



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: REINGENIERÍA PARA EL DISEÑO E  
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO CON  
INTERFACE A PC PARA AUTOMATIZAR UNA MÁQUINA DE  
ESCRIBIR BRAILLE.**

**AUTORES: ANDRADE VELASQUEZ NELSON SANTIAGO**

**CANDO NARVAEZ EFREN VINICIO**

**DIRECTOR: ING. TIPÁN, EDGAR**

**CODIRECTOR: ING IBARRA, ALEXANDER**

**SANGOLQUÍ**

**2015**

**CERTIFICADO**

Certificamos que el presente proyecto titulado “Reingeniería para el diseño e implementación de un sistema electrónico con interface a pc para automatizar una máquina de escribir braille”, fue desarrollado en su totalidad por los señores Nelson Santiago Andrade Velasquez y Efren Vinicio Cando Narvaez, bajo nuestra dirección.



Ing. Edgar Tipán



Ing. Alexander Ibarra

### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

El presente proyecto titulado “Reingeniería para el diseño e implementación de un sistema electrónico con interface a PC para automatizar una máquina de escribir Braille.”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existente, así como también se ha respetado el derecho intelectual de terceros considerándolos en vitas a pie de página y como fuentes en el registro bibliográfico.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance del proyecto en mención.



Nelson Santiago Andrade Velásquez



Efrén Vinicio Cando Narváz

## AUTORIZACIÓN

Nosotros, Nelson Santiago Andrade Velasquez y Efrén Vinicio Cando Narvaez, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE a publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo “Reingeniería para el diseño e implementación de un sistema electrónico con interface a pc para automatizar una máquina de escribir braille”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, agosto de 2015.



Nelson Santiago Andrade Velásquez



Efrén Vinicio Cando Narvárez

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres, Fausto y Martha, quienes han fomentado en mí un espíritu de perseverancia, compromiso y honestidad gracias a su apoyo incondicional, humildad, integridad y amor.

A mi hermano, Andrés, quien me ha ayudado en momentos difíciles gracias a su carácter y buen humor. Espero que este trabajo te llene de orgullo y sirva de inspiración para seguir superándonos cada día.

A mi familia, que siempre se ha mantenido unida y ha sido un pilar de apoyo ante cualquier situación.

A mis amigos, quienes han cultivado en mí un espíritu de camaradería y compañerismo a lo largo de toda mi vida estudiantil.

Nelson Santiago Andrade Velásquez

## DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado a las personas más especiales en mi vida, que de una u otra manera ocupan un lugar especial en mi corazón.

A mis padres, Rodrigo y Marcia que con su ejemplo y sabias enseñanzas han sabido guiarme por el camino del bien, el trabajo honesto y responsable, luchar por mis sueños y superarme constantemente.

A mis hermanos Eduardo y Edgar que con su ejemplo y apoyo se han convertido en mis mejores amigos y han servido de inspiración para la superación personal día tras día

A mis hermanas Veronica, Stefania, Emily y Nebrazka, que mi trabajo sirva de inspiración, y logren superarme ampliamente en los objetivos que se planteen

A mi abuelita Isabel quien con una gracia y un afectuoso abrazo hace fluir una sonrisa en quien la vea

A mi sobrina María Isabel, que ha representado una luz de alegría para toda la familia, con la esperanza de que sirva de ejemplo para ella.

Efrén Vinicio Cando Narváez

## AGRADECIMIENTO

A mis padres, Fausto y Martha, por aconsejarme y guiarme en la consecución de esta meta, además de ser los mejores mentores que cualquier persona podría imaginar. No existen palabras que me permitan agradecer de manera adecuada toda su dedicación y entrega como padres.

A mi hermano Andrés, por acompañarme siempre en cada paso y enseñarme que la vida es más placentera cuando las cosas se hacen de corazón y con buena actitud.

A mi tía Noemí, por haberme ayudado en incontables ocasiones y siempre de la manera más desinteresada. Por apoyarme siempre en momentos difíciles y por ser siempre un referente de trabajo honesto, dedicación y sobretodo alegría.

A mis amigos, especialmente a mejor amigo Sebastián J., por su compañía y buenos momentos compartidos. Por enseñarme además que el trabajo duro tiene su recompensa y por darme ánimos en los momentos más difíciles. Me siento honrado de contar con su amistad.

A mi compañero de tesis Efrén C., mi más sincero agradecimiento por toda su ayuda y apoyo en el transcurso de nuestra vida universitaria; ha demostrado ser una gran persona y un gran amigo, un destacado estudiante y un excelente profesional.

A los ingenieros Edgar Tipán y Alexander Ibarra, que nos han brindado la oportunidad de realizar el presente proyecto y que además han guiado y supervisado el desarrollo del mismo.

A la Lcda. Lilia Tipán, cuya colaboración ha sido invaluable y fundamental para la consecución de esta meta.

Nelson Santiago Andrade Velásquez

## AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la sabiduría para poder llegar hasta donde estoy hoy, la fortaleza para luchar por mis sueños y guardarme en las adversidades.

A mi madre Marcia quien renunció a sus sueños por ayudarme a cumplir los míos, que con su mano fuerte y amorosa a la vez me han guiado por las sendas del bien

A mi padre Rodrigo, de quien siempre he sentido su apoyo incondicional, amistad pero siempre desde su posición de padre guiándome.

A mi hermano Eduardo que con su seriedad, caballerosidad y forma correcta de actuar en toda circunstancia ha sido un referente de buena conducta, trabajo arduo y un ejemplo a seguir en cada aspecto de mi vida sin dejar de ser mi amigo y cómplice.

A mi hermano Edgar quien siendo un referente nacional de capacidad intelectual, no ha abandonado su calidez humana, jocosidad y sencillez, cualidades dignas de resaltar que lo han convertido en mi amigo y ejemplo a seguir con la esperanza de superar.

A mis tíos Gladicita, Rafael, Manuel, Chavi, Ana, Edgar, Bacha, Teresa, Vicky quienes con su apoyo y mano amiga incondicional me han hecho sentir un hijo en cada uno de sus hogares, razón por la yo los veo como padres para mí.

A mis amigos pero sobre todo a Gabriela P., Vanessa Z. y Mariela V. quienes con sus ocurrencias han logrado sacarme una sonrisa en momentos malos y buenos, Danny E. y Gabriela S. quienes se han ganado mi cariño y admiración por su forma noble y sincera de trabajar creando una sana competencia y Santiago A. mi compañero de tesis quien ha demostrado a lo largo de la carrera universitaria ser una gran persona y excelente profesional.

A Lumoil Cia. Ltda. que ha sido una escuela para mí, mis jefes y compañeros de trabajo quienes con una sonrisa y comprensión han sabido ayudarme y enseñarme la vida laboral.

A los directores Ing. Edgar Tipán e Ing. Alexander Ibarra quien tuvieron la idea del presente proyecto y brindar la guía e ideas a lo largo de la elaboración y la Lcda. Lilia Tipan quien tuvo la generosidad y desprendimiento para facilitarnos la parte fundamental del proyecto la máquina de escribir.

Efrén Vinicio Cando Narváez



## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO .....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
AGRADECIMIENTO .....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO I.....	1
1. GENERALIDADES .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Definición del problema.....	2
1.3 Justificación e importancia.....	3
1.4 Alcance.....	4
1.4.1 Componentes mecánicos.....	4
1.4.2 Componentes eléctricos/electrónicos.....	5
1.4.3 Componentes del sistema de control.....	6
1.4.4 Software para implementación, análisis y simulación.....	7
1.5 Objetivos .....	7
1.5.1 Objetivo General .....	7
1.5.2 Objetivos Específicos.....	7
CAPÍTULO II .....	8
2. MARCO TEÓRICO .....	8
2.1 Discapacidades en el Ecuador .....	8
2.1.1 Antecedentes históricos.....	8
2.1.2 Marco legal.....	9
2.1.3 Situación actual .....	10

2.2	Sistema Braille .....	11
2.2.1	Historia del sistema Braille .....	11
2.2.2	Alfabeto Braille.....	12
2.2.2.1	Alfabeto en Braille.....	13
2.2.2.2	Signos de puntuación .....	13
2.2.2.3	Caracteres especiales .....	13
2.2.2.4	Mayúsculas .....	14
2.2.2.5	Números.....	14
2.2.3	Lectura y escritura Braille.....	14
2.2.3.1	Lectura en Braille.....	14
2.2.3.2	Escritura en Braille .....	15
2.2.4	Impresión Braille.....	17
2.3	Hardware .....	18
2.3.1	Actuadores.....	18
2.3.1.1	Actuadores eléctricos .....	19
2.3.1.2	Servomotor.....	19
2.3.1.3	Actuadores Lineales.....	20
2.4	Plataforma Arduino .....	21
2.5	Aspectos Mecánicos .....	22
2.5.1	Reducciones .....	22
2.5.2	Flexión Mecánica.....	23
2.5.3	Parámetros de diseño para ejes sometidos a flexión .....	24
2.5.4	Transmisiones .....	26
2.5.4.1	Sistemas de Poleas .....	27
2.5.4.2	Tren de engranajes .....	27
2.6	Automatización Mecatrónica .....	28
2.6.1	Generalidades .....	28
2.6.2	Sistemas de Control .....	30
2.6.2.1	Sistema de control en lazo abierto .....	30
2.6.2.2	Sistema de control en lazo cerrado .....	31
CAPÍTULO III.....		33
3.	DISEÑO MECATRÓNICO .....	33

3.1	Diseño de componentes mecánicos .....	33
3.1.1	Sistema de portabilidad .....	34
3.1.2	Diseño de sistema de retorno de carro .....	35
3.1.2.1	Diseño de ejes .....	35
3.1.2.2	Selección de rodamientos .....	37
3.1.2.3	Diseño de sistema de transmisión.....	39
3.1.3	Sistema de impresión .....	41
3.1.3.1	Selección de actuadores .....	41
3.1.3.2	Posicionamiento de actuadores.....	49
3.2	Diseño de componentes electrónicos.....	53
3.2.1	Selección de circuito de accionamiento .....	53
3.2.2	Diseño de fuente de alimentación .....	54
3.3	Diseño de los componentes del sistema de control .....	56
3.3.1	Selección del controlador.....	56
3.4	Adecuación del software necesario .....	64
CAPÍTULO IV.....		65
4.	IMPLEMENTACIÓN .....	65
CAPÍTULO V .....		74
5.	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	74
5.1	Desarrollo del protocolo de pruebas.....	74
5.2	Pruebas del sistema .....	74
5.2.1	Pruebas de caja negra .....	74
5.2.2	Pruebas de integración .....	75
5.2.3	Pruebas de conjunto .....	75
5.2.4	Pruebas de usabilidad.....	75
5.3	Resultados del sistema.....	75
5.3.1	Pruebas de caja negra .....	75
5.3.2	Pruebas de integración .....	76
5.3.3	Pruebas de conjunto .....	77
5.3.4	Pruebas de usabilidad.....	78
5.4	Validación de los resultados.....	80
5.4.1	Pruebas de caja negra.....	80

5.4.2	Pruebas de integración .....	80
5.4.3	Pruebas de conjunto .....	81
5.4.4	Pruebas de usabilidad .....	81
CAPÍTULO VI.....		82
6.	ANÁLISIS Y CONCLUSIONES .....	82
6.1	Costo de Inversión .....	82
6.1.1	Costo de Materia Prima.....	82
6.1.2	Costo de Equipos .....	83
6.1.3	Costo de Herramientas y Materiales .....	83
6.1.4	Costo de Mano de Obra.....	84
6.1.5	Costo Total .....	85
6.2	Análisis Económico.....	85
6.3	Análisis de Impacto .....	86
6.3.1	Impacto social .....	87
6.3.2	Impacto económico .....	87
6.3.3	Impacto Ambiental.....	88
6.3.4	Impacto general.....	89
6.4	Conclusiones y Recomendaciones .....	89
6.4.1	Conclusiones .....	89
6.4.2	Recomendaciones.....	90
BIBLIOGRAFÍA .....		91
APÉNDICES.....		93
A1: PLANOS MECÁNICOS.....		94
A2: PLANOS ELÉCTRICOS .....		95
A3: DIAGRAMA DE FLUJO .....		96
A4: PROGRAMA DEL CONTROLADOR .....		97
A5: MANUAL DE USUARIO .....		98
A6: CATÁLOGOS Y DATASHEETS .....		99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Registro nacional de discapacidades.....	10
Tabla 2: Descripción de los elementos de la máquina Perkins – Brailleur.....	17
Tabla 3: Dimensión de las celdas en el sistema Braille .....	18
Tabla 4: Características de los actuadores .....	19
Tabla 5: Ventajas del acrílico.....	34
Tabla 6: Motores DC disponibles en el mercado .....	40
Tabla 7: Actuadores disponibles en el mercado.....	41
Tabla 8: Tabla ponderación importancia variables .....	43
Tabla 9: Comparación opciones con respecto a voltaje de alimentación.....	44
Tabla 10: Comparación opciones con respecto a corriente nominal.....	45
Tabla 11: Comparación opciones con respecto a la carrera del actuador .....	45
Tabla 12: Comparación opciones con respecto al tipo de accionamiento de los actuadores.....	45
Tabla 13: Comparación opciones con respecto al costo de los actuadores.....	46
Tabla 14: Comparación opciones con respecto a la necesidad de accesorios de apoyo .....	46
Tabla 15: Comparación opciones con respecto a tamaño del actuador .....	46
Tabla 16: Comparación opciones con respecto a país de origen .....	47
Tabla 17: Comparación opciones con respecto a la fuerza del actuador .....	47
Tabla 18: Comparación opciones con respecto al peso del actuador.....	47
Tabla 19: Comparación opciones con respecto al material del actuador .....	48
Tabla 20: Tabla de conclusiones .....	48
Tabla 21: Propiedades mecánicas obtenidas mediante el software SolidWorks.....	50
Tabla 22: Características eléctricas del proyecto .....	53
Tabla 23: Criterios y opciones para selección de controlador .....	56
Tabla 24: Peso de cada criterio para comparación.....	58
Tabla 25: Comparación con respecto a voltaje de operación.....	59
Tabla 26: Comparación con respecto a entradas y salidas digitales .....	59
Tabla 27: Comparación con respecto a entradas analógicas .....	59
Tabla 28: Comparación con respecto a corriente de entradas y salidas.....	60
Tabla 29: Comparación con respecto a capacidad de memoria flash .....	60
Tabla 30: Comparación con respecto a capacidad de memoria SRAM.....	60

