplazamiento por sensor encoder  
**Fuente:** Vinueza C., 2016.

### 3.1.1.2 Drivers Motores

En un principio, se pensó tener el control de los motores por medio de dos puentes “H” L298N, debido a que éstos ayudan a generar pasos exactos (en distancias iguales). Al tener el problema de posición en el eje X, y colocar el sensor óptico encoder, se intercambia el L298N por el A4988 de Pololu, con la ventaja de tener diferentes resoluciones de paso, trabajando así, solo con el sensor encoder para posicionar el carrito.

### 3.1.1.3 Solenoide

El solenoide o electroimán es el encargado de desarrollar el punto en relieve o braille. Basándose en las características presentadas en la tabla 5-2, el solenoide trabaja con una tensión entre 24 y 50 VDC. En la tabla 2-3, se observa la relación entre voltaje y la fuerza proporcionada por el electroimán.

**Tabla 2-3:** Relación tensión - fuerza del solenoide

<b>VOLTAJE</b>	<b>FUERZA</b>
24 VDC	4.5 N
30 VDC	5.6 N
35 VDC	6.6 N
40 VDC	7.5 N
45 VDC	8.4 N
50 VDC	9.4 N

**Fuente:** Vinueza C., 2016

**Realizado por:** Cristhian Vinueza

En el momento que se utilizó los 24 VDC para alimentar y activar el solenoide, la fuerza de 4,5 N, no fue suficiente para realizar la deformación, como se visualiza en la figura 4-3, por lo que se colocó una fuente de poder en serie de 12 VDC (salida de la fuente ATX), formando así, 36 VDC, que alimente el solenoide. A través del PWM, señal de salida del módulo Arduino, se puede ir variando la fuerza, hasta obtener la deseada, capaz de formar correctamente el punto en relieve. En la tabla 3-3 se visualiza la relación Fuerza – PWM, en el rango de voltaje que alimentará a la electrobobina.



**Figura 4-3.** Punto en relieve energizando el solenoide a 24 VDC

Fuente: Vinueza C., 2016.

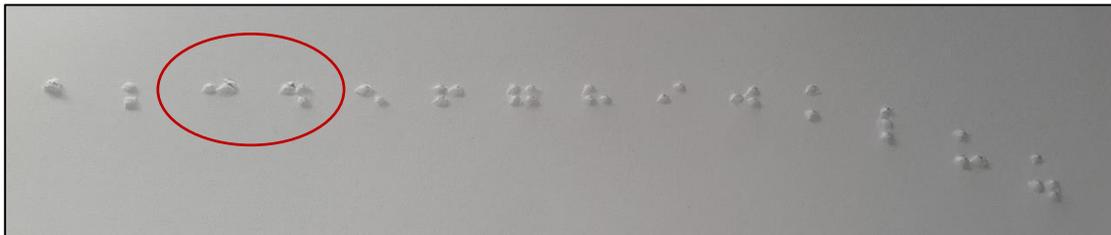
**Tabla 3-1:** Relación Fuerza – PWM

VOLTAJE	FUERZA	PWM
24 VDC	4.5 N	170
26 VDC	4.9 N	184
28 VDC	5.2 N	198
30 VDC	5.6 N	212
32 VDC	6.0 N	227
34 VDC	6.4 N	241
36 VDC	6.7 N	255

Fuente: Vinueza C., 2016

Realizado por: Cristhian Vinueza

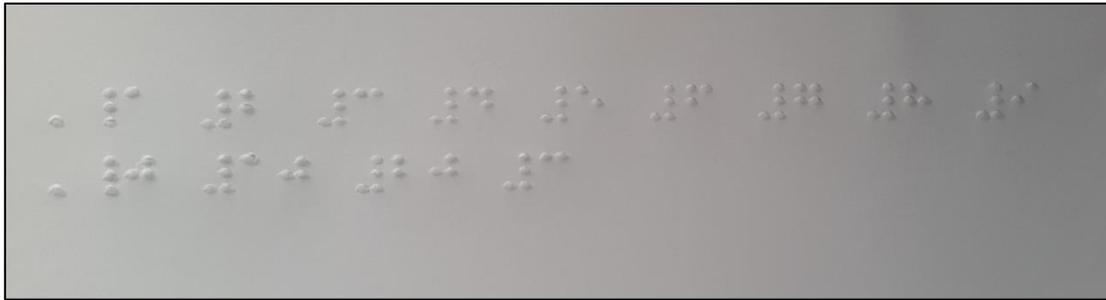
Utilizando un PWM al máximo, es decir de 255, el punto en relieve tendía a romperse, como se muestra en la figura 5-3.



**Figura 5-3.** Punto en relieve energizando el solenoide a 36 VDC

Fuente: Vinueza C., 2016

Experimentalmente, realizando pruebas de punto en relieve y modificando el PWM, se determinó que el solenoide debe tener una fuerza de 6.4 N, es decir un PWM de 240. El punto braille final, se visualiza en la figura 6-3.



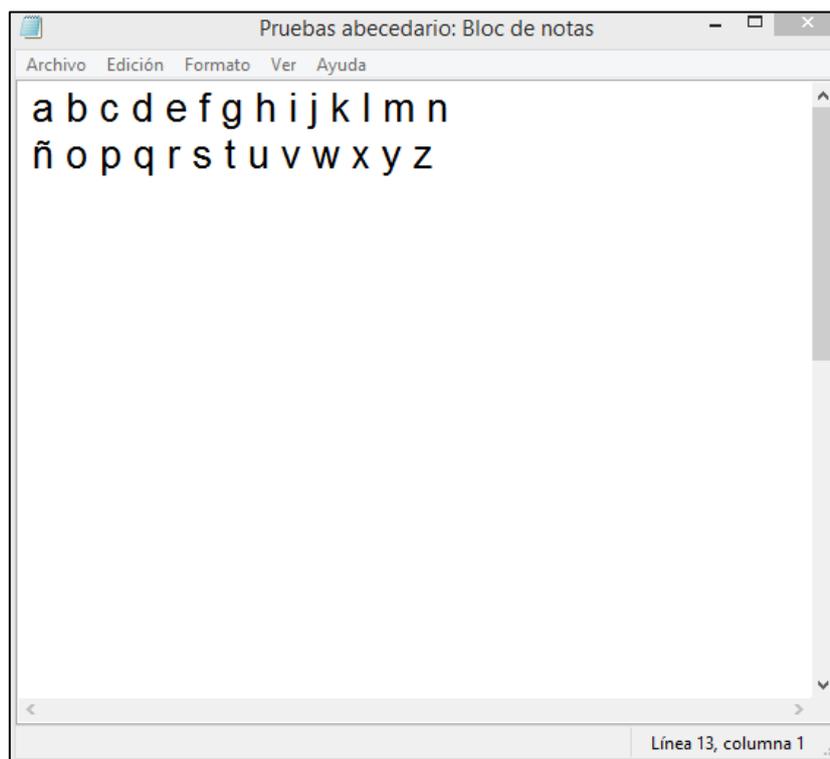
**Figura 6-3.** Punto en relieve energizando el solenoide a 34 VDC  
**Fuente:** Vinueza C., 2016

### 3.1.2 Pruebas de Impresión

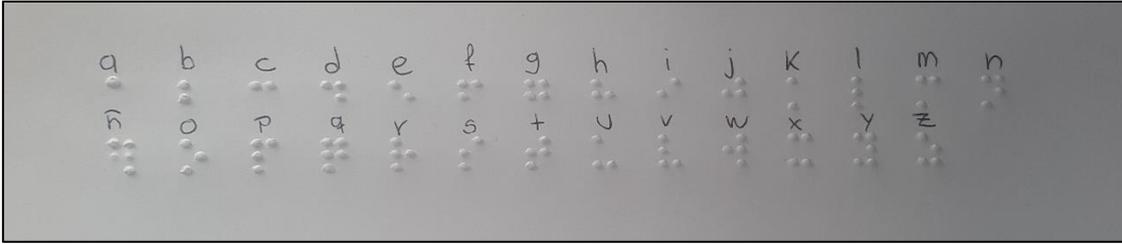
Para corroborar que la impresión en braille esté funcionando de la mejor manera, se imprime los principales caracteres como es el alfabeto en minúscula y en mayúscula, los números y algunos caracteres especiales.