Tabla 31: Comparación con respecto a capacidad de memoria EEPROM.....	61
Tabla 32: Comparación con respecto a velocidad de reloj .....	61
Tabla 33: Comparación con respecto a costo del controlador .....	61
Tabla 34: Comparación con respecto a dimensiones del controlador.....	62
Tabla 35: Comparación con respecto a disponibilidad de conexión USB.....	62
Tabla 36: Ponderación en base al peso de cada criterio.....	63
Tabla 37: Detalle de los componentes del sistema.....	66
Tabla 38: Resultados de pruebas de caja negra.....	76
Tabla 39: Pruebas de integración de shield de relés y actuadores .....	76
Tabla 40: Pruebas de integración de Controlador Arduino mega ADK e integrado L298N .....	77
Tabla 41: Pruebas de integración de fuente de poder y actuadores .....	77
Tabla 42: Consumo de corriente con actuadores .....	77
Tabla 43: Resultados de pruebas del conjunto.....	78
Tabla 44: Pruebas de funcionamiento continuo .....	78
Tabla 45: Costo de materia prima .....	82
Tabla 46: Costo de equipos .....	83
Tabla 47: Costo de herramientas y materiales .....	83
Tabla 48: Costo de mano de obra.....	84
Tabla 49: Costo total .....	85
Tabla 50: Rango de niveles de impacto .....	86
Tabla 51: Impacto social del proyecto .....	87
Tabla 52: Impacto económico del proyecto .....	87
Tabla 53: Impacto ambiental del proyecto.....	88
Tabla 54: Impacto general del proyecto.....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Máquina de escritura Braille marca Perkins. ....	2
Figura 2: Máquina de escritura Braille automatizada. ....	4
Figura 3: Componentes mecánicos del sistema .....	4
Figura 4: Componentes eléctricos/electrónicos del sistema.....	5
Figura 5: Actuador lineal de 12V.....	6
Figura 6: Componentes del sistema de control .....	6
Figura 7: Logotipo CONADIS Ecuador. ....	9
Figura 8: Logotipo FENCE.....	10
Figura 9: Signo generador del sistema Braille .....	12
Figura 10: Alfabeto Braille .....	13
Figura 11: Signos de puntuación.....	13
Figura 12: Caracteres especiales .....	13
Figura 13: Signo de mayúsculas .....	14
Figura 14: Mayúsculas en el sistema Braille.....	14
Figura 15: Signo de número .....	14
Figura 16: Números en el sistema Braille .....	14
Figura 17: Lectura unimanual .....	15
Figura 18: Lectura bimanual .....	15
Figura 19: Escritura manual en Braille .....	16
Figura 20: Escritura a máquina mediante el modelo Perkins – Brailier .....	17
Figura 21: Tamaño de las celdas en el sistema Braille .....	18
Figura 22: Diversos tipos de servomotores .....	19
Figura 23: Componentes de un servomotor .....	20
Figura 24: Distintos tipos de actuadores lineales (eléctrico, hidráulico y neumático) .....	21
Figura 25: Placa Arduino MEGA ADK.....	21
Figura 26: Principio de funcionamiento de una caja reductora de velocidad y su acople a un motor de corriente continua .....	22
Figura 27: Esquema de un elemento sometido a flexión y visualización de su fibra neutra.....	23
Figura 28: Ejemplos de esfuerzos de flexión .....	23
Figura 29: Ecuaciones de los esfuerzos fluctuantes debidos a flexión y torsión .....	24

Figura 30: Ecuaciones de esfuerzos para eje sólido de sección transversal redonda.	25
Figura 31: Ecuación ED-Goodman.....	25
Figura 32: Ecuación ED-Gerber .....	25
Figura 33: Ecuación ED-ASME elíptica.....	26
Figura 34: Ecuación ED-Soderberg .....	26
Figura 35: Tipos de poleas .....	27
Figura 36: Tren de engranajes.....	28
Figura 37: Línea de ensamblaje automatizada mediante manipuladores robóticos...	29
Figura 38: Áreas de estudio de la ingeniería mecatrónica .....	29
Figura 39: Sistema de control asociado a un sistema.....	30
Figura 40: Sistema de control en lazo abierto.....	31
Figura 41: Sistema de control en lazo cerrado .....	31
Figura 42: Esquema del sistema automático de escritura Braille .....	33
Figura 43: Esquema para la determinación de momento .....	37
Figura 44: Rodamiento de bolas .....	38
Figura 45: Rodamiento lineal de bolas.....	39
Figura 46: Pieza para posicionamiento de los actuadores.....	49
Figura 47: Distribución de fuerzas en el elemento de soporte .....	51
Figura 48: División del elemento para simulación .....	51
Figura 49: Resultado de simulación.....	52
Figura 50: Diseño final de la pieza de sujeción de actuadores .....	52
Figura 51: Shield de relés.....	54
Figura 52: Circuito de la fuente de poder.....	56
Figura 53: Esquema general del proyecto .....	65
Figura 54: Detalle de los componentes del sistema .....	66
Figura 55: Diseño de los soportes de aluminio mediante software CAD .....	67
Figura 56: Realización de las perforaciones en placas de acrílico.....	68
Figura 57: Verificación de la longitud de la banda de transmisión.....	68
Figura 58: Diseño de la placa de acrílico intermedia.....	69
Figura 59: Diseño de las piezas de aluminio para la activación de las teclas .....	69
Figura 60: Colocación de la pieza de acrílico intermedia .....	70
Figura 61: Sujeción de los actuadores a la placa superior de acrílico.....	70



Figura 62: Acople de la placa superior y los actuadores a la estructura .....	71
Figura 63: Vista lateral del ensamble .....	71
Figura 64: Sujeción del controlador y componentes electrónicos .....	72
Figura 65: Acople del servomotor al tambor de la máquina de escribir .....	72
Figura 66: Organización del cableado (vista superior) .....	73
Figura 67: Organización del cableado (vista frontal).....	73
Figura 68: Esquema de pruebas de caja negra .....	75
Figura 69: Resultados de pruebas de facilidad de uso .....	78
Figura 70: Resultados de pruebas de eficiencia del sistema .....	79
Figura 71: Resultados de pruebas ante errores.....	79
Figura 72: Resultado de prueba para grado de satisfacción del sistema .....	80

## RESUMEN

En el presente proyecto se desarrolla el diseño e implementación de la reingeniería, tanto mecánica como eléctrica, de un sistema para la automatización de escritura braille a través del uso de la máquina de escribir marca Perkins. La necesidad de inclusión de personas con discapacidad visual a la sociedad ha motivado la investigación en diferentes campos, sin embargo, la falta de lugares para la capacitación de escritura braille, los altos costos de sistemas de impresión braille y la despreocupación de las personas que gozan del privilegio visual por aprender un método de comunicación escrita apto para personas con discapacidad visual, ha llevado a que personas con capacidades diferentes en el sentido de la vista no gocen de un pasatiempo enriquecedor como el hábito de la lectura; lo que a su vez impide el desarrollo de distintos estímulos en esta clase de personas, lo cual facilitaría su vida cotidiana. Por lo tanto el presente proyecto tiene como finalidad el permitir la comunicación vía escrita con personas ciegas sin la necesidad de aprender lenguaje braille, a bajos costos. Con el propósito de reutilizar máquinas de escribir se ha planteado el uso de actuadores lineales, los mismos que se encargan del accionamiento de las teclas; además de la incorporación de tecnología de vanguardia basada en hardware y software libre como la que representa la plataforma Arduino. Asimismo, la utilización de elementos comerciales de fácil adquisición en el mercado simplifica la reproducción del sistema, como se demuestra en el presente proyecto.

### **Palabras clave:**

- **AUTOMATIZACIÓN**
- **MÁQUINA DE ESCRIBIR**
- **BRAILLE**
- **ACTUADOR LINEAL**
- **ARDUINO**

## ABSTRACT

This paper shows the design and implementation, mechanical and electrically, of an automation system for braille writing using a Perkins typewriter. The need for inclusion of people with visual disabilities to society has motivated research in different fields, however, the lack of places to learn and practice braille, the high costs of braille printing systems and the indifference of people with visual privilege to learn a method of written communication suitable for people with visual disabilities, hasn't allowed blind people to enjoy an enriching hobby like reading habits; which in turn encourages different stimuli, thereby facilitating their daily lives. Therefore, this project aims to allow written communication without the need to learn braille, at low costs. In order to reuse typewriters, we used linear actuators that handle the keys; in addition to the use of cutting edge technology based on open hardware and software, as the Arduino platform represents. Likewise, the use of available commercial items of easy purchase simplifies this system's reproduction, which is demonstrated in the development of the financial analysis, presented in this paper.

### Key words:

- **AUTOMATION**
- **TYPEWRITER**
- **BRAILLE**
- **LINEAR ACTUATOR**
- **ARDUINO**

## CAPÍTULO I

### 1. GENERALIDADES

#### 1.1 Antecedentes

En el Ecuador los servicios de atención de necesidades a personas con discapacidad visual tenían una tendencia caritativa pero no fundamental e igualitaria. Con el objetivo de corregir dicho problema en este sector poblacional, se crea el Consejo Nacional de Igualdad de Discapacidades (CONADIS) permitiendo instaurar así una política de inclusión social y leyes que sustenten la misma.

El Consejo Nacional de Igualdad de Discapacidades es una institución que se encuentra bajo la regulación del Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES), la cual tiene como misión:

Establecer y ejecutar políticas, regulaciones, estrategias, programas y servicios para la atención durante el ciclo de vida, protección especial, aseguramiento universal no contributivo, movilidad Social e inclusión económica de grupos de atención prioritaria (niños, niñas, adolescentes, jóvenes, adultos mayores, personas con discapacidad) y aquellos que se encuentran en situación de pobreza y vulnerabilidad. (MIES, 2014)

Según las estadísticas proporcionadas por el Consejo Nacional de Igualdad de Discapacidades, “la población de personas con discapacidad visual registradas a nivel nacional es de 42082” (CONADIS, 2013), lo cual representa una cantidad significativa de personas que requieren asistencia prioritaria especializada para poder realizar actividades cotidianas como la lectura, escritura y el aprendizaje, entre otros.

En un intento por facilitar dichas actividades cotidianas a las personas no videntes, Louis Braille desarrolló el sistema que lleva su mismo nombre en el siglo XIX, el cual está basado en un símbolo formado por 6 puntos: aquellos que estén en relieve representarán una letra o signo de la escritura en caracteres visuales. El tamaño y distribución de los 6 puntos que forman el llamado Signo Generador, no es un capricho sino el fruto de la experiencia de Louis Braille. Las terminaciones nerviosas de la yema del dedo están capacitadas para captar este tamaño en particular. (Elissalde, 2012).

En la actualidad existen diversos métodos de escritura Braille, siendo uno de los más comunes la máquina de escribir. Esta máquina fue diseñada y desarrollada por David Abraham en 1951 y gracias a su durabilidad, facilidad de uso y accesibilidad económica, estableció la norma de escritura en Braille hasta la fecha. Hoy en día constituye una herramienta fundamental para estudiantes con discapacidad visual de cualquier nivel.



**Figura 1: Máquina de escritura Braille marca Perkins.** <sup>1</sup>

La “máquina Perkins” cuenta con las siguientes características:

- 6 teclas de escritura (cada una corresponde a uno de los seis puntos que forman el llamado "signo generador" base de la escritura braille.
- 1 tecla espaciadora
- 1 tecla de bajada de renglón
- 1 tecla de retroceso
- Área de escritura: 35 líneas, 42 caracteres por línea.
- Manija transportadora
- Peso: 4,8 kg.

Dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, en el Departamento de Eléctrica y Electrónica se desarrolló el proyecto de tesis titulado: “Diseño e implementación de un sistema electrónico con interface a pc para automatizar una máquina de escribir braille” por las estudiantes Andrea Estefanía Noboa Montenegro y Diana Sofía Noboa Montenegro, el cual presentó deficiencias en el diseño mecánico en cuanto a portabilidad, diseño y selección de elementos mecánicos, sistemas de transmisión de potencia; y en el diseño electrónico se hallaron limitantes en el uso de sistemas basados en microcontroladores como el PIC 18f2550.

### **1.2 Definición del problema**

Para poder escribir un documento en el sistema de escritura Braille es necesario hacer uso de una máquina de escribir (manual) que conste de teclas correspondientes a los caracteres del sistema mencionado, por lo tanto es necesaria una capacitación previa para operar dicha máquina.

Actualmente existe un sistema de automatización para una máquina de escribir marca Perkins en el departamento de eléctrica y electrónica, elaborado mediante la tesis titulada “Diseño e implementación de un sistema electrónico con interface a pc para automatizar una máquina de escribir braille”, en donde se observaron las siguientes deficiencias mecánicas:

---

<sup>1</sup> CIDAT, s.f. Recuperado de:  
<http://cidat.once.es/home.cfm?excepcion=52&idproducto=18&idseccion=02>

- Difícil portabilidad del sistema
- Flexión por inadecuada sujeción de ejes al momento del funcionamiento
- Fallas en el sistema de transmisión

Así como las siguientes deficiencias electrónicas:

- Falta de instrumentación
- Problemas de sincronismo entre el sistema mecánico y la interfaz realizada mediante lenguaje de programación Java.

Por lo tanto el presente proyecto plantea la corrección de estas deficiencias mediante una reingeniería integral del sistema que considera: el diseño mecánico del sistema, la migración hacia plataforma Arduino, la incorporación de instrumentación y un sistema de control; mejorando así la eficiencia del sistema.

Mediante el diseño mecánico se plantea el dimensionamiento de los actuadores lineales a ser utilizados, cambio de ejes tras la correcta selección del diámetro necesario, selección de los elementos de sujeción a ser incorporados en el sistema; todo lo antes detallado tiene como objeto mejorar la portabilidad del sistema.

La interfaz con el usuario será la misma desarrollada en la tesis mencionada, basada en lenguaje de programación Java; adicionalmente, el sincronismo con el sistema mecánico de la interfaz descrita se desarrollará mediante la incorporación de la plataforma Arduino.

### **1.3 Justificación e importancia**

Actualmente en el Ecuador, debido a las políticas de inclusión dirigidas a sectores sociales que sufren de algún tipo de discapacidad, se ha visto un incremento en la inserción de dichas personas en las actividades cotidianas buscando un trato equitativo y justo.

Como se pudo apreciar en las estadísticas proporcionadas por el CONADIS, uno de los grupos más representativos dentro de las discapacidades que sufren los ecuatorianos es la visual. Es por esto que se plantea el presente proyecto como un aporte a dicho sector social de modo que se pueda mejorar el proceso de enseñanza – aprendizaje, con el fin de fomentar la capacitación y formación igualitaria de dichas personas.

Tomando en cuenta los costos elevados de los sistemas de impresión en código Braille existentes en el mercado, se ha observado la ventaja de la automatización de una máquina de escritura manual frente a la adquisición de una impresora automática. Es por tanto que se identifica la importancia de la optimización del proyecto: “Diseño e implementación de un sistema electrónico con interface a pc para automatizar una máquina de escribir braille”.



Figura 2: Máquina de escritura Braille automatizada.<sup>2</sup>

Debido a los problemas en la portabilidad y las fallas mecánicas identificadas en el proyecto anteriormente mencionado, se ha visto la necesidad de realizar la reingeniería del sistema, poniendo especial énfasis en la parte mecánica para la corrección de los inconvenientes descritos. Por otra parte, se propone la actualización del sistema electrónico que está basado en el microcontrolador PIC 18f2550 por una propuesta vanguardista como el uso de la plataforma Arduino para la comunicación y la integración del proyecto con la existente interfaz basada en lenguaje de programación Java.