#### 3.1.2.1 Impresión del Alfabeto Braille

La figura 8-3 muestra la impresión del alfabeto braille en minúscula. Cada letra está separada por un espacio. Cabe recalcar que el espacio es una matriz de 3x2 (3 filas por 2 columnas) sin puntos.



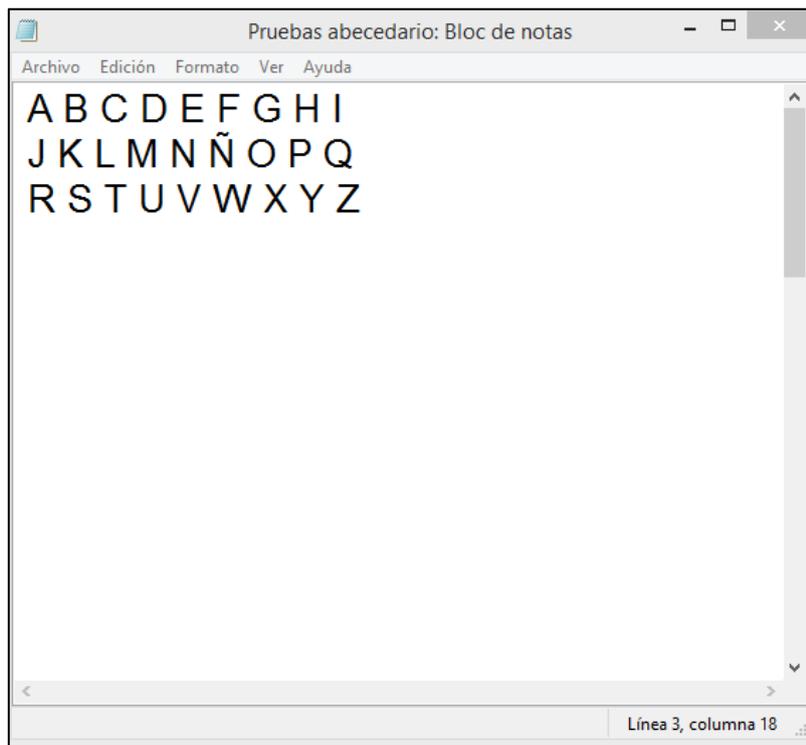
**Figura 7-3.** Archivo de texto con el alfabeto braille en minúsculas  
**Fuente:** Vinueza C., 2016



**Figura 8-3.** Alfabeto braille en minúsculas

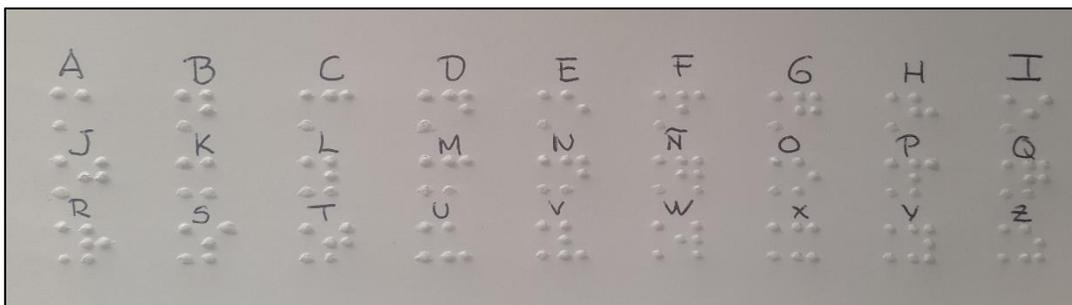
Fuente: Vinueza C., 2016

En la figura 10-3 se encuentra la impresión del alfabeto braille en mayúsculas. Cada letra está separada por un espacio para poder visualizarla mejor.



**Figura 9-3.** Archivo de texto con el alfabeto braille en mayúscula

Fuente: Vinueza C., 2016

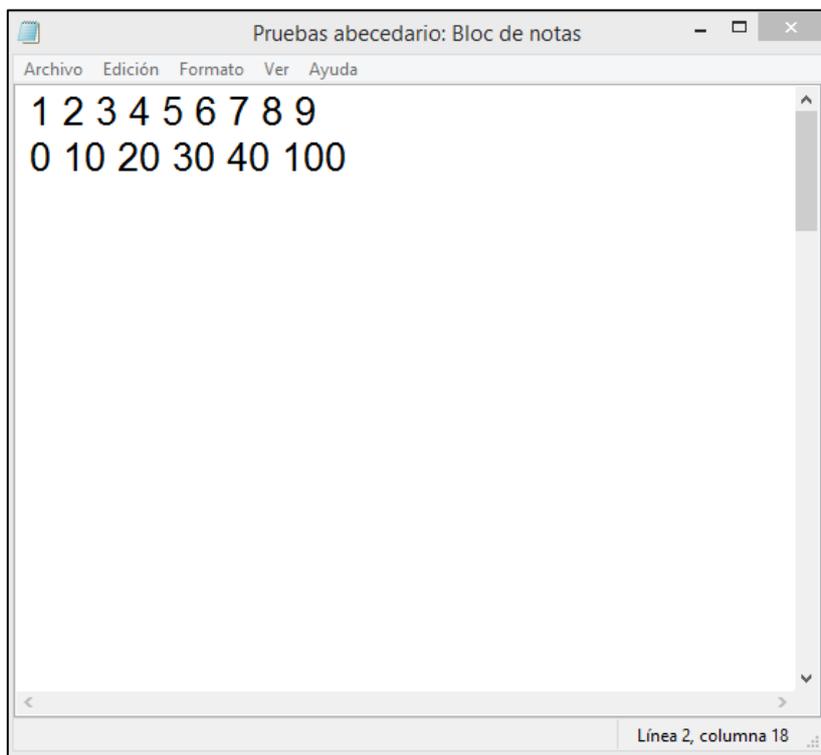


**Figura 10-3.** Alfabeto braille en mayúscula

Fuente: Vinueza C., 2016

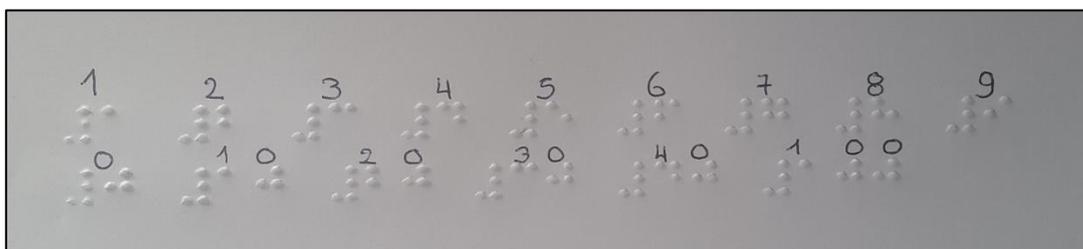
### 3.1.2.2 Impresión de Números Braille

Los números braille ocupan dos cajetines, el signo numérico y la letra correspondiente al número. La figura 12-3 muestra la impresión en braille de los números, separados por un espacio. Cuando el número es de dos cifras o más, se ocupa el signo numérico una vez, hasta encontrar un espacio o signo especial que no sea el punto ni la coma.