## 1.4 Alcance

### 1.4.1 Componentes mecánicos

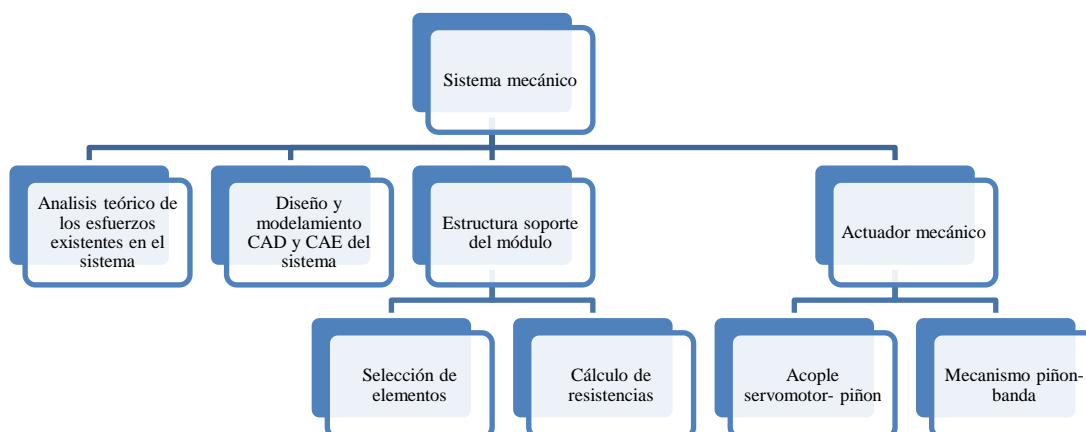


Figura 3: Componentes mecánicos del sistema

### Especificación de funciones

- *Análisis teórico de los esfuerzos existentes en el sistema:* Como aplicación de conceptos teóricos al sistema automático a desarrollar se basará en:

<sup>2</sup> Noboa & Noboa, 2014. Diseño e implementación de un sistema electrónico con interface a pc para automatizar una máquina de escribir braille. Sangolquí, Ecuador.

- Resistencia de los materiales
- Circulo de Mohr
- Flexión mecánica
- *Diseño y modelamiento CAD y CAE del sistema:* Como respaldo al diseño teórico, es necesario la simulación mediante herramientas CAD y CAE como garantía al diseño
- *Estructura soporte del módulo*
  - Selección de elementos
  - Cálculo de resistencias
- *Actuador mecánico:* Se diseñará todos los elementos necesario para el acople y transmisión de potencia
  - Acople motor-piñon
  - Mecanismo piñon-banda

#### 1.4.2 Componentes eléctricos/electrónicos

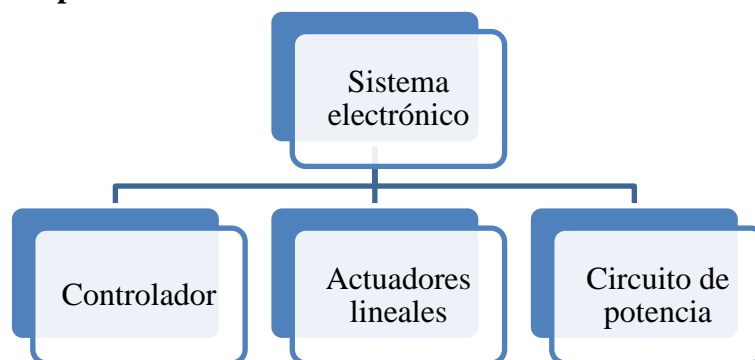


Figura 4: Componentes eléctricos/electrónicos del sistema

#### Especificación de funciones

- *Controlador:* El controlador que se va a requerir en el presente proyecto, debe cumplir con las siguientes características:
  - Vinculación con el software desarrollado en el proyecto original.
  - Varios canales de entrada análoga, necesarios para acoplar las señales proporcionadas por los sensores.
  - Canales de salida discreta para controlar la señal de posición que irá al motor.
  - Disponibilidad del dispositivo en el mercado.
- *Actuadores lineales:* Los actuadores necesarios para el presente proyecto, deben cumplir con los requerimientos necesarios del torque requerido para la pulsación de las teclas.





Figura 5: Actuador lineal de 12V.<sup>3</sup>

- *Circuito de Potencia:* Diseño e implementación del circuito de potencia para el control del servomotor y actuadores lineales, con conexión al controlador.

### 1.4.3 Componentes del sistema de control

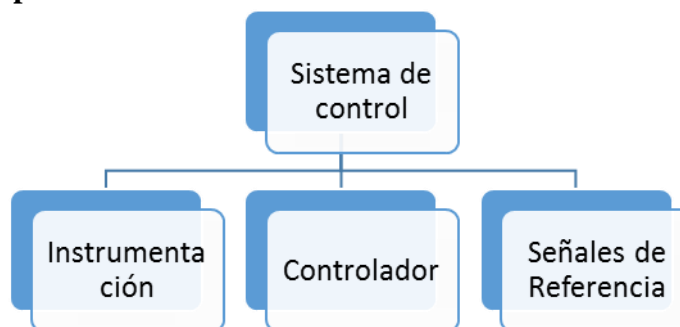


Figura 6: Componentes del sistema de control

#### Especificación de funciones

- *Instrumentación:* Será necesario realizar una instrumentación adecuada al sistema para control de posición del carro, otorgando señales retroalimentadas hacia el controlador para la adaptación del sistema de control.
- *Controlador:* El controlador se seleccionará en función de los requerimientos del sistema, tales como velocidad de respuesta, tipo de respuesta, errores máximos admisibles, entre otros factores que definirán si el controlador óptimo es un P, PI, PD, PID, o un compensador. El controlador se encargará de interpretar las señales de entrada provenientes de los sensores del módulo para emitir una señal de control que permita a la cremallera adaptarse a las necesidades del usuario.
- *Señales de referencia:* Las señales de referencia se generarán en función del espacio disponible para la carrera del carro de la máquina de escribir. El

<sup>3</sup> Mercado en línea del actuador lineal de China, s.f. Recuperado de: <http://spanish.linearactuator-motor.com/sale-1032388-recliner-chair-mechanism-dental-chair-electric-linear-actuator-with-controller.html>

sistema de control tomará estas señales de referencia y tras analizar la posición del carro en un instante dado emitirá una señal de control pertinente para dicho momento.

#### **1.4.4 Software para implementación, análisis y simulación**

Los programas que se usarán durante el desarrollo de la tesis se detallan a continuación:

- *Software SOLIDWORKS* para diseño CAD/CAE, el cual permitirá el diseño de los elementos mecánicos, así como la simulación de los mismos para determinar los esfuerzos y demás parámetros mecánicos a los que se verán expuestos cuando entren a operación.
- *Software Proteus Professional ISIS* para la simulación de los circuitos electrónicos y eléctricos que serán utilizados en el sistema automático de escritura Braille.
- *Software Proteus Professional ARES* para la elaboración de los PCBs que se encargarán del comportamiento electrónico y eléctrico del módulo.
- *Software SolidworksElectrical*, para la elaboración de planos y diagramas eléctricos.
- *Software de Arduino IDE*, para la elaboración del programa que se almacenará en la placa Arduino.

### **1.5 Objetivos**

#### **1.5.1 Objetivo General**

Realizar la reingeniería integral de un sistema electrónico con interface a PC para automatizar una máquina de escribir Braille, rediseñando el sistema mecánico y la innovación a plataforma Arduino, para mejorar el rendimiento mediante un sistema mecatrónico.

#### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Aprender las normas y parámetros del alfabeto, lectura y escritura Braille, mediante investigación previa para tener un conocimiento en donde se base el estudio e implementación del proyecto.
- Diseñar y dimensionar todos los componentes mecánicos que formarán parte del sistema automático de escritura Braille, a partir de las teorías de diseño mecánico, de tal forma que el sistema tenga una duración prolongada y fácil portabilidad.
- Migrar el controlador existente a la plataforma Arduino en el sistema electrónico, vinculado a una interfaz para la incursión en nueva tecnología y hardware libre.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Discapacidades en el Ecuador

En la actualidad, se estima que existen alrededor de 600 millones de personas discapacitadas en todo el mundo que conformar aproximadamente el 10% de la población mundial. De éste porcentaje, alrededor del 80% de personas viven en países en desarrollo en donde se enfrentan a una situación de marginalización social, económica y política aplastantes, sin que los gobiernos, en general, hayan puesto real énfasis en otorgarles las condiciones mínimas indispensables que les permitiese alcanzar un desarrollo integral en un marco digno e igualitario. En otras palabras, no se han hecho los esfuerzos necesarios por pasar de la simple literatura al accionar concreto.

En efecto, en América Latina, donde se estima que existe una población que asciende a 300 millones de personas, de las cuales al menos 30 millones tienen una discapacidad ha existido un accionar gubernamental más bien paternalista que ha buscado dar soluciones de corto plazo a los problemas que aquejan a éste grupo de la población y, han descuidado la formulación e implantación de soluciones concretas, permanentes y sostenibles en el tiempo, como parte esencial de una verdadera Política de Estado (Moreno, 2007).

##### 2.1.1 Antecedentes históricos

A mediados de siglo la atención a personas con discapacidades nació por iniciativa de padres de familia y organizaciones privadas, bajo los criterios de caridad y beneficencia; a través de las incipientes organizaciones de personas ciegas y sordas, quienes lograron progresivamente organizarse y atender a sus asociados, principalmente enfocándose en el ámbito de educación creando a partir de ahí, varias escuelas.

Sin embargo la inclusión de las personas con discapacidades en varias áreas como salud y bienestar social, empieza en los años 70 con el auge económico proveniente de reciente explotación petrolera mediante la creación de varios servicios; pero el cambio sustancial se produce la década pasada con el ordenamiento y racionalización de la atención a las personas con discapacidad que se produce como resultado de la aplicación de la Ley 180 de Discapacidades y la aparición del Consejo Nacional de Discapacidades, esta Ley, al disponer la creación de un Sistema Nacional de Prevención de Discapacidades y de atención e integración de las personas con discapacidad y confiere al CONADIS la facultad de dictar políticas, coordinar acciones e impulsar investigaciones.



Figura 7: Logotipo CONADIS Ecuador.<sup>4</sup>

El desarrollo más evidente es la ejecución del Plan Nacional de Discapacidades, el establecimiento en el Reglamento a la Ley de las competencias, responsabilidades y atribuciones que tienen las distintas instituciones del sector público y privado en la prevención y atención, así como la obligatoria necesidad de coordinación y participación de las mismas, el fortalecimiento de las organizaciones de personas con discapacidad, la creación de la Red de ONGs, el establecimiento de mecanismos para coordinar las acciones en el sector público.

### 2.1.2 Marco legal

Ecuador es uno de los países pioneros en tomar en cuenta en una Constitución a las personas con discapacidades en varios artículos pero, especialmente en el artículo 47 donde: “El Estado garantizará políticas de prevención de las discapacidades y, de manera conjunta con la sociedad y la familia, procurará la equiparación de oportunidades para las personas con discapacidad y su integración social.”, y muchos artículos más, además de contar con la ley 180 enfocada a hacia este sector social donde se establece un sistema nacional de prevención de discapacidades y de atención e integración de las personas con discapacidades, norma, la organización y funcionamiento del CONADIS, contiene disposiciones sobre los derechos y beneficios de las personas con discapacidad y los procedimientos para sancionar a quienes no cumplen con la ley y a quienes discriminen a las personas por razones de discapacidad.

En el ámbito normativo cabe anotarse también, que el país ha suscrito varios convenios internacionales sobre discapacidades, que también se convierten en normas para el Ecuador; los convenios de la OIT, sobre trabajo para personas con discapacidad, las Normas Uniformes de la ONU, la Convención por la no discriminación de las personas por razones de discapacidad; la Declaración de Salamanca para la educación de niños y jóvenes con Necesidades Educativas Especiales, la Declaración de Managua por las políticas para niños y jóvenes con discapacidad, la Declaración de Cartagena sobre políticas integrales para personas con discapacidad y tercera edad. (Cazar, 2014)

<sup>4</sup> Consejo Nacional de Igualdad de Discapacidades, s.f. Recuperado de: <http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/>

### 2.1.3 Situación actual

Como se puede apreciar en el artículo publicado por la Organización Mundial de la Salud:

Discapacidad es un término general que abarca las deficiencias, las limitaciones de la actividad y las restricciones de la participación. Las deficiencias son problemas que afectan a una estructura o función corporal; las limitaciones de la actividad son dificultades para ejecutar acciones o tareas, y las restricciones de la participación son problemas para participar en situaciones vitales. (OMS, 2015)

Según los datos proporcionados por el Ministerio de Salud Pública (2014), existen 7 tipos distintos de discapacidades, los mismos que muestran un registro de personas que las padecen como se aprecia en la tabla 2.1.

**Tabla 1: Registro nacional de discapacidades**

Provincia	Tipo de Discapacidad							TOTAL
	Auditiva	Física	Intelectual	Lenguaje	Mental	Psicológico	Visual	
Pichincha	8808	26124	12433	797	915	1782	6683	57542
Guayas	10073	45648	21340	936	1879	1941	10072	91889
Azuay	2824	15505	5225	349	433	467	3306	28109
Total Nacional	48308	193905	87581	5510	6757	8737	46435	397233

En el país existen varias fundaciones y organizaciones que fomentan la inclusión de personas no videntes a la sociedad, como es el caso de la Federación Nacional de Ciegos del Ecuador (FENCE), la cual funciona como organización de derecho jurídico sin fines de lucro, cuya principal finalidad es “impulsar en los ciegos el progreso y desarrollo, acorde con las corrientes modernas de la tiflogía y velar por el mejoramiento cultural, educativo, económico y social de sus instituciones y personas asociadas”. (FENCE, 2014)



**Figura 8: Logotipo FENCE<sup>5</sup>**

Asimismo, en la actualidad en el Ecuador existe la comisión de discapacidades, cuyo objetivo fundamental es el promover la generación y difusión de un sistema de información actualizado sobre las Estadísticas de Discapacidades, mediante el trabajo sinérgico de la entidades públicas y organismos privados vinculados con el que hacer estadístico de esta temática, que constituya una herramienta indispensable para la política pública, investigadores y sociedad civil en general, a la hora de

<sup>5</sup> Federación Nacional de Ciegos del Ecuador, s.f. Recuperado de: <http://www.fenceec.org/>

generar estrategia, planes y programas, que coadyuven a una adecuada y planificada toma de decisiones en los términos del buen vivir.

Cuyos integrantes son:

- Vicepresidencia de la República del Ecuador
- Consejo Nacional de Discapacidades - CONADIS
- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo -SENPLADES
- Instituto Nacional de Estadística y Censos – INEC

Como se aprecia en su tesis, Noboa & Noboa (2014) mencionan que es indispensable dar un trato digno y justo a las personas no videntes. Esto se ve reflejado en la actualidad pues se está viviendo un cambio en la manera en la que se incluye a este sector social a la vida cotidiana. Cada vez se perciben más dispositivos que ayudan a estas personas en sus quehaceres diarios, se crean más escuelas y centros de atención especializados y se ve una inclusión igualitaria de las personas no videntes en puestos laborales, lo que les permite alcanzar autosuficiencia y una adecuada inserción en la sociedad.

## **2.2 Sistema Braille**

A diferencia de un lenguaje como tal, el sistema Braille es un alfabeto mediante el cual se adaptan otros alfabetos de distintos lenguajes; es decir, el sistema Braille es un código de lectura y escritura que permite transliterar la escritura que utilizan las personas videntes en signos táctiles. (Braille Chile, 2012)

### **2.2.1 Historia del sistema Braille**

Han existido numerosos inventos para facilitar el aprendizaje a través de la lectura y escritura de las personas no videntes, sin embargo éstas fueron poco utilizadas debido a deficiencias en cuanto a los materiales empleados o a sus propios códigos. Es por esto que la discapacidad visual se convertía en un impedimento para el acceso a la comunicación escrita. El primer registro que se tiene de un sistema similar data de comienzos del siglo XVI, cuando Francisco Lucas tuvo la idea de plasmar letras sobre madera.