**Figura 11-3.** Archivo de texto con números braille

Fuente: Vinueza C., 2016

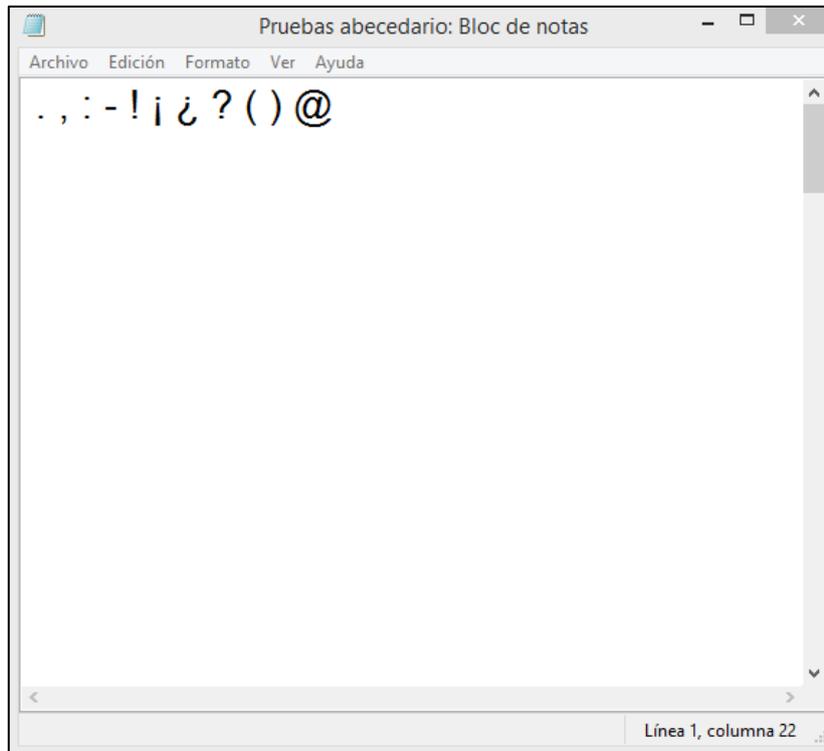


**Figura 12-3.** Números braille

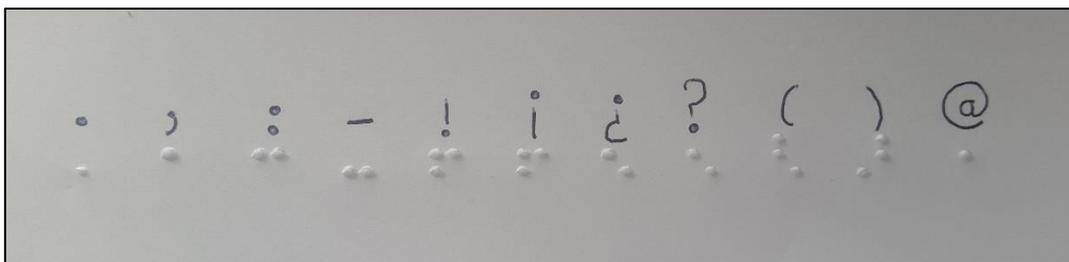
Fuente: Vinueza C., 2016

### 3.1.2.3 Impresión de Caracteres Especiales

En la figura 14-3, se observa la impresión de los caracteres especiales o signos de puntuación más usados en textos.



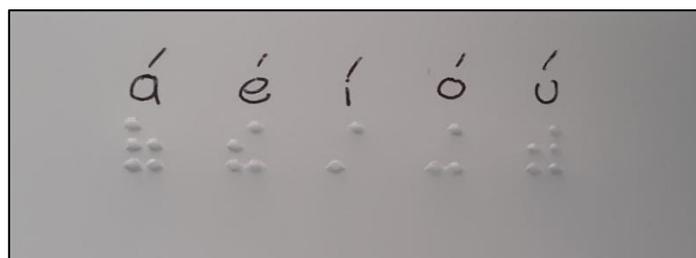
**Figura 13-3.** Archivo de texto con signos de puntuación  
**Fuente:** Vinueza C., 2016



**Figura 14-3.** Signos de puntuación braille  
**Fuente:** Vinueza C., 2016

#### 3.1.2.4 Impresión de Vocales Tildadas Braille

Las vocales con tilde se diferencian de las vocales normales, ya que poseen una propia combinación de puntos en relieve como se visualiza en la figura 15-3, impresión de vocales tildadas.



**Figura 3-2.** Vocales tildadas braille  
**Fuente:** Vinueza C., 2016



**Figura 16-3.** Archivo de texto con vocales tildadas  
**Fuente:** Vinueza C., 2016

### 3.2 Errores relativos de las Pruebas de Impresión

Basándose en los parámetros dimensionales de los caracteres del sistema braille determinados por el INEN (figura 14-1), se realizó la comparación de las distancias establecidas o recomendados mostradas en la tabla 4-3, por las obtenidas en las pruebas de impresión, y se calculó el valor de error absoluto y relativo.

#### 3.2.1 *Distancia horizontal entre los centros de puntos continuos de la misma celda.*

Con la ayuda de un calibrador universal estándar se realizó la medida de la distancia horizontal entre los centros de los puntos continuos de la misma celda (“a”). En la tabla 5-3 se muestran los resultados del error absoluto y relativo de ésta distancia.

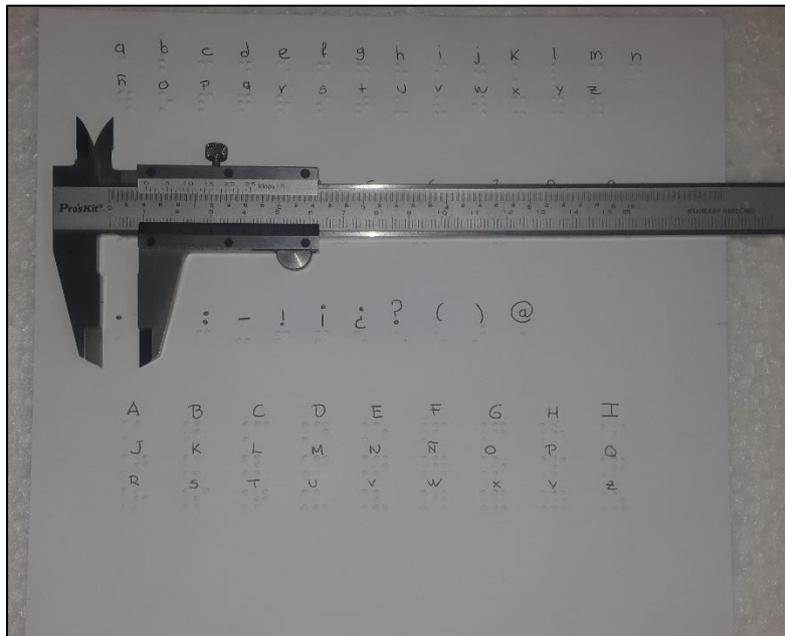
**Tabla 4-3.** Parámetros braille recomendados

<b>Distancia</b>	<b>Medidas</b>
Distancia horizontal entre los centros de puntos continuos de la misma celda (“a”)	2,5 mm
Distancia vertical entre los centros de puntos continuos de la misma celda (“b”)	2,5 mm
Distancia entre los centros de puntos idénticos de celdas contiguas (“c”)	6,0 mm

Distancia	Medidas
Distancia entre los centros de puntos idénticos de líneas contiguas (“d”)	10,0 mm
Diámetro de la base de los puntos (“e”)	1,5 mm
Altura mínima del relieve de los puntos (“f”)	0,5 mm

Fuente: Vinueza C., 2016

Realizado por: Cristhian Vinueza.



**Figura 17-3.** Calibrador universal estándar

Fuente: Vinueza C., 2016

**Tabla 5-3.** Errores absolutos y relativos de la distancia “a”

N. de Muestras	Parámetro Establecido	Distancia Medida	Error Absoluto	Error Relativo
1	2,5	2,3	0,15	6,0%
2	2,5	2,4	0,1	4,0%
3	2,5	2,5	0	0,0%
4	2,5	2,5	0	0,0%
5	2,5	2,6	0,1	4,0%
6	2,5	2,6	0,1	4,0%
7	2,5	2,4	0,1	4,0%
8	2,5	2,5	0	0,0%
9	2,5	2,5	0	0,0%
10	2,5	2,6	0,1	4,0%

Fuente: Vinueza C., 2016

Realizado por: Cristhian Vinueza.

### 3.2.2 Distancia vertical entre los centros de puntos continuos de la misma celda.

De la misma manera, con la ayuda de un calibrador universal estándar se midió la distancia vertical entre los centros de los puntos continuos de la misma celda (“b”). La tabla 6-3 muestra los resultados de los errores.

**Tabla 6-3.** Errores absolutos y relativos de la distancia “b”

N. de Muestras	Parámetro Establecido	Distancia Medida	Error Absoluto	Error Relativo
1	2,5	2,4	0,1	4,0%
2	2,5	2,5	0	0,0%
3	2,5	2,4	0,1	4,0%
4	2,5	2,4	0,1	4,0%
5	2,5	2,4	0,1	4,0%
6	2,5	2,5	0	0,0%
7	2,5	2,5	0	0,0%
8	2,5	2,4	0,1	4,0%
9	2,5	2,4	0,1	4,0%
10	2,5	2,5	0	0,0%

Fuente: Vinueza C., 2016

Realizado por: Cristhian Vinueza.

### 3.2.3 Distancia entre los centros de puntos idénticos de celdas contiguas

En la tabla 7-3 se observa los resultados de los errores absolutos y relativos de la distancia entre los centros de puntos idénticos de celdas contiguas.

**Tabla 7-3.** Errores absolutos y relativos de la distancia “c”

N. de Muestras	Parámetro Establecido	Distancia Medida	Error Absoluto	Error Relativo
1	6	6,4	0,3	5,0%
2	6	6,2	0,2	3,3%
3	6	6,1	0,1	1,7%
4	6	6,1	0,1	1,7%
5	6	6,1	0,1	1,7%
6	6	6	0	0,0%
7	6	6,1	0,1	1,7%
8	6	6	0	0,0%
9	6	6,1	0,1	1,7%
10	6	6,4	0,3	5,0%

Fuente: Vinueza C., 2016

Realizado por: Cristhian Vinueza.

### 3.2.4 Distancia entre los centros de puntos idénticos de líneas contiguas

La tabla 8-3 contiene los resultados de los errores absolutos y relativos de la distancia entre los centros de puntos idénticos de líneas contiguas.

**Tabla 8-3.** Errores absolutos y relativos de la distancia “d”

N. de Muestras	Parámetro Establecido	Distancia Medida	Error Absoluto	Error Relativo
1	10	10,1	0,1	1,0%
2	10	10	0	0,0%
3	10	10,1	0,1	1,0%
4	10	10	0	0,0%
5	10	10	0	0,0%
6	10	10,1	0,1	1,0%
7	10	10	0	0,0%
8	10	10,1	0,1	1,0%
9	10	10,1	0,1	1,0%
10	10	10,1	0,1	1,0%

Fuente: Vinueza C., 2016

Realizado por: Cristhian Vinueza.

### 3.2.5 Diámetro de la base de los puntos

Los errores absolutos y relativos se visualizan en la tabla 9-3 de la distancia del diámetro de la base de los puntos.

**Tabla 9-3.** Errores absolutos y relativos del diámetro del punto “e”

N. de Muestras	Parámetro Establecido	Distancia Medida	Error Absoluto	Error Relativo
1	1,5	1,6	0,1	6,7%
2	1,5	1,64	0,14	9,3%
3	1,5	1,4	0,1	6,7%
4	1,5	1,5	0	0,0%
5	1,5	1,5	0	0,0%
6	1,5	1,38	0,12	8,0%
7	1,5	1,5	0	0,0%
8	1,5	1,4	0,1	6,7%
9	1,5	1,5	0	0,0%
10	1,5	1,6	0,1	6,7%

Fuente: Vinueza C., 2016

Realizado por: Cristhian Vinueza.

### 3.2.6 *Altura mínima del relieve de los puntos*

En la tabla 10-3 se tabulan los resultados de los errores absolutos y relativos de la distancia de la altura mínima del relieve de los puntos.

**Tabla 10-3.** Errores absolutos y relativos de la altura del punto “f”

<b>N. de Muestras</b>	<b>Parámetro Establecido</b>	<b>Distancia Medida</b>	<b>Error Absoluto</b>	<b>Error Relativo</b>
1	0,5	0,5	0	0,0%
2	0,5	0,5	0	0,0%
3	0,5	0,5	0	0,0%
4	0,5	0,5	0	0,0%
5	0,5	0,5	0	0,0%
6	0,5	0,5	0	0,0%
7	0,5	0,5	0	0,0%
8	0,5	0,5	0	0,0%
9	0,5	0,5	0	0,0%
10	0,5	0,5	0	0,0%

Fuente: Vinueza C., 2016

Realizado por: Cristhian Vinueza.

### 3.2.7 *Análisis de los errores absolutos y relativos obtenidos*

Para tener un mejor punto de vista, se tomaron los errores absolutos más altos con su respectivo error relativo y se tabuló en la tabla 11-3.

**Tabla 11-3.** Errores absolutos y relativos más altos en relación a las distancias

<b>Distancia</b>	<b>Error Absoluto</b>	<b>Error Relativo</b>
Distancia horizontal entre los centros de puntos continuos de la misma celda (“a”)	0,15 mm	6,0 %
Distancia vertical entre los centros de puntos continuos de la misma celda (“b”)	0,1 mm	4,0 %
Distancia entre los centros de puntos idénticos de celdas contiguas (“c”)	0,3 mm	5,0 %
Distancia entre los centros de puntos idénticos de líneas contiguas (“d”)	0,1 mm	1,0 %
Diámetro de la base de los puntos (“e”)	0,14 mm	9,3 %
Altura mínima del relieve de los puntos (“f”)	0 mm	0 %

Fuente: Vinueza C., 2016

Realizado por: Cristhian Vinueza.

Se observa que el valor máximo del error absoluto no supera los 0.3 mm, además, el valor porcentual máximo del error relativo es de 9.3 %, por lo que se deduce que las distancias entre puntos de las pruebas de impresión se encuentran dentro de los parámetros establecidos según el INEN, teniendo un 99% de efectividad a la hora de imprimir un documento braille.

### 3.3 Tiempo de impresión por hoja

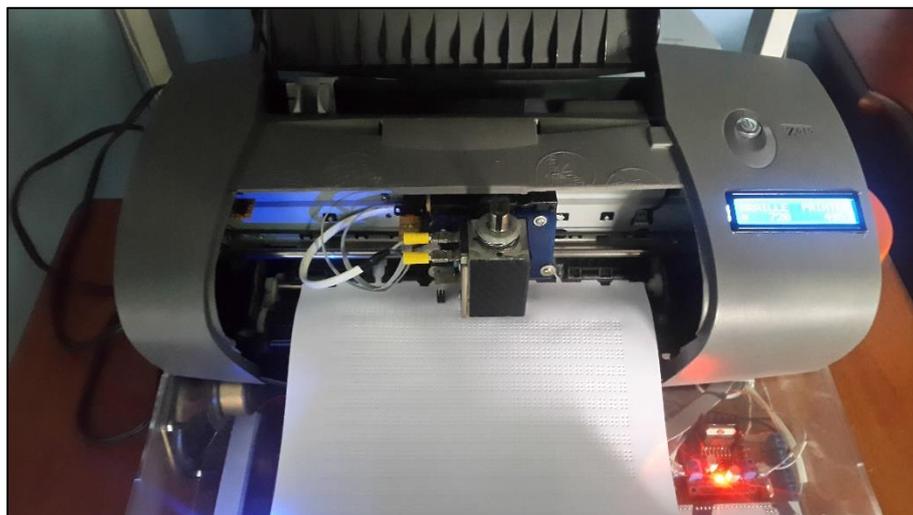
Es necesario indicar que una hoja impresa está conformada por 24 filas de 28 caracteres cada una. Para calcular el tiempo de impresión máximo, se modificó la programación del módulo Arduino para que imprima el signo generador braille, conformado por una matriz de 3x2 (3 filas por 2 columnas) llena de puntos en relieve. Se registró un tiempo de impresión por carácter, por fila y por hoja. Los resultados de tiempo se tabularon en la tabla 12-3.

**Tabla 12-3.** Tiempos de Impresión

Parámetro	Tiempo (h:m:s)
Posición del solenoide	0:00:21
Impresión por carácter	0:00:06
Impresión por fila (29 caracteres)	0:02:40
Impresión por página (24 filas)	1:06:48

Fuente: Vinueza C., 2016

Realizado por: Cristhian Vinueza.