Fue durante la segunda mitad del siglo XVIII que la sociedad toma conciencia y genera un cambio de actitud ante la discapacidad y, más particularmente, en cuanto a la ceguera. Precisamente en 1784 se crea en París el primer centro educativo para personas ciegas, conocido como “Institution National des Jeunes Aveugles” y fundado por Valentin Haüy. Su método de enseñanza consistía en la grabación en alto relieve de caracteres que las personas videntes utilizan, es decir, tomaba las mismas letras del alfabeto de las personas videntes y las grababa con relieve para que las personas no videntes pudieran leerlas a través del tacto. Esto les permitía leer muy despacio, pero no escribir.

En 1821, Charles Barbier de la Serre (1767-1861) presenta un sistema mediante el cual se podía representar los sonidos de las palabras a través de puntos. La idea consistía en que los soldados sean capaces de enviar mensajes en la oscuridad y éstos puedan ser leídos mediante el tacto con las yemas de los dedos. Los signos que se empleaban en este sistema podían ser escritos con una pauta y un punzón, pero no representaban la ortografía de las palabras sino solamente su sonido, es por esto que dicho sistema fue conocido como sonografía.

Fue Louis Braille (1809-1852) quien analiza el sistema de Barbier y lo adapta para inventar un alfabeto y añadir signos. Braille perdió la vista cuando era niño a causa de un accidente con las herramientas que su padre poseía para trabajar el cuero en su taller. A raíz de esto ingresó en el instituto fundado por Haüy y estudió el sistema que presentó Barbier; y finalmente en 1827 publica el código de lectoescritura para personas no videntes que sería utilizado hasta la actualidad con leves modificaciones en los distintos idiomas. Louis Braille adapta este sistema a las matemáticas, la música, las ciencias y genera también abreviaturas, creando además una pauta que permite la escritura.

Sin embargo, no es sino hasta 1840 en que se acepta oficialmente el sistema Braille debido a que representaba un cambio drástico en cuanto a la tendencia que se llevaba en ese entonces. En el Congreso Internacional celebrado en París en 1878, se decide promover al sistema Braille como método universal por ser el mejor sistema de lectoescritura para personas no videntes.

El sistema braille ha sido un factor clave al hablar de la integración tanto social como educativa de las personas con discapacidad visual; y, al ser el método universal para la comunicación escrita de las personas ciegas, ha fomentado el acceso a la información de dichas personas en la actualidad. (ITE, 2012)

### 2.2.2 Alfabeto Braille

El alfabeto Braille consta de un signo generador, el mismo que está conformado por 6 puntos que se representan en alto relieve, distribuidos en dos columnas de tres puntos cada una, como se puede apreciar en la figura 9.

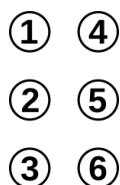


Figura 9: Signo generador del sistema Braille

A partir de estos seis puntos, se pueden obtener 64 combinaciones diferentes, incluyendo la que no tiene presente ningún punto, que representa el espacio en blanco utilizado para separar palabras, números, etc. Es la presencia o ausencia de puntos en cualquiera de las posiciones la que determinará de qué letra o símbolo se

trata. Debido a que las 64 combinaciones resultan insuficientes para establecer todos los caracteres del alfabeto, se utilizan signos diferenciadores para denotar mayúsculas, puntuaciones, números, entre otros. (ONCE, 2015)

A continuación se presenta el alfabeto braille, seguido de los signos de puntuación, el signo de mayúsculas y el signo numérico:

### 2.2.2.1 Alfabeto en Braille

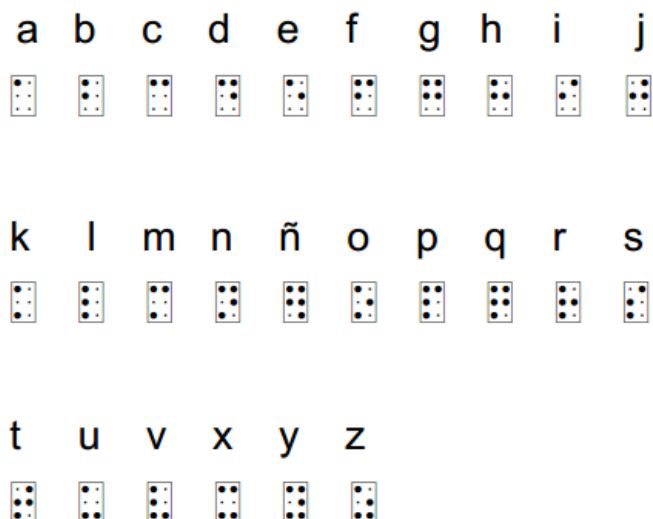


Figura 10: Alfabeto Braille

### 2.2.2.2 Signos de puntuación

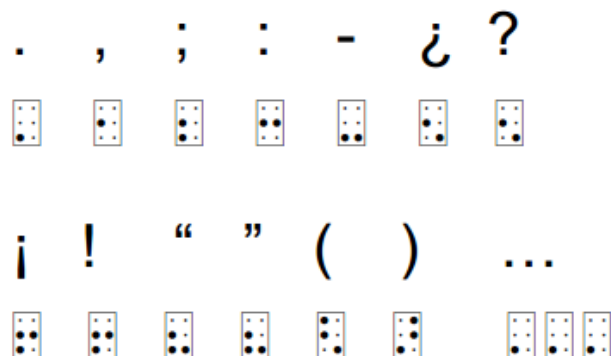


Figura 11: Signos de puntuación

### 2.2.2.3 Caracteres especiales

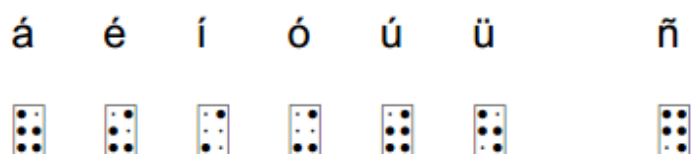


Figura 12: Caracteres especiales



### 2.2.2.4 Mayúsculas



Figura 13: Signo de mayúsculas

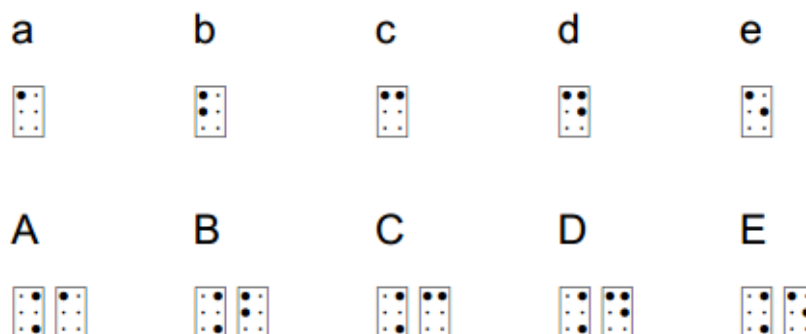


Figura 14: Mayúsculas en el sistema Braille

### 2.2.2.5 Números



Figura 15: Signo de número

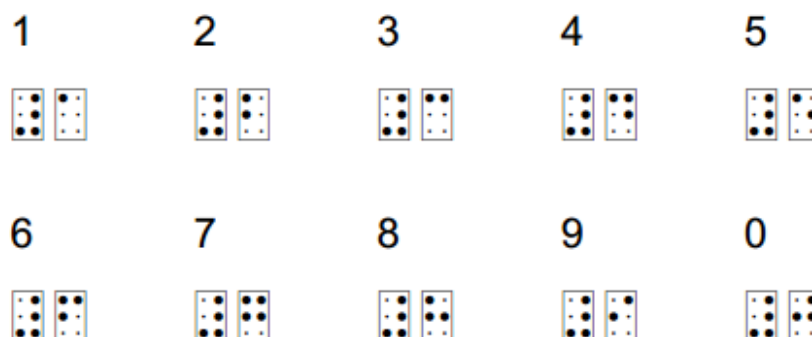


Figura 16: Números en el sistema Braille

## 2.2.3 Lectura y escritura Braille

### 2.2.3.1 Lectura en Braille

Los elementos básicos presentes en el proceso de aprendizaje de la lectura son básicamente los mismos para ciegos y videntes, por lo que la lectura en Braille no exhibe una excesiva dificultad respecto a la lectura en tinta. Sin embargo, por tratarse de un sistema que usa un código distinto al alfabético en tinta, se requiere de un proceso de aprendizaje distinto.

La lectura a través del tacto se realiza letra a letra y no al reconocer las palabras completas, por lo que se vuelve una tarea lenta al principio y requiere de una gran concentración, la cual es difícil de alcanzar a edades tempranas.

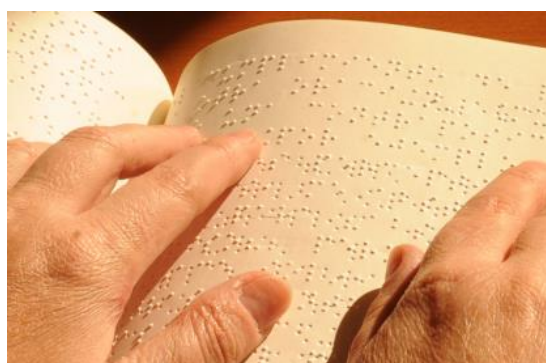
Se puede dividir a la lectura en Braille en dos fases:

1. Lectura a una mano o unimanual: en esta fase se usa los dedos índices como lectores. Se inicia con los dedos juntos en cada línea y al llegar al final de la misma se retrocede sobre ella. Durante este retroceso, y al llegar a la mitad de la línea, se desciende a la siguiente línea, terminando de retroceder hasta el inicio de ésta para comenzar su lectura.



**Figura 17: Lectura unimanual<sup>6</sup>**

2. Lectura a dos manos o bimanual: en la segunda fase, el movimiento de las manos es doble y cada una lee aproximadamente la mitad de la línea. Se inicia leyendo la primera línea con los dedos índices unidos y al llegar a la mitad la mano derecha continua leyendo hasta terminar el renglón, mientras que la izquierda desciende a la siguiente línea mientras retrocede hasta el principio de la misma.



**Figura 18: Lectura bimanual<sup>7</sup>**

### **2.2.3.2 Escritura en Braille**

Para realizar la escritura en Braille de un texto se pueden tener dos métodos: la escritura manual y la escritura a máquina.

---

<sup>6</sup> Organización Nacional de Ciegos Españoles, s.f. Recuperado de: <http://www.once.es/new/Fotos-SS.SS/fotos-braille>

<sup>7</sup> Organización Nacional de Ciegos Españoles, s.f. Recuperado de: <http://blog.once.es/articulo/2015-01-02/aniversario-louis-braille>

La escritura manual se realiza mediante dos herramientas: un punzón y una regleta o pauta, que está constituida por dos láminas (de plástico o metal) unidas por bisagras. La lamina inferior está formada por pequeños rectángulos, en cada uno de ellos hay 6 agujeros; la superior está constituida por cajetines rectangulares, de manera que al cerrarse la pauta, cada cajetín de la lámina superior encierra a cada rectángulo de agujeros de la lámina inferior. Entre ambas se coloca el papel y todos los signos se escriben punteando la hoja con un punzón de derecha a izquierda; los puntos salen hacia abajo por lo que una vez que se ha terminado de escribir se voltará la hoja y se leerá de izquierda a derecha.



**Figura 19: Escritura manual en Braille<sup>8</sup>**

Por otra parte, la escritura en Braille con máquina consta de 6 teclas, una por cada punto del signo generador del sistema Braille. También se tiene un espaciador, una tecla para retroceso y otra para el cambio de línea, como se puede apreciar en la figura 20, que corresponde a la máquina Perkins – Brailleur, fabricada por la Perkins School of the Blinds en Massachusetts, USA; es la máquina más empleada para escritura en Braille. En dicha máquina, las teclas se pueden presionar por separado o simultáneamente, permitiendo generar la combinación del elemento Braille deseado.

---

<sup>8</sup> INFOCIEGOS, s.f. Recuperado de:  
[http://www.infociegos.com/espanol/index.php?option=com\\_content&task=view&id=21&Itemid=47](http://www.infociegos.com/espanol/index.php?option=com_content&task=view&id=21&Itemid=47)



Figura 20: Escritura a máquina mediante el modelo Perkins – Brailler

Tabla 2: Descripción de los elementos de la máquina Perkins – Brailler

Identificación	Descripción
1 – 6	Teclas correspondientes a los puntos del signo generador del sistema Braille
7	Tecla espaciadora
8	Tecla de regreso de línea
9	Tecla de salto de línea
10	Rodillo para enrollar el papel
11	Retorno del cabezal

#### 2.2.4 Impresión Braille

Para la impresión en el sistema Braille se debe tener en cuenta que existen dimensiones establecidas para el tamaño adecuado de las celdas del signo generador, como se puede apreciar en la figura 21.

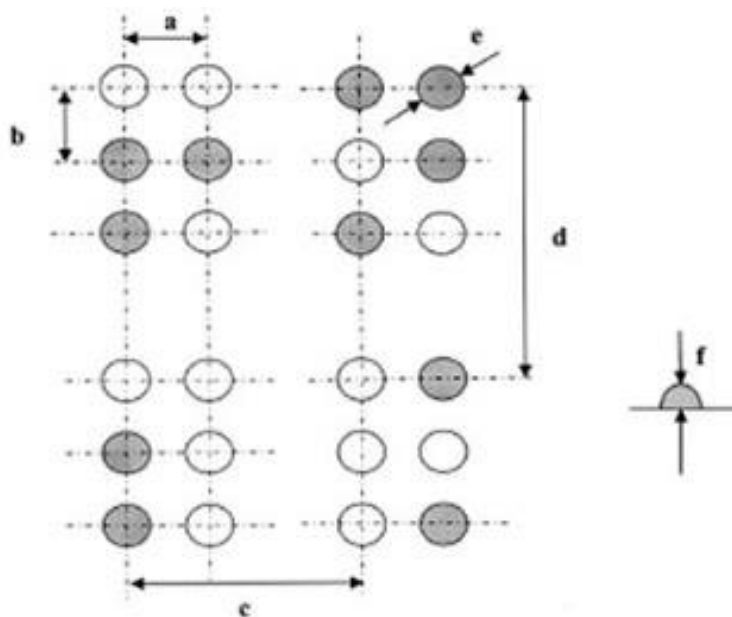


Figura 21: Tamaño de las celdas en el sistema Braille<sup>9</sup>

Tabla 3: Dimensión de las celdas en el sistema Braille

Identificación	Dimensión
a	2,5 mm
b	2,5 mm
c	6,0 mm
d	10,0 mm
e	1,2 mm
f	0,5 mm

### 2.3 Hardware

Dentro del desarrollo de esta tesis, se recurrirá al uso de implementos en hardware tales como actuadores, placas electrónicas (Arduino), y cajas reductoras de velocidad. A continuación se detallan cada una de ellas.

#### 2.3.1 Actuadores

Ramón Pallás (1993) describe que un actuador es un dispositivo capaz de realizar una acción mecánica en respuesta de un estímulo o señal de entrada y, dependiendo de dicha señal, éstos pueden ser eléctricos, neumáticos, hidráulicos o mecánicos. En la tabla 4 se puede apreciar una comparación realizada por Pallás (1993) de las principales características de los tres tipos de actuadores más utilizados.