**Figura 18-3.** Impresión del signo generador

Fuente: Vinueza C., 2016

Examinando la tabla 12-3, el tiempo máximo de impresión de una hoja es de una hora con seis minutos y cuarenta y ocho segundos, debido a que solo un solenoide (actuador o punzón) realiza el punto en relieve, formando 4176 puntos máximos en una plana impresa. El tiempo promedio

máximo por carácter es de seis segundos, lo que determina que el tiempo de impresión es bastante lento a comparación de las impresoras industriales que contienen filas de solenoides que realizan el punto en relieve de 30 caracteres en un segundo. Es la razón por la que no se comparó el tiempo de impresión con éstas impresoras comerciales.

### 3.4 Costo de la Impresora Braille

Para conocer el costo total de la impresora, se realizó un análisis del precio de cada material invertido, tanto mecánico como electrónico, y se tabuló en la tabla 13-3.

**Tabla 13-3.** Costo de los materiales que forman parte de la Impresora Braille

Elemento	Serie	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Impresora de tinta	Z615	Impresora de tinta vieja o dañada	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Motor paso a paso	STP-42D201-37	Motor paso a paso, encargado de mover el carrete	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Solenoides	Isliker Magnete GE-32.06	Bobina electromecánica, encargada de desarrollar el punto	1	\$ 120,00	\$ 120,00
Arduino Mega 2560	Mega2560	Placa programable, microcontrolador ATMEGA2560	1	\$ 28,00	\$ 28,00
Puente H	L298N	Controlador puente H	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Driver Pololu	A4988	Controlador para motores paso a paso	1	\$ 12,00	\$ 12,00
Reproductor de Audio	WTV020-SD-16P	Chip Reproductor de Archivos de Audio	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Fuente de computadora	ATX-PIV-500W	Fuente de 12 VDC, alimentar el circuito de control	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Fuente de 24VDC	IDR-60-24	Fuente de 24 VDC, alimentar al solenoide	1	\$ 35,00	\$ 35,00
Micro SD	SanDisk	Memoria de 1 Gb	1	\$ 5,00	\$ 5,00
LCD	LCD-016M002B	Pantalla de Cristal Líquida	1	\$ 7,00	\$ 7,00

<b>Elemento</b>	<b>Serie</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Parlante		Emitir mensajes de voz	1	\$ 3,00	\$ 3,00
Mosfet	IRFZ44N	Integrado encargado de activar el solenoide	1	\$ 2,00	\$ 2,00
Optoacoplador	4N35	Integrado encargado de activar el solenoide	1	\$ 0,50	\$ 0,50
Sensor Óptico	QRD1114	Detectar Papel	2	\$ 2,00	\$ 4,00
Resistencias		Elementos básicos	12	\$ 0,05	\$ 0,60
Capacitor Electrolytico		Elemento básico	1	\$ 0,20	\$ 0,20
LED		Elementos básicos	2	\$ 0,20	\$ 0,40
Regulador de Voltaje	LM7809	Regulador de 9VDC	1	\$ 0,50	\$ 0,50
Pulsador		Elemento básico (Reset Arduino)	1	\$ 0,25	\$ 0,25
Switch Power		Elemento básico (ON/OFF)	1	\$ 0,40	\$ 0,40
Fin de carrera		Elemento básico (ON/OFF)	1	\$ 0,25	\$ 0,25
Borneras		Elementos básicos	7	\$ 0,40	\$ 2,80
Molex		Elementos básicos	16	\$ 0,40	\$ 6,40
Espadines		Elementos básicos	5	\$ 0,80	\$ 4,00
Placa de cobre		Baquelita de cobre para construir circuitos PCB	1	\$ 4,00	\$ 4,00
Bus de Datos		2 metros de cable para conexiones	2	\$ 2,00	\$ 4,00
Canaleta		Para guardar cables	1	\$ 1,00	\$ 1,00

<b>Elemento</b>	<b>Serie</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Acrílico		Caja donde se guardan los circuitos	1	\$ 28,00	\$ 28,00
Conector 120 V		Conector de corriente	1	\$ 0,50	\$ 0,50
Cable 120 V		Cable de corriente	1	\$ 2,00	\$ 2,00
Cable USB		Cable para conexión USB	1	\$ 2,00	\$ 2,00
Molde de aluminio		Signo generador braille en aluminio (plancha)	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Tornillos con tuerca		Tornillos para sujetar los elementos	28	\$ 0,08	\$ 2,24
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 386,04</b>
		<b>Horas de trabajo</b>	<b>Costo por Hora</b>		
Costo mano de obra		200	\$ 2,00		\$ 400,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 786,04</b>

Fuente: Vinueza C., 2016

Realizado por: Cristhian Vinueza.

Se puede observar en la tabla 13-3, que el costo total de materiales que forman la impresora braille es de 386 dólares con 4 centavos. El costo de mano de obra se calcula por medio de las horas de trabajo invertidas y el costo por hora, por lo que la impresora Braille tendría un costo total de 746 dólares con 4 centavos.

Por ser una impresora casera y básica (un solenoide), no se puede hacer una comparación exacta, con alguna impresora comercial, ya que cuenta con diferentes características. Basic-D V4 de Index es la máquina Braille más básica y más barata del mercado. En la página Web de Index, se detallan las funciones principales de ésta impresora y exponen un precio de venta de 3295 dólares en el continente Europeo. Sin tomar en cuenta los costos de importación, con éste proyecto se reduce un 76,15 % del valor de la impresora comercial más económica, haciéndola accesible al mercado Ecuatoriano.

## CONCLUSIONES

- Existen normas estandarizadas por el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), de distancias entre puntos y entre celdas, que se debe seguir estrictamente a la hora de imprimir documentos en braille para que la persona con discapacidad visual pueda leer.
- La impresora Lexmark Z615 facilitó la exacta posición del carrete al contar con un sensor óptico tipo encoder, además se estableció que el actuador más relevante es el solenoide, por cumplir con el papel de punzón, encargado de realizar el punto en relieve.
- Al utilizar una plataforma hardware de software libre se encontró librerías que ayudaron en la programación para codificar caracteres ASCII a braille.
- Labview proporcionó una comunicación con Arduino, por medio de su interfaz de usuario que permite tomar cualquier documento .txt y desglosarlo para que pueda codificarlo e imprimirlo.
- La impresora fue probada por técnicos especializados de la Imprenta Braille de la Federación Nacional de Ciegos del Ecuador; quienes mostraron su satisfacción por el trabajo desarrollado.

## RECOMENDACIONES

- Verificar que el voltaje de entrada sea de 110 /120 voltios, para no causar daños en los diferentes circuitos.
- Cada seis meses, dar mantenimiento al sistema de recorrido del carrete, en vista que cuenta con un lubricante que permite desplazarlo con facilidad.
- Seguir el manual de usuario, para evitar daños de impresión o desconfiguración de la impresora.
- Respetar las señales visuales o de sonido emitidas a la hora de la impresión para no manipular la hoja y obtener un buen resultado.
- Para disminuir el tiempo de impresión se sugiere utilizar seis solenoides o más que realicen todo un signo braille a la vez.
- Realizar un interfaz de usuario que permita cargar documentos de Microsoft Office como son archivos tipo .doc, .pdf, etc.
- Para futuros desarrollos de este tipo, buscar asesoramiento mecánico para evitar demoras en la investigación.
- Impulsar y fortalecer el desarrollo de este tipo de proyectos sociales, que ayudarán a personas con capacidades diferentes a encontrar mejores niveles de vida y superación.

## GLOSARIO

**Acrílico:** fibra o material similar al plástico elaborada con un químico llamado acrilonitrilo.

**Corriente alterna (AC):** corriente eléctrica variante en el tiempo, es decir, que cambia su sentido de circulación, de manera periódica.

**Corriente directa (DC):** corriente eléctrica invariante en el tiempo, las cargas eléctricas circulan siempre en la misma dirección.

**Matriz:** arreglo bidimensional de números.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGUIRRE PAREDES, Alex Fernando.** *Estudio, diseño e implementación de un sistema automatizado para una máquina torsionadora de forja en frío* (tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016 pp. 22-28.

**ARDUINO, Arduino.** [en línea] 2016. [Consulta: 5 marzo 2016] Disponible en : <https://www.arduino.cc/>.

**ASTUDILLO, Gabriel.** *Arduino\_guia*. [en línea], 2014, (Chile), pp. 1-2. [Consulta: 5 marzo 2016]. Disponible en: [http://informatica.uv.cl/~gabriel/docs/arduino/arduino\\_guia.pdf](http://informatica.uv.cl/~gabriel/docs/arduino/arduino_guia.pdf).

**CONADIS.** *Estadísticas-CONADIS*. [en línea], 2016. [Consulta: 14 febrero 2016] Disponible en : <http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadistica/index.html>.

**ELECTRONILAB.** *Tutorial Uso Driver L298N Para Motores DC y Paso a Paso Con Arduino*. [En línea] 2015. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/314747008/Tutorial-Uso-Driver-L298N-Para-Motores-DC-y-Paso-a-Paso-Con-Arduino>.

**ELISSALDE, Enrique.** *Un joven llamado Louis*. Montevideo-Uruguay : Fundación Braille del Uruguay, 1992, pp. 1-23.

**FLORES, Omar Otoniel.** *Batalla de microcontroladores ¿AVR o PIC?* [en línea], 2009, (El Salvador), pp. 1-3. [Consulta: 20 abril 2016]. Disponible en: [https://microcontroladores2utec.files.wordpress.com/2009/11/180909\\_articulo\\_colaboracion\\_boletin\\_fica\\_omar\\_otonielflores.pdf](https://microcontroladores2utec.files.wordpress.com/2009/11/180909_articulo_colaboracion_boletin_fica_omar_otonielflores.pdf)

**GAIBOR, José, & CARRIÓN, Cristian.** *Diseño e implementación de una máquina cnc para la fabricación de placas de circuito impreso para componentes smd* [En línea] (tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 55-60 [Consulta: 22 junio 2016]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4965/1/108T0138.docx>

**GARCÍA, Vicente.** *El Puente H*. [En línea], 2013. [Consulta: 25 junio 2016]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/176792041/El-Puente-h>.

**GUERRERO PÉREZ, Ramón.** *Montaje de instalaciones automatizadas* [en línea]. Málaga-España: INNOVA, 2012. [Consulta: 5 julio 2016]. Disponible en:

[https://books.google.com.ec/books?id=6I7NVNiL0V4C&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=6I7NVNiL0V4C&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

**HOLGUÍN LONDOÑO, Germán Andrés, PEREZ LONDOÑO, Sandra Milena, & OROZCO GUTIERREZ, Álvaro Ángel. 2002.** *LabVIEW entorno gráfico de programación*. [en línea]. Pereira-Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, 2002 [Consulta: 20 octubre 2016]. Disponible en:  
<http://www.ie.itcr.ac.cr/einteriano/control/labview/ParaAprender/Curso%20LabVIEW6i.pdf>.

**INDEX BRAILLE.** *Braille Printers*. [En línea] 2016. [Consulta: 21 mayo 2016]. Disponible en:  
<http://www.indexbraille.com/>.

**INDRIAGO, Miguel.** *Sensores de posición, descripción, selección y uso*. [en línea]. Barquisimeto-Venezuela: Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre", 2003. [Consulta: 20 junio 2016]. Disponible en:  
<http://www.el.bqto.unexpo.edu.ve/mindria/Sensores.pdf>.

**INEN.** *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2850* [En línea], 2014. [Consulta: 25 febrero 2016]. Disponible en:  
[http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO\\_2014/MAR/07102014/2850.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/MAR/07102014/2850.pdf).

**LAJARA VIZCAÍNO, José Rafael, & PELEGRÍ SEBASTIÁ, José.** *LabVIEW. Entorno gráfico de programación* [en línea]. Barcelona-España: MARCOMBO S.A, 2007. [Consulta: 20 octubre 2016]. Disponible en:  
[https://books.google.com.ec/books?id=ZFQua3-eeQEC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=ZFQua3-eeQEC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

**MENDOZA GARCIA, Ricardo Franco.** *Sistema de sensores y actuadores - Tecnología de sensores*. [En línea], 2012. Universidad de Tarapaca. [Consulta: 22 junio 2016]. Disponible en:  
[http://www.eudim.uta.cl/rmendozag/courses/2012/sistemas\\_de\\_sensores\\_y\\_actuadores/sistemas\\_de\\_sensores\\_y\\_actuadores\\_02.pdf](http://www.eudim.uta.cl/rmendozag/courses/2012/sistemas_de_sensores_y_actuadores/sistemas_de_sensores_y_actuadores_02.pdf)

**O.N.C.E.** *Entre dos mundos*. Madrid-España : Centro Bibliográfico y Cultural de la O.N.C.E., 2002, pp 15-24.

**O.N.C.E.** *Manual de usuario Impacto Advanced*. [En línea], 2012. [Consulta: 21 mayo 2016]. Disponible en: [ftp://ftp.once.es/pub/utt/bibliotecnia/Manuales/IMPACTO\\_ADVANCED.pdf](ftp://ftp.once.es/pub/utt/bibliotecnia/Manuales/IMPACTO_ADVANCED.pdf).

**PALLAS ARENY, Ramón.** *Sensores y acondicionadores de señal* [en línea]. Barcelona-España : MARCOMBO S.A, 2003, [Consulta: 21 junio 2016]. Disponible en: [http://www.academia.edu/7276163/Sensores\\_y\\_Acondicionadores\\_de\\_se%C3%B1al\\_-\\_Ram%C3%B3n\\_Pallas\\_Areny](http://www.academia.edu/7276163/Sensores_y_Acondicionadores_de_se%C3%B1al_-_Ram%C3%B3n_Pallas_Areny)

**PARTIDAS, Kevyn, DI GIACOMO, Roberto, & MORENO, Luis.** *Sistema de control para llenado de tanques con microcontrolador Pic.* [En línea], 2014, [Consulta: 18 abril 2016]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/ddigiacom020781294/sistema-de-control-para-llenado-de-tanques-con-microcontrolador-pic>

**SANCHEZ LOPEZ, Edy Catalina.** *El Transistor Mosfet Como Interruptor.* [En línea], 2013. [Consulta: 10 septiembre 2016]. Disponible en: <https://ea2-unalmed.wikispaces.com/file/view/ECSL+informe+practica+6.pdf>

**SANCHEZ, Rafael.** *Accionamientos y actuadores eléctricos* [en línea]. Huelva-España : Universidad de Huelva, 2008, [Consulta: 4 julio 2016]. Disponible en: <http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Apuntes%20Tema%206%20nuevo%20formato.pdf>