<sup>9</sup> Instructor Braille, s.f. Recuperado de: <http://instructorbraille.blogspot.com/p/el-codigo-braille.html>

Tabla 4: Características de los actuadores

	Neumático	Hidráulico	Eléctrico
Energía	Aire a presión (5-10 bar)	Aceite mineral (50-100 bar)	Corriente eléctrica
Opciones	Cilindros Motor de paletas Motor de pistón	Cilindros Motor de paletas Motor de pistones axiales	Corriente continua Corriente alterna Motor a pasos Servomotor
Ventajas	Baratos Rápidos Sencillos Robustos	Alta relación potencia-peso Autolubricantes Alta capacidad de carga Estabilidad frente a cargas estáticas	Precisos Fiables Fácil control Sencilla instalación Silenciosos
Desventajas	Dificultad de control continuo Instalación especial (compresor, filtros) Ruidosos	Difícil mantenimiento Instalación especial (filtros, eliminación aire) Frecuentes fugas Caros	Potencia limitada

### 2.3.1.1 Actuadores eléctricos

Rafael Sánchez (2008) estableció que los actuadores eléctricos son los más utilizados en la actualidad debido a la facilidad de disponer de energía eléctrica mediante redes de distribución. En este tipo de actuadores, la alimentación y el envío de la señal de control se realizan mediante cables eléctricos.

A su vez, los actuadores eléctricos se dividen en motores de corriente alterna, motores de corriente continua, motores paso a paso, servomotores y motores universales.

### 2.3.1.2 Servomotor

Como lo explica Eduardo Carletti (s.f.), un servomotor es un motor eléctrico que posee un encoder que permite conocer su velocidad y/o posición.



Figura 22: Diversos tipos de servomotores<sup>10</sup>

Básicamente, los servomotores se componen de los siguientes elementos:

<sup>10</sup> Carletti, E. (s.f.) Recuperado de: [http://robots-argentina.com.ar/MotorServo\\_basico.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorServo_basico.htm)

- Motor de corriente continua
- Juego de engranajes (reducción de velocidad)
- Potenciómetro en el eje de salida (posición)
- Placa de circuito de control



Figura 23: Componentes de un servomotor<sup>11</sup>

### 2.3.1.3 Actuadores Lineales

LINAK (2015), es una empresa especializada en la fabricación y comercialización de actuadores lineales, y plantea el concepto de actuador lineal como aquel dispositivo que permite transformar la energía, ya sea eléctrica, hidráulica o neumática, en la generación de energía lineal al aplicar una fuerza para empujar o halar algún objeto.

Es importante mencionar que se deberá escoger el tipo de actuador lineal dependiendo de la aplicación del mismo. Es así que Muñoz (2011) explica que para aplicaciones donde se requiera gran potencia será conveniente utilizar actuadores hidráulicos. Para aplicaciones que requieran menor potencia pero un posicionamiento más exacto, se utilizarán actuadores neumáticos. El gran inconveniente de estos dos sistemas es el espacio requerido para los equipos que suministran su energía, así como su continuo mantenimiento.

Es por esto que en sistemas mecatrónicos se emplean con mayor frecuencia actuadores de tipo eléctrico, pues no se requiere de gran potencia y además su precisión es mayor que en los otros tipos de actuadores.

<sup>11</sup> Carletti, E. (s.f.) Recuperado de: [http://robots-argentina.com.ar/MotorServo\\_basico.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorServo_basico.htm)



Figura 24: Distintos tipos de actuadores lineales (eléctrico, hidráulico y neumático)<sup>12</sup>

## 2.4 Plataforma Arduino

Como se puede apreciar en la página oficial de Arduino (2015), se define a la Plataforma Arduino como “Una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar”. (párr. 1)

Las placas Arduino son capaces de adquirir la información proveniente del entorno mediante sus pines de entrada, y puede enviar señales para controlar elementos externos como luces, motores y otros tipos de actuadores. Es posible programar el microcontrolador de la placa Arduino mediante el propio lenguaje de programación Arduino, así como el entorno de desarrollo Arduino. Para ejecutar los proyectos elaborados con Arduino no se requiere de una conexión a un computador, a pesar de que existe dicha posibilidad, y es posible también comunicar con diferentes tipos de software.



Figura 25: Placa Arduino MEGA ADK<sup>13</sup>

Existen distintos tipos de placas Arduino dependiendo de la aplicación o necesidad del diseñador. Las características principales de la placa Arduino MEGA son:

- Microcontrolador: ATmega1280
- Tensión de alimentación: 5V

<sup>12</sup> Mecánica Moderna, s.f. Recuperado de: <http://www.mecmod.com/Unidades-lineales-husillo.asp?tipo=28>

<sup>13</sup> ARDUINO, s.f. Recuperado de: <http://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>



- Tensión de entrada recomendada: 7-12V
- Límite de entrada: 6-20V
- Pines digitales: 54 (14 con PWM)
- Entradas analógicas: 16
- Corriente máxima por pin: 40 mA
- Corriente máxima para el pin 3.3V: 50 mA
- Memoria flash: 128 KB (4 KB usado por el bootloader)
- SRAM: 8 KB
- EEPROM: 4 KB
- Velocidad de reloj: 16 MHz

## 2.5 Aspectos Mecánicos

### 2.5.1 Reducciones

En 2009, Garduño expuso que los reductores son elementos que permiten controlar la velocidad de un motor para que éstos funcionen a velocidades distintas a aquellas para las cuales fueron diseñados, y son creados a base de engranajes, mecanismos circulares y dentados con geometrías especiales de acuerdo con su tamaño y la función en cada motor.

El uso de reductores presenta una serie de beneficios en comparación con otras formas de reducción; algunos de dichos beneficios son:

- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Menor tiempo requerido para su instalación.

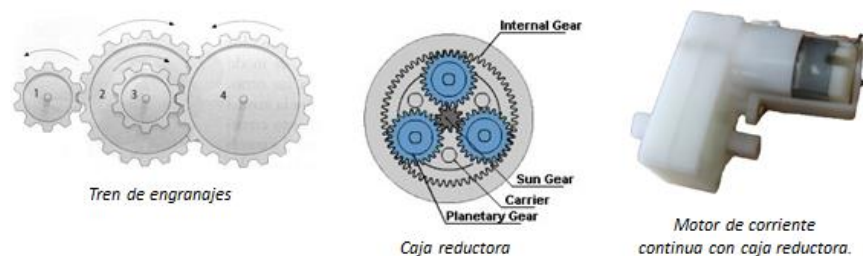


Figura 26: Principio de funcionamiento de una caja reductora de velocidad y su acople a un motor de corriente continua<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Robótica al descubierto, 2012. Recuperado de: <http://solorobotica.blogspot.com/2012/09/transmision-de-velocidad-por-medio-de.html>

### 2.5.2 Flexión Mecánica

En 2010, Jemo expone que la flexión es un tipo de deformación que presenta un elemento estructural al ser sometido a una fuerza en dirección perpendicular a su eje longitudinal. El caso tradicional donde se puede observar la flexión en un elemento sometido a carga son las vigas, así como placas o láminas; diseñadas para trabajar principalmente a flexión.

Todo elemento sometido a flexión presenta una superficie de puntos conocida como fibra neutra. Su característica principal es que la distancia a lo largo de cualquier curva contenida en ella no varía con respecto al valor antes de la deformación.

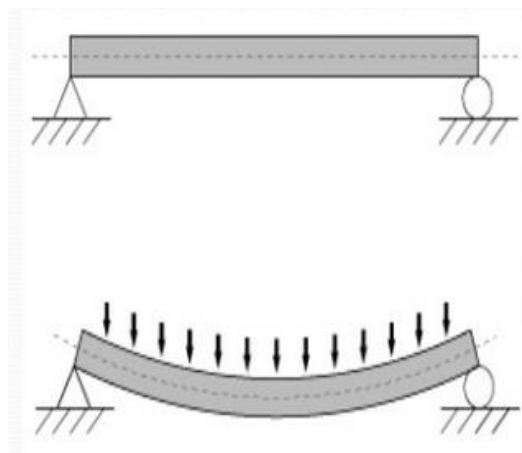


Figura 27: Esquema de un elemento sometido a flexión y visualización de su fibra neutra<sup>15</sup>

El esfuerzo que se genera al ejercer flexión sobre un elemento se denomina momento flector.

Pueden darse varios casos de elementos sometidos a esfuerzos de flexión, como por ejemplo cuando un sólido está sujeto por uno de sus extremos y por el otro está sometido a una fuerza  $P$  que actúa perpendicularmente a su eje; o cuando está sujeto por sus dos extremos y se aplica una carga sobre él. En la figura 28 se aprecian dichos casos de esfuerzos de flexión.

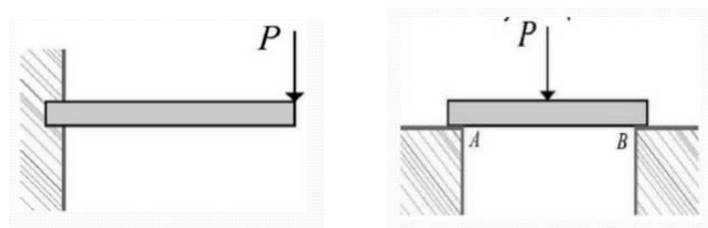


Figura 28: Ejemplos de esfuerzos de flexión<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Jemo, J. 2010. Recuperado de: <http://es.slideshare.net/joseeduard/flexion>

<sup>16</sup> Jemo, J. 2010. Recuperado de: <http://es.slideshare.net/joseeduard/flexion>

Existen dos tipos de flexión:

- Isostática
- Hiperestática

En el caso de flexión isostática, las reacciones que resultan de la acción de las fuerzas sobre los soportes de la viga pueden calcularse mediante las tres ecuaciones de la estática, por tratarse de tres incógnitas es un caso estáticamente determinado. Si por el contrario hubiese más de tres incógnitas, se trata de un caso hiperestático o estáticamente indeterminado.

### 2.5.3 Parámetros de diseño para ejes sometidos a flexión

Budynas & Nisbett (2008) plantean que “no es necesario evaluar los esfuerzos en todos los puntos de un eje; es suficiente hacerlo en unas cuantas ubicaciones potencialmente críticas”. (p. 354), las mismas que se ubican generalmente en la superficie exterior, donde el momento flexionante es grande y donde existen concentraciones de esfuerzo.

Es posible determinar dichos momentos flexionantes mediante diagramas de cortante y momento flexionante. Por lo general dichos diagramas deberán plantearse en dos planos debido a la naturaleza de las fuerzas que se aplican sobre los ejes.

Asimismo, Budynas & Nisbett (2008) propusieron que los esfuerzos fluctuantes debidos a la flexión y a la torsión están dados por las siguientes ecuaciones, ilustradas en la figura 29.

$$\begin{aligned}\sigma_a &= K_f \frac{M_a c}{I} & \sigma_m &= K_f \frac{M_m c}{I} \\ \tau_a &= K_{fs} \frac{T_a c}{J} & \tau_m &= K_{fs} \frac{T_m c}{J}\end{aligned}$$

**Figura 29: Ecuaciones de los esfuerzos fluctuantes debidos a flexión y torsión**

Donde  $M_m$  y  $M_a$  son los momentos flexionantes medio y alternante,  $T_m$  y  $T_a$  son los pares de torsión medio y alternante, y  $K_f$  y  $K_{fs}$  son los factores de concentración del esfuerzo por fatiga de la flexión y la torsión, respectivamente.

Al asumir que el eje es sólido y tiene sección transversal redonda se pueden incluir valores geométricos correspondientes a  $c$ ,  $I$  y  $J$ , con lo cual se obtienen las ecuaciones ilustradas en la figura 30.

$$\sigma_a = K_f \frac{32M_a}{\pi d^3} \quad \sigma_m = K_f \frac{32M_m}{\pi d^3}$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16T_a}{\pi d^3} \quad \tau_m = K_{fs} \frac{16T_m}{\pi d^3}$$

Figura 30: Ecuaciones de esfuerzos para eje sólido de sección transversal redonda

Por lo cual, Budynas & Nisbett (2008) concluyeron que se pueden obtener varias expresiones para el diseño de ejes mediante teorías de falla significativa y nombre del lugar geométrico de falla por fatiga.

*ED-Goodman*

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\}$$

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

Figura 31: Ecuación ED-Goodman

*ED-Gerber*

$$\frac{1}{n} = \frac{8A}{\pi d^3 S_e} \left\{ 1 + \left[ 1 + \left( \frac{2BS_e}{AS_{ut}} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}$$

$$d = \left( \frac{8nA}{\pi S_e} \left\{ 1 + \left[ 1 + \left( \frac{2BS_e}{AS_{ut}} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

donde

$$A = \sqrt{4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2}$$

$$B = \sqrt{4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2}$$

Figura 32: Ecuación ED-Gerber

*ED-ASME elíptica*

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left[ 4 \left( \frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left( \frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left( \frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

**Figura 33: Ecuación ED-ASME elíptica**

*ED-Soderberg*

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{yt}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\}$$

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{yt}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

**Figura 34: Ecuación ED-Soderberg<sup>17</sup>**

#### 2.5.4 Transmisiones

Como propone Pulido (2008), existen varios tipos de mecanismos de transmisión de movimiento. Se entiende por mecanismos de transmisión aquellos en los cuales el tipo de movimiento del elemento de entrada (elemento motriz) coincide con el tipo de movimiento que tiene el elemento de salida (elemento conducido).

Los tipos de mecanismos que se pueden encontrar son por lo tanto divididos en dos grandes grupos:

- Mecanismos de transmisión circular
- Mecanismos de transmisión lineal

Es así que, entre los distintos tipos de sistemas de transmisión podemos encontrar los siguientes:

- Sistemas de poleas
- Sistema simple de poleas con correa

<sup>17</sup> Ecuaciones tomadas de: Budynas, R.; Nisbett, J. 2008. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (Octava Edición). México D.F. McGraw-Hill

- Ruedas de fricción
- Transmisión de Engranajes con Cadena
- Tren de engranes
- Tornillo sinfín y rueda dentada.

A continuación se puede apreciar una breve reseña de los tipos de sistemas de transmisión que se utilizarán en la realización del presente proyecto.

#### 2.5.4.1 Sistemas de Poleas

Al hablar de polea, nos referimos a una rueda que posee una acanaladura en su periferia, a través de la cual pasa una cuerda que permite ejercer una fuerza  $F$  sobre una carga  $R$  en el otro extremo. Dicha rueda gira en torno a un eje que pasa por su centro. Es un sistema de transmisión lineal debido a que la resistencia y la potencia poseen dicho tipo de movimiento.

Se pueden diferenciar varios tipos de sistemas de poleas:

- Polea fija
- Polea móvil
- Sistema de poleas compuestas

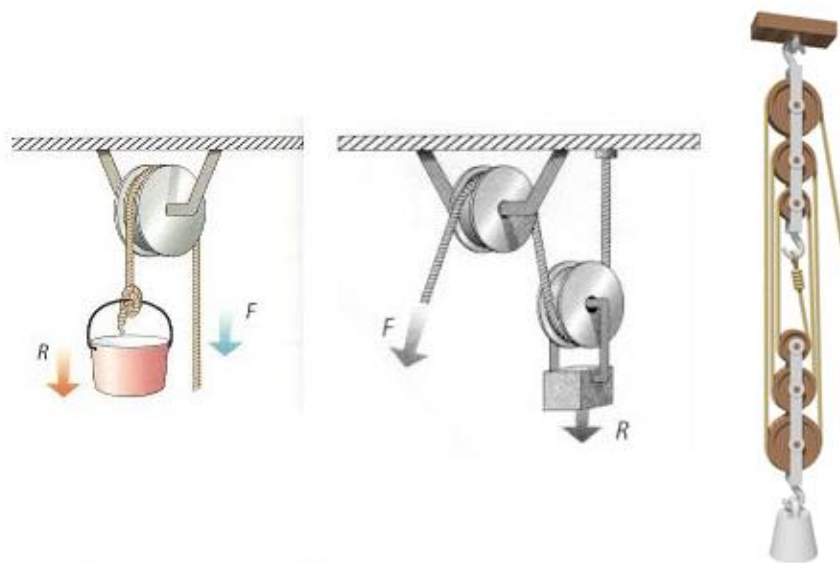


Figura 35: Tipos de poleas<sup>18</sup>

#### 2.5.4.2 Tren de engranajes

Es un sistema de transmisión circular que consiste en la unión de más de un par de engranajes. Un ejemplo muy claro de este tipo de mecanismo es la caja de cambios de un automóvil.