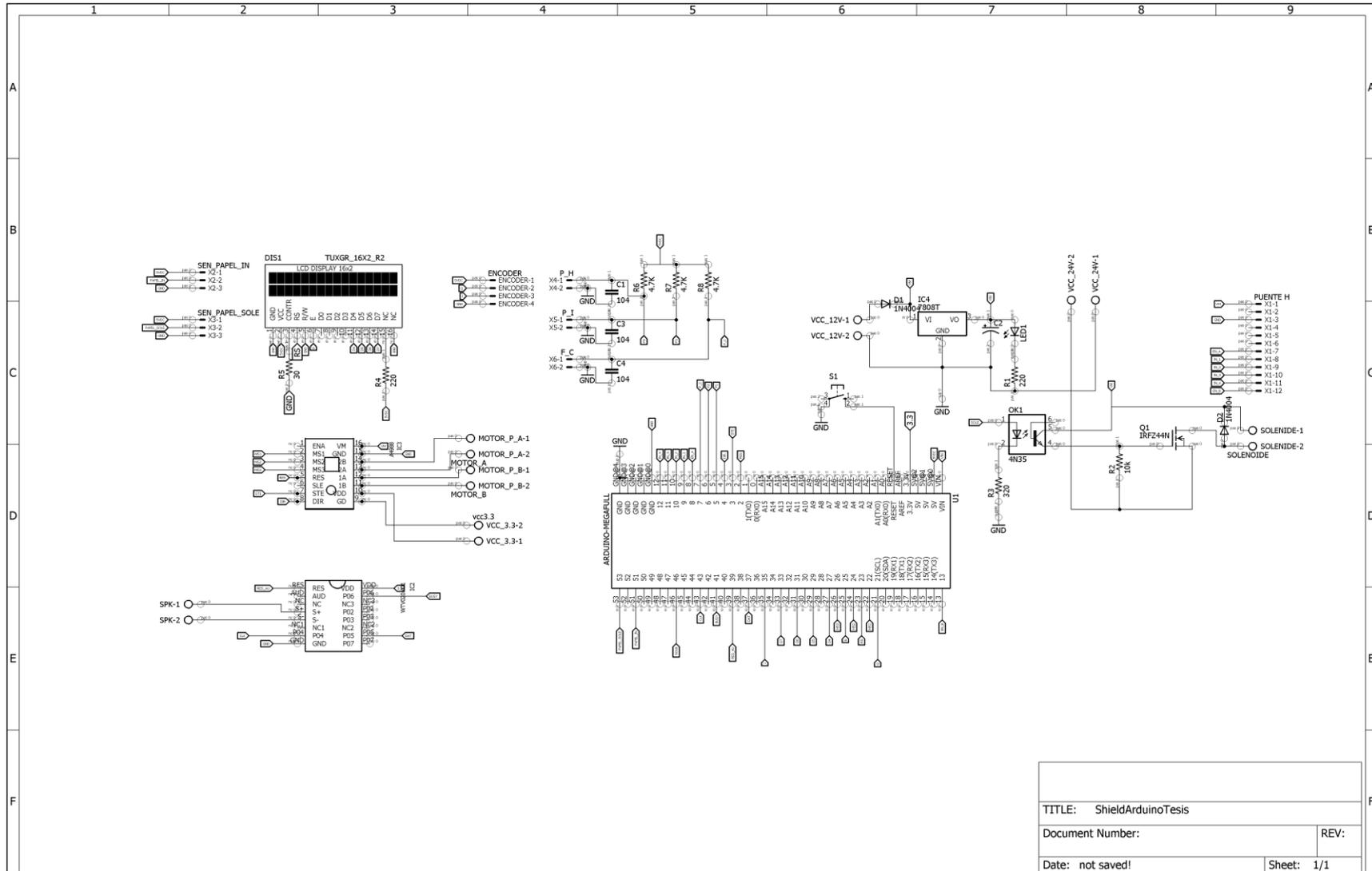
**SANCHEZ, Sergio.** *Microcontroladores y sus aplicaciones. Introducción y Arquitectura de microcontroladores.* [En línea] 2013, [Consulta: 20 abril 2016]. Disponible en: <https://microcontroladoresesv.wordpress.com>.

**SUÁREZ, José Ignacio.** *Cómo gobernar un display LCD alfanumérico basado en el controlador HD44780.* [En línea], 2015, [Consulta: 25 julio 2016]. Disponible en: [http://www.tutorialesvirtuales.com/wp-content/uploads/2016/08/lcd\\_alfa.pdf](http://www.tutorialesvirtuales.com/wp-content/uploads/2016/08/lcd_alfa.pdf)

**VELASCO, Nicolás.** *Sistema embebido para la conexión de un PLC Siemens S7-200 a la red GSM.* [En línea], 2005. *Biblioteca de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla- España.* [Consulta: 20 abril 2016]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11141/fichero/PFC%252F3+Microcontroladores.pdf>.

# **ANEXOS**

# ANEXO I. Diagrama electrónico del circuito de control del sistema



TITLE: ShieldArduinoTesis	
Document Number:	REV:
Date: not saved!	Sheet: 1/1

# IMPRESORA BRAILLE

---

## MANUAL DE USUARIO



## TABLA DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN .....	3
1.1.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	3
1.2.	REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.....	3
1.3.	MEDIDAS DE PRECAUCIÓN.....	3
2.	COMENZANDO.....	4
2.1.	INSTALACIÓN DE DRIVERS.....	4
2.2.	CONEXIÓN USB.....	4
2.3.	PUESTA EN MARCHA.....	4
2.4.	APAGADO DEL SISTEMA.....	4
3.	INTERFAZ DE USUARIO.....	4
3.1.	INSTALACIÓN DEL SOFTWARE.....	5
3.2.	PANTALLA PRINCIPAL.....	5
4.	DOCUMENTO A IMPRIMIR.....	6
5.	REINICIO DEL SISTEMA.....	8
6.	MANTENIMIENTO.....	8
7.	SOPORTE TÉCNICO.....	8
7.1.	ANTES DE LLAMAR AL SOPORTE TÉCNICO.....	8
7.2.	CONTACTO DEL SOPORTE TÉCNICO.....	9

# 1. INTRODUCCIÓN

Zignum es la Impresora casera de bajo costo capaz de imprimir documentos en Braille. Cumple con los estándares de normalización de distancias formulados por el INEN, además, cuenta con un software que permite cargar archivos de texto tipo (.txt). Esperamos que la impresora cubra sus expectativas y que le preste un buen servicio durante largos años.

## 1.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

### Impresión

- Velocidad máxima: 1 página por hora
- Hasta 29 caracteres por fila
- Papel admitido: Formato A4
- Juegos de caracteres totalmente definibles por el usuario.
- Posibilidad de crear todos los juegos de caracteres que se deseen.

### Otras Características

- Dimensiones: 40 cm de largo, 30 cm de ancho y 21 cm de alto
- Mensajes sonoros en español
- Red Eléctrica de: 110/120 V.

## 1.2 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

- Sistema operativo Windows XP o superior
- Procesador: Core i5 2.53 Ghz

## 1.3 MEDIDAS DE PRECAUCIÓN

No manipule en su interior. Es aconsejable encomendar cualquier trabajo de reparación de la impresora a técnicos especializados.

## 2. COMENZANDO

### 2.1. INSTALACIÓN DE DRIVERS

Todos los programas y drivers para la impresora Zignum se instalan sin costo alguno, y se pueden descargar en:

<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

### 2.2. CONEXIÓN USB

La conexión USB es la comúnmente más utilizada. Se incluye un cable de conexión USB junto a la impresora. Conecte el cable USB y automáticamente se reconocerá la Impresora.

### 2.3. PUESTA EN MARCHA

La impresora Zignum se pone en marcha directamente cuando se conectan a la red eléctrica de 110/120. **Al conectar a una red de 220 o superior, se corre el riesgo de dañar la máquina.** Si el cable de alimentación está ya conectado, pulse la tecla “ON”. El ventilador comenzará a funcionar.

### 2.4. APAGADO DEL SISTEMA

Para apagar la impresora Zignum pulse la tecla “OFF”. Por favor no apague la impresora desconectando la clavija del enchufe de red. Esto puede dejar ficheros cerrados de forma inadecuada para el sistema operativo que pueden causar errores innecesarios.

## 3. INTERFAZ DE USUARIO

La impresora Zignum dispone de un interfaz de usuario que viene en el CD de la impresora llamado “Printer Braille V1.0”.

### 3.1. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE

Para instalar el software se debe insertar el CD en la PC, y abrir la carpeta llamada “Printer Braille/Volumen/” y ejecutar como administrador el archivo “setup”. Esperar a que se abra el programa y seguir las instrucciones.

### 3.2. PANTALLA PRINCIPAL

En la pantalla principal del programa, le permite al usuario, escoger el puerto de comunicación donde se encuentra conectada la impresora braille; además de seleccionar un archivo de texto (.txt). Cuenta también con dos pulsadores digitales (HABILITAR e IMPRIMIR), los cuales activan y ordenan a la impresora braille, que realice el proceso. En la figura 1, se detallan las partes principales que compone la pantalla principal del programa.

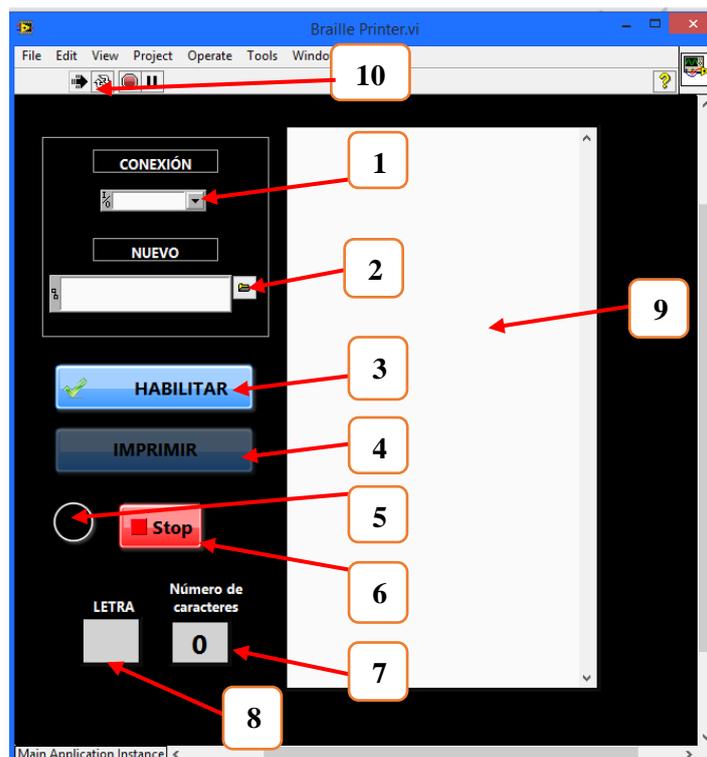


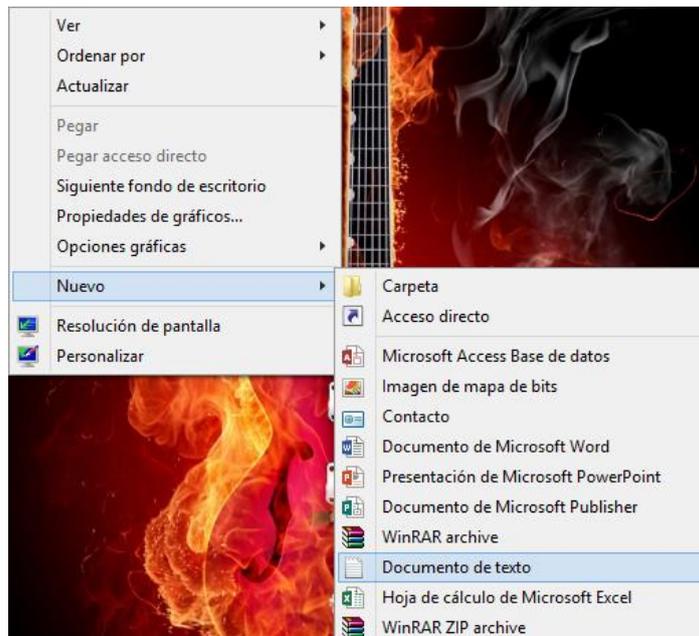
Figura 1. Pantalla principal de la interfaz de usuario

- 1) Conexión con la impresora braille. Número del puerto.
- 2) Selección del archivo de texto (.txt).
- 3) Botón “HABILITAR”, prepara la impresora para imprimir.
- 4) Botón “IMPRIMIR”, ejecuta la impresión.
- 5) Indicador de estado de la impresora, al recibir un carácter.
- 6) Botón “STOP”, cancela la impresión.
- 7) Indicador del número de caracteres que se van imprimiendo.
- 8) Indicador de carácter que se está imprimiendo.
- 9) Texto a imprimir.
- 10) Botón para ejecutar el programa.

Cabe recalcar que el botón para ejecutar es importante presionarlo una vez que haya sido escogido el archivo .txt y realizada la comunicación con la impresora, para poder interactuar con los botones de “HABILITAR E IMPRIMIR”. Al pulsar el botón “HABILITAR”, en la pantalla de la impresora debe aparecer un “\*”, que indica que la comunicación es correcta.

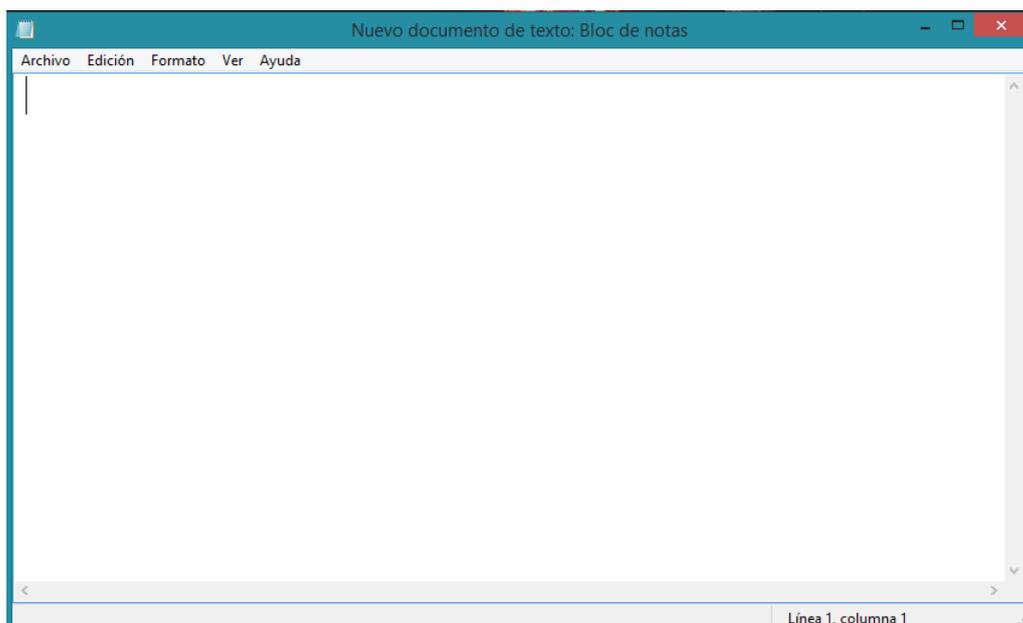
#### **4. DOCUMENTO A IMPRIMIR**

El documento a imprimir tiene que ser un archivo de texto .txt, para crear un archivo se debe dar un clic derecho/Nuevo/Documento de texto.



**Figura 2.** Creación de un Documento de Texto

Dentro del archivo de texto, en la barra de herramientas, dirigirse a la pestaña “Vista” y seleccionar la opción “Barra de estado”. Automáticamente se podrá visualizar en la parte inferior derecha el número de Línea y Columna en que el puntero se encuentra.



**Figura 3.** Ventana de un Documento de Texto

Es necesario que cuando se esté escribiendo el texto se controle el número de columnas, debido a que no puede exceder de 29

caracteres, **en caso de ocupar mayúsculas o números tomar en cuenta los espacios necesarios de los signos antecesores.** Para saltar de fila simplemente dar un “Enter”.

Una vez que el texto haya sido escrito, dirigirse a la barra de herramientas en la pestaña Archivo/Guardar, para salvar el archivo de texto.

## **5. REINICIO DEL SISTEMA**

En caso de tener algún problema con la impresora, tiene un pulsador de reinicio, ubicado en la parte frontal junto a la placa braille de información.

## **6. MANTENIMIENTO**

Es importante cada 6 meses, darle mantenimiento a la impresora. Para que el carrete no se atranque a la hora de imprimir, es necesario colocar un lubricante o aceite en la barrilla soporte del carrete, teniendo mucho cuidado de manchar el rodillo principal o el solenoide.

## **7. SOPORTE TÉCNICO**

### **7.2 ANTES DE LLAMAR AL SOPORTE TÉCNICO**

Antes de llamar al soporte técnico verifique:

- Al encender la impresora, se encienda el Led azul y el LCD.
- Desconectado a la red eléctrica, y solo conectado al USB de la PC, se encienda un LED rojo.
- Exista comunicación con la PC visualizando en la pantalla de la impresora un asterisco “\*”.

En caso contrario reinicie su PC y apague la Impresora, y repita los pasos de inicio.

## 7.3 CONTACTO DE SOPORTE TÉCNICO

- Correo electrónico: [titocrispa258@gmail.com](mailto:titocrispa258@gmail.com)