<sup>18</sup> Pulido, A. 2008. Recuperado de: <http://aprendemostecnologia.org/maquinas-y-mecanismos/mecanismos-de-transmision-del-movimiento/>

Este mecanismo posee varias ventajas que justifican su uso:

- Obtención de una relación de transmisión imposible de conseguir con un solo par de ruedas
- Por motivos de espacio, debido a que facilita la transmisión de movimiento entre ejes alejados
- Es posible cambiar la situación, orientación o sentido del movimiento del eje de salida
- Permite transmitir el movimiento de un eje a otros simultáneamente

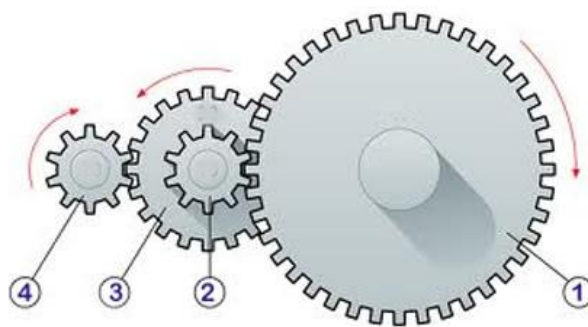


Figura 36: Tren de engranajes<sup>19</sup>

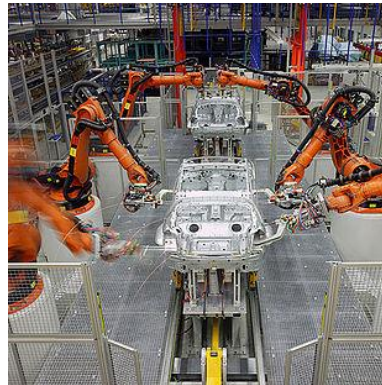
## 2.6 Automatización Mecatrónica

### 2.6.1 Generalidades

Como expuso Herrera en su publicación de 2004, se puede entender a la automatización industrial como la capacidad de autonomía que poseen los procesos industriales en donde las actividades productivas se realizan mediante acciones autónomas; así, la intervención de trabajo físico humano es mínimo, mientras que la inteligencia artificial tiene una mayor participación.

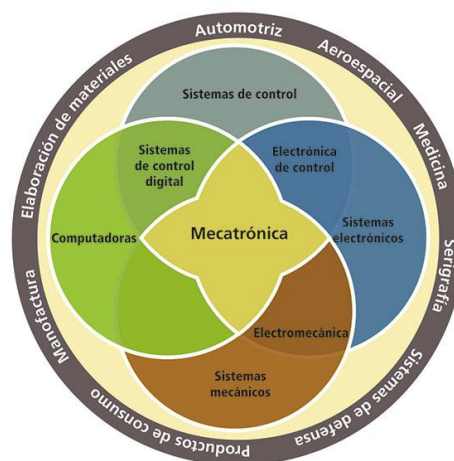
Fundamentalmente, los sistemas son creados y desarrollados por necesidad humana, es decir, la automatización industrial nace gracias a la necesidad de mejorar el producto elaborado en la industria junto con su proceso de fabricación. Existen varios parámetros asociados al producto a ser elaborado, tales como: “cantidad, calidad, mercado, métodos de producción, gestión y planificación de producción, economía de producción, entre otros” (Herrera, 2004), y es por ello que la automatización se ha vuelto un tema de interés en la industria.

<sup>19</sup> Problemas de mecanismos, s.f. Recuperado de: <http://www.tecnologia-informatica.es/problemas-de-mecanismos/>



**Figura 37: Línea de ensamblaje automatizada mediante manipuladores robóticos<sup>20</sup>**

Por otra parte, Reyes (2013) comenta que la definición de mecatrónica ha ido evolucionando desde su aparición original en 1972 en la empresa japonesa Yaskawa. En aquel entonces, se definió a la mecatrónica como la unión entre “meca” proveniente de mecanismo, y “trónica” por electrónica; es decir, tecnologías y productos orientados a incorporar la electrónica a los mecanismos dentro de la industria. Dicho concepto fue modificado años más tarde por la perspectiva de asociaciones y centros de diseño en Italia, Alemania, Holanda, entre otros países europeos; donde se incorporó a la ingeniería informática al concepto original, y así poder considerar el desarrollo de cierto grado de inteligencia artificial en las máquinas. Sin embargo, hoy en día el concepto más conocido y empleado es el que proporcionó la UNESCO en 1996, donde se dice que la mecatrónica es “la integración sinérgica de ingeniería mecánica con la electrónica y el control inteligente por computadora en el diseño y manufactura de productos y procesos industriales”.



**Figura 38: Áreas de estudio de la ingeniería mecatrónica<sup>21</sup>**

<sup>20</sup> CTIMES, s.f. Recuperado de: <https://www.ctimes.com.tw/DispArt/tw/13051410592W.shtml>

<sup>21</sup> Reyes, F. 2013. Recuperado de: <http://www.saberesyciencias.com.mx/sitio/component/content/article/10-portada/277-mecatronica>



Es así que se puede tener una idea clara de lo que implica la automatización mecatrónica, al abarcar el uso y aplicación de conocimientos de ingeniería mecánica, electrónica y de control; para mejorar sistemas industriales de producción, así como procesos no autónomos, y elevar así la calidad de los productos y obtener una mayor satisfacción del consumidor.

### 2.6.2 Sistemas de Control

Como lo expuso Herrera (2004), los sistemas de control se pueden definir como la organización de equipos e instrumentos (hardware) combinados con procedimientos lógicos o algorítmicos (software) que permiten el trabajo en torno a uno o varios propósitos establecidos previamente.

Dentro de sus funciones principales se tiene la observación del proceso, así como sus variables a automatizar, su acondicionamiento y observación de parámetros. También se encuentra entre sus funciones el procesamiento de toda esta información y su comparación con los parámetros y resultados deseados, para finalmente proceder a la corrección de los elementos controlados para llegar a obtener dichos resultados deseados.

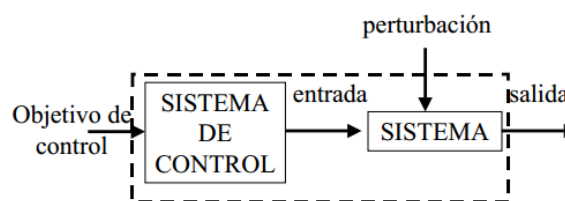


Figura 39: Sistema de control asociado a un sistema<sup>22</sup>

Tal como comenta Acebes en su publicación de 2002, dentro de las definiciones básicas de un sistema de control se pueden encontrar:

- Variable de entrada: es una variable del sistema cuya variación afecta el comportamiento del mismo.
- Variable de salida: variable cuya condición o magnitud se mide.
- Perturbación: señal que tiende a afectar el valor de salida del sistema. Pueden ser tanto internas como externas (entradas).

A su vez, los sistemas de control pueden clasificarse en dos grupos, sistemas de control en lazo abierto y en lazo cerrado.

#### 2.6.2.1 Sistema de control en lazo abierto

Es aquel en el cual la variable controlada no tiene efecto sobre la acción de control, y sus características son:

<sup>22</sup> Tecnología Industrial, s.f. Recuperado de: <https://sites.google.com/site/tecnoindus1/sistemas-de-control>

- No se compara la salida del sistema con el valor deseado de la salida del sistema (referencia).
- Para cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fijada.
- La exactitud de la salida del sistema depende de la calibración del controlador.
- En presencia de perturbaciones estos sistemas de control no cumplen su función adecuadamente.



Figura 40: Sistema de control en lazo abierto<sup>23</sup>

Un sistema de control en lazo abierto se suele emplear generalmente cuando los dispositivos que requieren un control secuencial, es decir donde no se necesita de una regulación de las variables sino que se desea realizar una serie de operaciones determinadas, como lo establece Acebes (2002).

### 2.6.2.2 Sistema de control en lazo cerrado

Por otra parte, los sistemas de control en lazo cerrado son aquellos en los cuales la señal de salida del sistema afecta directamente la acción de control.

Este tipo de sistema de control se caracteriza por reducir la diferencia entre la magnitud de salida de un sistema y una entrada de referencia, ante una perturbación. Dicha reducción se consigue al manipular una variable de entrada del sistema al ser ésta una función de la diferencia entre la variable de referencia y la salida del sistema.



Figura 41: Sistema de control en lazo cerrado<sup>24</sup>

Un sistema de control en lazo cerrado se emplea cuando se requiere detectar el error que se genera frente a un valor de entrada predeterminado y así poder ejercer

<sup>23</sup> Tecnología Industrial, s.f. Recuperado de: <https://sites.google.com/site/tecnoindus1/sistemas-de-control>

<sup>24</sup> Quevedo, J. Universitat Politècnica de Catalunya, s.f. Recuperado de: <http://www.tibidaboedicions.cat/ciencia-tec/ct/node/176>

una acción de control sobre las variables controladas del sistema. En este tipo de sistemas, la respuesta del sistema se vuelve relativamente insensible a perturbaciones externas, así como a variaciones internas de los parámetros propios del sistema.

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO MECATRÓNICO

El presente capítulo detalla el diseño de hardware que se divide en componentes mecánicos y electrónicos. El diseño mecánico consta del sistema de impresión, el mecanismo para cambio de línea de la página y la estructura para la portabilidad del equipo. Los componentes electrónicos contemplados en el hardware son el sistema de accionamiento para los actuadores, selección del controlador a utilizarse. Dentro del diseño de software se aborda el programa base cargado en el controlador para el funcionamiento de los actuadores, el mismo que se aplicará mediante el software propio de Arduino.

Para mejor comprensión de los sistemas a diseñarse, se muestra un esquema general en la figura 42.

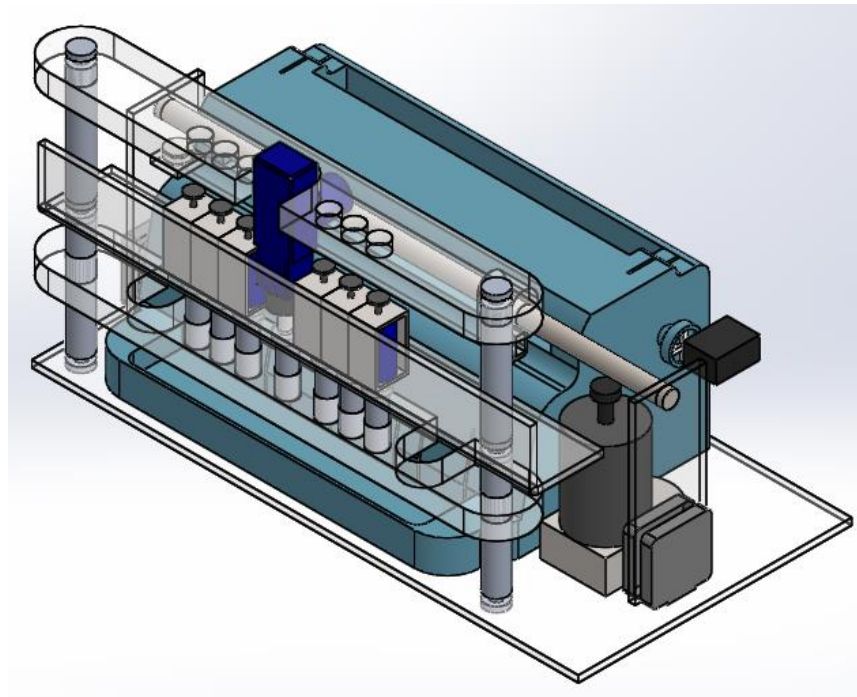


Figura 42: Esquema del sistema automático de escritura Braille

#### 3.1 Diseño de componentes mecánicos

Para el diseño de los componentes mecánicos ha sido necesaria la imposición de algunos parámetros que se detallan a continuación para garantizar la calidad del sistema.

- El sistema debe contar con un tamaño adecuado para el uso del mismo en un escritorio.
- La calidad de los elementos debe ser prioridad, garantizando estética y robustez en los mecanismos a diseñar.

- El sistema debe ser portable, de tal manera que no sea un problema el transporte del mismo a donde se lo requiera.
- Los costos de fabricación deben ser asequibles.
- El sistema debe ser de fácil reproducción para una futura comercialización del mismo.
- La máquina de escribir original no puede ser modificada o abierta, ni se debe alterar de alguna manera su estructura interna.
- Estéticamente el sistema debe ser agradable a la vista.

Se ha dividido el diseño del hardware en varias etapas, en las cuales se cumple cada uno de los parámetros anteriormente mencionados.

### 3.1.1 Sistema de portabilidad

El sistema es portable al ser 100% desarmable e inclusive totalmente armado el sistema es ligero, características que ayudan para el transporte y fácil almacenamiento del mismo en lugares reducidos de espacio.

Teniendo en cuenta los parámetros a considerar en el diseño, se ha optado por el uso de acrílico como material para toda la estructura donde irá apoyado el sistema, además de presentar las ventajas mostradas en la tabla 5.

Tabla 5: Ventajas del acrílico

<b>Característica</b>	<b>Definición</b>
<b>Transparencia</b>	El acrílico posee una de las transparencias más altas dentro de los materiales sintéticos con un porcentaje 84%.
<b>Versatilidad</b>	El material es fácilmente trabajable con diversos métodos, donde se puede mencionar doblado, termodeformado, herramientas manuales, entre otros.
<b>Durabilidad</b>	Cuando se encuentra expuesto a largos periodos a la intemperie no presenta daños por exposición a rayos ultravioleta u otras condiciones, manteniendo su brillo y color.
<b>Seguridad</b>	Es un excelente aislante eléctrico, no se astilla y en caso de ruptura los pedazos no son cortantes.
<b>Peso</b>	El acrílico pesa la mitad del vidrio y es mucho más ligero que materiales de similares características.
<b>Limpieza</b>	El acrílico es de fácil limpieza, además de poder estar en contacto con alimentos.
<b>Espesura y textura</b>	Comercialmente se puede encontrar desde 2mm hasta 100 mm y con diferentes acabados en superficie: satinado antirreflejo, rayas, primas y texturas decorativas.

---

<b>Ecología</b>	El acrílico es uno de los pocos materiales 100% reciclable.
-----------------	---

---

La mencionada estructura consta de una base donde irá apoyada la máquina de escribir y dos paredes laterales para la sujeción del sistema de retorno de carro.

Otra parte donde se utiliza el acrílico es la base donde van sentados los actuadores lineales encargados de presionar las teclas que a su vez ejecutan la impresión braille en la hoja, dicha base se encuentra apoyada en dos columnas de aluminio empernadas a la base de la máquina de escribir.

### **3.1.2 Diseño de sistema de retorno de carro**

El sistema de retorno de carro consta de un eje cuya función es brindar una guía al momento de ejercer fuerza para ayudar al paso de línea en la página, para evitar la fricción en el mencionado eje al momento de moverse la pieza que ayuda al retorno del carro es necesario un rodamiento lineal; mientras que para la sujeción del eje con las paredes donde irá apoyado se encontró la necesidad del uso de dos rodamientos para distribución del peso del eje evitando la presión en un solo punto y el riesgo de una posible ruptura del acrílico.

El mecanismo encargado de generar el movimiento lineal de la pieza que ayuda al retorno del carro hacia su posición consta de un motor que en su eje de movimiento tiene un engrane utilizado para la sujeción de una banda dentada con el mismo paso que tiene el engranaje colocado en el extremo final del eje del motor.

#### **3.1.2.1 Diseño de ejes**

El material empleado para el diseño del eje es acero inoxidable pues brinda robustez, estética y garantiza la calidad del sistema.

Las propiedades mecánicas del acero inoxidable 304 son:

- Resistencia a la fluencia 310 MPa (45 KSI)
- Resistencia máxima 620 MPa (90 KSI)
- Elongación 30 %
- Reducción de área 40 %
- Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)<sup>25</sup>

A partir de estas propiedades se puede decir que el acero inoxidable 304 tiene un comportamiento dúctil, lo que nos permitirá elegir un criterio de diseño basado en teoría de fallas para el cálculo del diámetro requerido en la guía.

---

<sup>25</sup> (NORTON, 2002)

Se considera que la fuerza actuante directamente sobre el eje es el peso de la pieza de ayuda de retorno de carro, fabricada en acrílico, una fuerza que podría considerarse despreciable debido a las propiedades físicas de dicho material. La fuerza a considerarse en el diseño será la que se efectúa por el movimiento creado por el motor al intentar mover el carro.

Con estos antecedentes, en el cálculo del diámetro se utilizará la teoría de cortante máximo, donde se define la ecuación 1:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma}{2} \leq \frac{S_y}{2n}$$

**Ecuación 1 Teoría de esfuerzo cortante máximo**

Donde:

- $\tau$  es el esfuerzo cortante máximo
- $S_y$  es la resistencia a la fluencia del material
- $n$  es el factor de seguridad empleado para el diseño
- $\sigma$  es el esfuerzo de flexión, definida por la ecuación 2:

$$\sigma = \frac{M d/2}{I}$$

**Ecuación 2 Esfuerzo de flexión**

Donde:

- $M$  se define como momento flector que se efectúa en la sección crítica
- $d$  se define como el diámetro del eje
- $I$  se define como momento de inercia transversal, que para ejes se define mediante la ecuación 3:

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

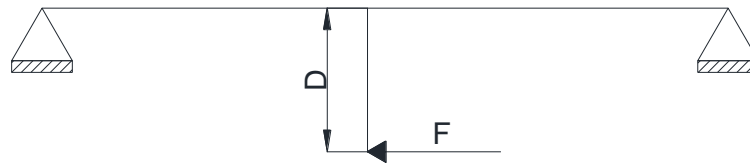
**Ecuación 3 Inercia en ejes**

Reemplazando las ecuaciones 2 y 3 en la ecuación 1 tenemos que:

$$d \geq \left( \frac{32 n M}{\pi S_y} \right)^{1/3}$$

**Ecuación 4 Ecuación para determinar el diámetro del eje**

Para determinar el momento que se efectuará sobre el eje se tiene que:



**Figura 43: Esquema para la determinación de momento**

Donde:

- F es la fuerza necesaria para empujar el carro de retorno
- D es la distancia desde el eje al centro del carro de paso de línea

El momento es igual a<sup>26</sup>:

$$M = F \times D$$

$$M = 30 \times 0,04$$

$$M = 1,2 \text{ [Nm]}$$

Reemplazando se tiene que:

$$d \geq \left( \frac{32 n M}{\pi S_y} \right)^{1/3}$$

$$d \geq \left( \frac{32 (5)(1.2) \text{ [Nm]}}{\pi 310(10)^6 \text{ [N/m}^2\text{]}} \right)^{1/3}$$

$$d \geq 0,00586 \text{ m}$$

El diámetro del eje tiene que ser mayor a 5,86 mm para que éste soporte el momento que se ejercerá al empujar el carro de retorno para el cambio de línea, en la siguiente sección se explicará el diámetro del eje escogido

### 3.1.2.2 Selección de rodamientos

Los rodamientos rígidos de bolas son particularmente versátiles. Su diseño es simple, no son desarmables, funcionan a velocidades altas y muy altas, son resistentes y requieren poco mantenimiento. (SKF, 2015)

En temas de costos, un rodamiento de bolas de 6 mm de radio interno resulta mucho más costoso que uno de 10 mm al ser menos comercial y tener que realizarlo

<sup>26</sup> Para la fórmula del momento, recurrimos a la medición de la fuerza necesaria de empuje en el carro de retorno mediante un newtómetro, cuyo valor fue de 29,65N y el mismo que aproximamos a 30N para facilidad de cálculos.



a medida y únicamente bajo pedido, por lo tanto se optó por el uso de este último rodamiento de bolas; por este motivo se encontró la necesidad de un eje del mismo diámetro exterior para que embone perfectamente.



**Figura 44: Rodamiento de bolas<sup>27</sup>**

Para evitar la fricción de la pieza de empuje en el retorno del carro y el eje de acero inoxidable es necesario un rodamiento lineal de bolas, estas unidades suelen constar de un soporte ligero de aluminio optimizado para ofrecer una gran resistencia y rigidez con las dimensiones especificadas. Debido a su peso ligero, las fuerzas de inercia provocadas por la aceleración se mantienen al mínimo. (SKF, 2015)

#### Características y ventajas

- Diseño compacto.
- Gran capacidad de carga.
- Amplia gama de productos.
- Materiales de aluminio de alta calidad y bajo peso.
- Hierro fundido de gran resistencia en las unidades con brida.
- Diseño abierto y cerrado, disponible como unidades simples, dobles, en tándem y cuádruples.
- Intercambiables dimensionalmente según la norma ISO 13012.
- Disponible en los principales concesionarios de todo el mundo.

#### Datos técnicos

- Gama de tamaño: de 8 a 80 mm.
- Desalineación angular permisible máxima: 15 minutos de arco.
- Versión resistente a la corrosión.
- Soportes disponibles de aluminio con rodamiento lineal de bolas de acero inoxidable.
- C serie 1 / serie 3 hasta 18.600 N / 37.500 N (SKF, 2015).

---

<sup>27</sup> Fuente: [www.skf.com](http://www.skf.com)



Figura 45: Rodamiento lineal de bolas<sup>28</sup>

### 3.1.2.3 Diseño de sistema de transmisión

El sistema de transmisión es un sistema banda-motor debido a las siguientes características frente a un sistema de engranes para transmisión de potencia:

- No existe desgaste de los elementos que componen el sistema
- La pérdida por fricción es menor
- Económicamente es más barato
- Elementos comercialmente fáciles de encontrar
- El motor necesario es de menos potencia
- Relación de transmisión más directa

Los elementos necesarios para el sistema de transmisión de potencia son:

- Motor
- Polea dentada
- Banda

Para calcular la potencia necesaria del motor se tiene que la fuerza para empujar el carro de retorno para cambio de línea es 10 [N], la distancia que recorre este carro es 30 cm y necesitamos que lo haga en 1 segundo, por lo tanto tenemos que:

$$P = \frac{W}{t}$$

Ecuación 5 Ecuación de potencia

Donde:

- W es trabajo
- T es tiempo
- P es potencia

Por lo tanto se tiene que:

---

<sup>28</sup> Fuente: [www.skf.com](http://www.skf.com)

$$P = \frac{F \times d}{t}$$

$$P = \frac{30 \times 0,3}{1}$$

$$P = 9 \text{ W}$$

Con este cálculo se garantiza que los motores DC que se encuentran comercialmente cumplen el requerimiento. A continuación se muestra la selección del motor mediante la tabla 6.

Tabla 6: Motores DC disponibles en el mercado

Criterio de selección	Tipo de motor		
	Servomotor HS-755 HB	Motor a pasos 110BYG250- 99	Motor DC Dse38be27- 001
Aspecto físico			
Voltaje de alimentación (V)	5 VDC	5 VDC	12 VDC
Corriente nominal (mA)	400	4500	200
Driver	No	Si	Si
Accionamiento	Eléctrico	Eléctrico	Eléctrico
Costo	52 + imp.	25 + imp.	20 + imp.
Tamaño del actuador (mm)	58.93 x 28.96 x 49.78	110x110x5 0	130x38
Pais de origen	China	China	China
Torque (kg.cm)	11	25	32
Sujeción al sistema	Acople	Acople	Directo
Material carcasa	Plástico	Metal	Metal

En este caso todos los motores cumplen los requerimientos necesarios para poder mover el carro de retorno para inicio de reglón, sin embargo no hace falta

realizar una comparación más amplia puesto que los costos del servomotor y el motor a pasos con driver exceden en un 100 % el costo de motor DC simple con driver, por lo tanto este último es el que se utilizó para el sistema.

### 3.1.3 Sistema de impresión





#### 3.1.3.1 Selección de actuadores

Uno de los requerimientos principales para la realización del sistema es no alterar la estructura interna de la máquina de escribir Perkins, por lo tanto era indispensable un planteamiento de solución externa para realizar el teclado.

La solución planteada fue en base a presionar las teclas desde arriba, simulando el movimiento de los dedos humanos por lo tanto es necesario la incorporación de actuadores para este propósito, dado la forma el movimiento se utilizaran actuadores lineales los cuales se puede encontrar de gran variedad en el mercado extranjero y nacional.

Dada la gran oferta de opciones presentes en el mercado que cumplen los requerimientos técnicos necesarios, se utilizó la herramienta de matriz de selección para la determinación de la mejor opción del actuador a utilizarse, donde, en la tabla 7 se evalúan las características de cada actuador y la tabla 8 corresponde a la valoración para la determinación de importancia de cada criterio de funcionamiento, al realizar una comparación entre cada parámetro de evaluación.

Tabla 7: Actuadores disponibles en el mercado

Criterio de funcionamiento	Tipo de actuador			
	Actuador lineal Open Frame tipo empuje	Motor lineal a pasos	Actuador lineal de puerta de vehículo	Pistón neumático SDA 12-25
Aspecto físico				
Voltaje de alimentación (V)	12 VDC	5 VDC	12 VDC	110 VAC
Corriente nominal (mA)	400	700	1000	1000
Carrera (mm)	10	15	30	20
Accionamiento	Eléctrico	Eléctrico	Eléctrico	Neumático
Costo	11,98 + imp.	17,50 + imp.	14,14 + imp.	7,27 + imp.
Accesorios de apoyo	No	No	No	Compresor
Tamaño del	147,2 x 76,2 x	26 x 50	254 x 25,4 x	71,12 x 66,04 x

Continúa →

<b>actuador (mm)</b>	10,16		76,2	20,32
<b>Pais de origen</b>	China	Colombia	China	EE.UU
<b>Fuerza (N)</b>	45	2,45	20	28
<b>Peso (gramos)</b>	187	45	397	54
<b>Material</b>	Metal	Metal	Plástico y metal	Aluminio

Los parámetros analizados en la tabla anterior son los más relevantes para cumplir las condiciones de diseño impuestas y a continuación validaremos la importancia de mayor a menor con valoración de 5 más importante, 2.5 igual importancia y 0 ninguna importancia, estos valores se le asignan al parámetro que se encuentra en la fila comparando con la columna correspondiente

Tabla 8: Tabla ponderación importancia variables

<b>PESOS DE LOS CRITERIOS</b>														
	Voltaje de alimentación (V)	Corriente nominal (mA)	Carrera (mm)	Accionamiento	Costo	Accesorios de apoyo	Tamaño del actuador (mm)	País de origen	Fuerza (N)	Peso (gramos)	Material	$\Sigma+1$	Ponderación	
<b>Voltaje de alimentación (V)</b>	-	2,5	0	0	0	0	0	2,5	0	0	2,5	8,5	0,0297	
<b>Corriente nominal (mA)</b>	2,5	-	0	0	0	0	0	5	0	0	2,5	11	0,0385	
<b>Carrera (mm)</b>	5	5	-	0	2,5	0	2,5	5	2,5	2,5	5	31	0,1084	
<b>Accionamiento</b>	5	5	5	-	2,5	2,5	5	5	5	5	5	46	0,1608	
<b>Costo</b>	5	5	2,5	2,5	-	2,5	5	5	2,5	5	5	41	0,1434	
<b>Accesorios de apoyo</b>	5	5	5	2,5	2,5	-	2,5	2,5	0	2,5	2,5	31	0,1084	
<b>Tamaño del actuador (mm)</b>	5	5	2,5	0	0	2,5	-	5	0	2,5	2,5	26	0,0909	
<b>País de origen</b>	2,5	0	0	0	0	2,5	0	-	0	0	0	6	0,0210	
<b>Fuerza (N)</b>	5	5	2,5	0	2,5	5	5	5	-	5	5	41	0,1434	
<b>Peso (gramos)</b>	5	5	2,5	0	0	2,5	2,5	5	0	-	2,5	26	0,0909	
<b>Material</b>	2,5	2,5	0	0	0	2,5	2,5	5	0	2,5	-	18,5	0,0647	
												<b>TOTAL</b>	286	1,0000

Para citar un ejemplo de la forma de que fue elaborada la tabla, la comparación entre la variable *accionamiento* y la variable *carrera* en la fila correspondiente a *accionamiento* y la columna que corresponde a *carrera* se asigna un valor de 5 (cinco) demostrando que el tipo de accionamiento es más importante que la carrera del actuador y en la trasposición de las mencionadas variables se encuentra ubicado un 0 (cero), afirmando lo antes mencionado.

Con este mismo criterio, de la tabla 9 a la tabla 19 se evalúan cada uno de los parámetros, comparando las opciones de actuadores disponibles en el mercado, para poder evaluar en cada variable la mejor opción, donde:

- Voltaje de alimentación: Es el voltaje nominal para el funcionamiento de los actuadores o los accesorios de ellos.
- Corriente nominal: Es la corriente dada por el fabricante para el correcto funcionamiento de los actuadores.
- Carrera: Es la distancia que puede recorrer el émbolo del actuador al momento de ser accionado.
- Accionamiento: Hace referencia al tipo de energía o forma de impulso del actuador.
- Costo: Es el costo del actuador para adquisición en el país.
- Accesorios de apoyo: Hace referencia a si el actuador necesita algún tipo de accesorio para su funcionamiento, por ejemplo compresores.
- Tamaño del actuador: Es el tamaño incluido carcasa del actuador.
- País de origen: Es el país donde fue fabricado el actuador, este parámetro es importante por el tiempo que llevaría la importación desde ese país.
- Fuerza: Es la fuerza que entrega el actuador al momento de ser accionado.
- Peso: Es el peso del actuador incluido carcasa.
- Material: El material con el que fue fabricado el actuador, importante para garantizar la durabilidad de los componentes.

**Tabla 9: Comparación opciones con respecto a voltaje de alimentación**

Voltaje de alimentación (V)	Actuador lineal Open Frame tipo empuje	Motor lineal a pasos	Actuador lineal de puerta de vehículo	Pistón neumático SDA 12-25	$\Sigma+1$	Ponderación
Actuador lineal Open Frame tipo empuje	-	0	2,5	0	3,5	0,102941
Motor lineal a pasos	5	-	5	5	16	0,470588
Actuador lineal de puerta de vehículo	2,5	0	-	5	8,5	0,25
Pistón neumático SDA 12-25	5	0	0	-	6	0,176471
				Total	34	1

Tabla 10: Comparación opciones con respecto a corriente nominal

Corriente nominal (mA)	Actuador lineal Open Frame tipo empuje	Motor lineal a pasos	Actuador lineal de puerta de vehículo	Pistón neumático SDA 12-25	$\Sigma+1$	Ponderación
Actuador lineal Open Frame tipo empuje	-	5	5	5	16	0,470588
Motor lineal a pasos	0	-	5	5	11	0,323529
Actuador lineal de puerta de vehículo	0	0	-	2,5	3,5	0,102941
Pistón neumático SDA 12-25	0	0	2,5	-	3,5	0,102941
				Total	34	1

Tabla 11: Comparación opciones con respecto a la carrera del actuador

Carrera (mm)	Actuador lineal Open Frame tipo empuje	Motor lineal a pasos	Actuador lineal de puerta de vehículo	Pistón neumático SDA 12-25	$\Sigma+1$	Ponderación
Actuador lineal Open Frame tipo empuje	-	5	5	5	16	0,470588
Motor lineal a pasos	0	-	2,5	2,5	6	0,176471
Actuador lineal de puerta de vehículo	0	2,5	-	2,5	6	0,176471
Pistón neumático SDA 12-25	0	2,5	2,5	-	6	0,176471
				Total	34	1

Tabla 12: Comparación opciones con respecto al tipo de accionamiento de los actuadores

Accionamiento	Actuador lineal Open Frame tipo empuje	Motor lineal a pasos	Actuador lineal de puerta de vehículo	Pistón neumático SDA 12-25	$\Sigma+1$	Ponderación
Actuador lineal Open Frame tipo empuje	-	2,5	2,5	5	11	0,323529
Motor lineal a pasos	2,5	-	2,5	5	11	0,323529
Actuador lineal de puerta de vehículo	2,5	2,5	-	5	11	0,323529
Pistón neumático SDA 12-25	0	0	0	-	1	0,029412
				Total	34	1



Tabla 13: Comparación opciones con respecto al costo de los actuadores

Costo	Actuador lineal Open Frame tipo empuje	Motor lineal a pasos	Actuador lineal de puerta de vehículo	Pistón neumático SDA 12-25	$\Sigma+1$	Ponderación
Actuador lineal Open Frame tipo empuje	-	5	5	5	16	0,470588
Motor lineal a pasos	0	-	0	2,5	3,5	0,102941
Actuador lineal de puerta de vehículo	0	5	-	5	11	0,323529
Pistón neumático SDA 12-25	0	2,5	0	-	3,5	0,102941
				Total	34	1

Tabla 14: Comparación opciones con respecto a la necesidad de accesorios de apoyo

Accesorios de apoyo	Actuador lineal Open Frame tipo empuje	Motor lineal a pasos	Actuador lineal de puerta de vehículo	Pistón neumático SDA 12-25	$\Sigma+1$	Ponderación
Actuador lineal Open Frame tipo empuje	-	2,5	2,5	5	11	0,323529
Motor lineal a pasos	2,5	-	2,5	5	11	0,323529
Actuador lineal de puerta de vehículo	2,5	2,5	-	5	11	0,323529
Pistón neumático SDA 12-25	0	0	0	-	1	0,029412
				Total	34	1

Tabla 15: Comparación opciones con respecto a tamaño del actuador

Tamaño del actuador (mm)	Actuador lineal Open Frame tipo empuje	Motor lineal a pasos	Actuador lineal de puerta de vehículo	Pistón neumático SDA 12-25	$\Sigma+1$	Ponderación
Actuador lineal Open Frame tipo empuje	-	5	5	0	11	0,323529
Motor lineal a pasos	0	-	5	0	6	0,176471
Actuador lineal de puerta de vehículo	0	0	-	0	1	0,029412
Piston neumático SDA 12-25	5	5	5	-	16	0,470588
				Total	34	1

Tabla 16: Comparación opciones con respecto a país de origen

País de origen	Actuador lineal Open Frame tipo empuje	Motor lineal a pasos	Actuador lineal de puerta de vehículo	Pistón neumático SDA 12-25	$\Sigma+1$	Ponderación
Actuador lineal Open Frame tipo empuje	-	0	2,5	0	3,5	0,102941
Motor lineal a pasos	5	-	5	5	16	0,470588
Actuador lineal de puerta de vehículo	2,5	0	-	0	3,5	0,102941
Pistón neumático SDA 12-25	5	0	5	-	11	0,323529
				Total	34	1

Tabla 17: Comparación opciones con respecto a la fuerza del actuador

Fuerza (N)	Actuador lineal Open Frame tipo empuje	Motor lineal a pasos	Actuador lineal de puerta de vehículo	Pistón neumático SDA 12-25	$\Sigma+1$	Ponderación
Actuador lineal Open Frame tipo empuje	-	5	5	5	16	0,470588
Motor lineal a pasos	0	-	0	0	1	0,029412
Actuador lineal de puerta de vehículo	0	5	-	0	6	0,176471
Pistón neumático SDA 12-25	0	5	5	-	11	0,323529
				Total	34	1

Tabla 18: Comparación opciones con respecto al peso del actuador

Peso (gramos)	Actuador lineal Open Frame tipo empuje	Motor lineal a pasos	Actuador lineal de puerta de vehículo	Pistón neumático SDA 12-25	$\Sigma+1$	Ponderación
Actuador lineal Open Frame tipo empuje	-	0	5	0	6	0,176471
Motor lineal a pasos	5	-	5	2,5	13,5	0,397059
Actuador lineal de puerta de vehículo	0	0	-	0	1	0,029412
Pistón neumático SDA 12-25	5	2,5	5	-	13,5	0,397059
				Total	34	1

Tabla 19: Comparación opciones con respecto al material del actuador

Material	Actuador lineal Open Frame tipo empuje	Motor lineal a pasos	Actuador lineal de puerta de vehículo	Pistón neumático SDA 12-25	$\Sigma+1$	Ponderación
Actuador lineal Open Frame tipo empuje	-	2,5	5	5	13,5	0,397059
Motor lineal a pasos	2,5	-	2,5	2,5	8,5	0,25
Actuador lineal de puerta de vehículo	0	2,5	-	2,5	6	0,176471
Pistón neumático SDA 12-25	0	2,5	2,5	-	6	0,176471
				Total	34	1

Una vez comparada individualmente cada opción del mercado con cada variable significativa para la selección, es indispensable relacionar estos resultados con la importancia que se le dio a cada variable.

En la tabla 20 se observa la tabla de conclusiones, donde se multiplicó la ponderación de cada opción con la importancia, los números del 1 al 11 representan cada variable analizada en el orden expuesto al inicio de esta selección y la sumatoria de las multiplicaciones representa la prioridad que se le dará a cada actuador al momento de la compra.

Tabla 20: Tabla de conclusiones

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	$\Sigma$	Prioridad
<b>Actuador lineal Open Frame tipo empuje</b>	0,00306	0,01810	0,05101	0,05204	0,06746	0,03507	0,02941	0,00216	0,06746	0,01604	0,02568	0,367	1
<b>Actuador lineal de puerta de vehículo</b>	0,01399	0,01244	0,01913	0,05204	0,01476	0,03507	0,01604	0,00987	0,00422	0,03610	0,01617	0,230	2
<b>Motor lineal a pasos</b>	0,00743	0,00396	0,01913	0,05204	0,04638	0,03507	0,00267	0,00216	0,02530	0,00267	0,01142	0,208	3
<b>Pistón neumático SDA 12-25</b>	0,00524	0,00396	0,01913	0,00473	0,01476	0,00319	0,04278	0,00679	0,04638	0,03610	0,01142	0,194	4
												<b>Total</b>	<b>1,000</b>

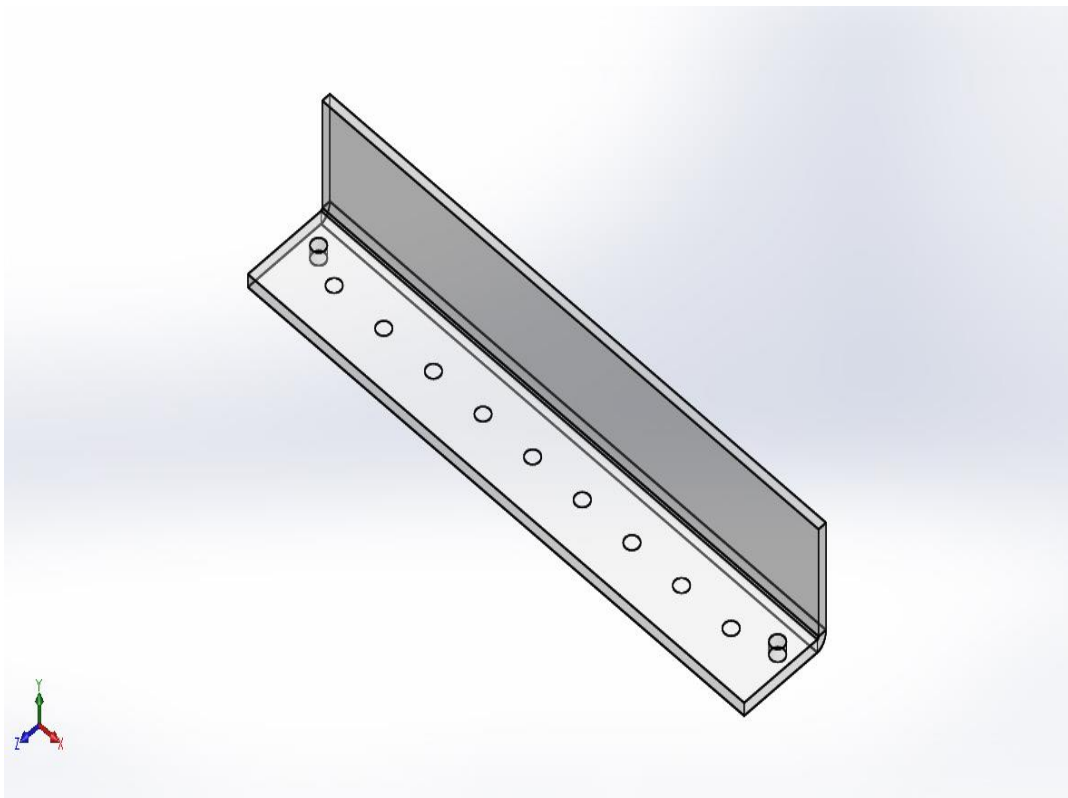
Como se puede observar en la tabla 20, debido a la importancia y la evaluación de cada parámetro de diseño comparado con cada opción de actuadores disponibles

en el mercado se llega a la conclusión de que la mejor opción para el accionamiento es: *Actuador lineal open frame tipo empuje*.

Asimismo, en el caso de requerir una alternativa distinta para el uso de los actuadores, queda evidenciado en la tabla 20 que la opción adecuada es el *Actuador lineal de puerta de vehículo*, por ser la segunda alternativa más viable.

### 3.1.3.2 Posicionamiento de actuadores

Para el posicionamiento de los actuadores, dada la altura desde donde se debe realizar el tecleo es necesaria la fabricación de una pieza como la que se muestra en la figura 46, la cual ayudará en el soporte y sujeción de los actuadores al momento de su accionamiento, con este propósito la pieza es ubicada sobre las teclas con ayuda de dos parantes fabricados en aluminio cuyo diseño se observará en los siguientes puntos de este capítulo.

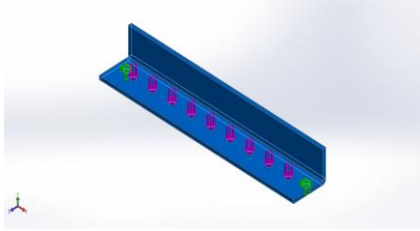


**Figura 46: Pieza para posicionamiento de los actuadores**

Con ayuda de la herramienta de análisis estático del software SolidWorks, se le asignó el material escogido en el primer punto de este capítulo y se realizaron simulaciones para las condiciones más desfavorables posibles de funcionamiento.

Las propiedades mecánicas asignadas al modelo dadas por el material se pueden observar en el la tabla 21.

Tabla 21: Propiedades mecánicas obtenidas mediante el software SolidWorks

Referencia de modelo	Propiedades
	Nombre: <b>Acrílico (Impacto medio-alto)</b>
	Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b>
	Límite elástico: <b>4.5e+007 N/m<sup>2</sup></b>
	Límite de tracción: <b>7.3e+007 N/m<sup>2</sup></b>
	Módulo elástico: <b>3e+009 N/m<sup>2</sup></b>
	Coefficiente de Poisson: <b>0.35</b>
	Densidad: <b>1200 kg/m<sup>3</sup></b>
	Módulo cortante: <b>8.9e+008 N/m<sup>2</sup></b>
	Coefficiente de dilatación térmica: <b>5.2e-005 /Kelvin</b>

Para la asignación de fuerzas se consideró la masa propia la pieza además de las condiciones más desfavorables de diseño, lo cual sería un posible fallo en la máquina y que todos los actuadores funcionaran a la vez y éstos ejercieran la fuerza sobre la pieza de tal manera que:

$$F_{total} = 9 * F + masa\ acrylico * G$$

**Ecuación 3.6 Fuerza total para el diseño de soportes de actuadores**

Donde:

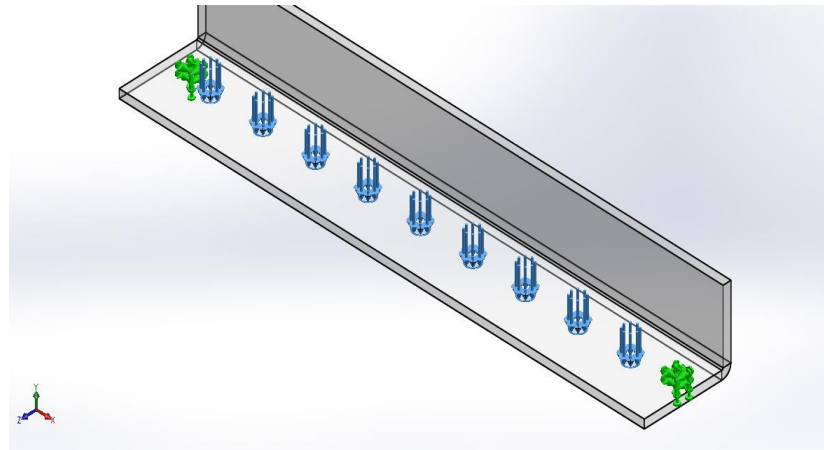
- 9 es la cantidad de actuadores
- F es la fuerza que ejerce cada actuador
- Masa acrílico es la masa propia del elemento
- G es la gravedad

Por lo que se tiene:

$$F_{total} = 9 * 45 + 0.33 * 9.8$$

$$F_{total} = 408.23 [N]$$

La fuerza calculada se aplicará de manera distribuida tal y como se encuentra sobre la máquina de escribir y con sujeciones a los extremos que representan los parantes de aluminio que sostendrán la base de los actuadores, de la manera como se muestra en la figura 47.

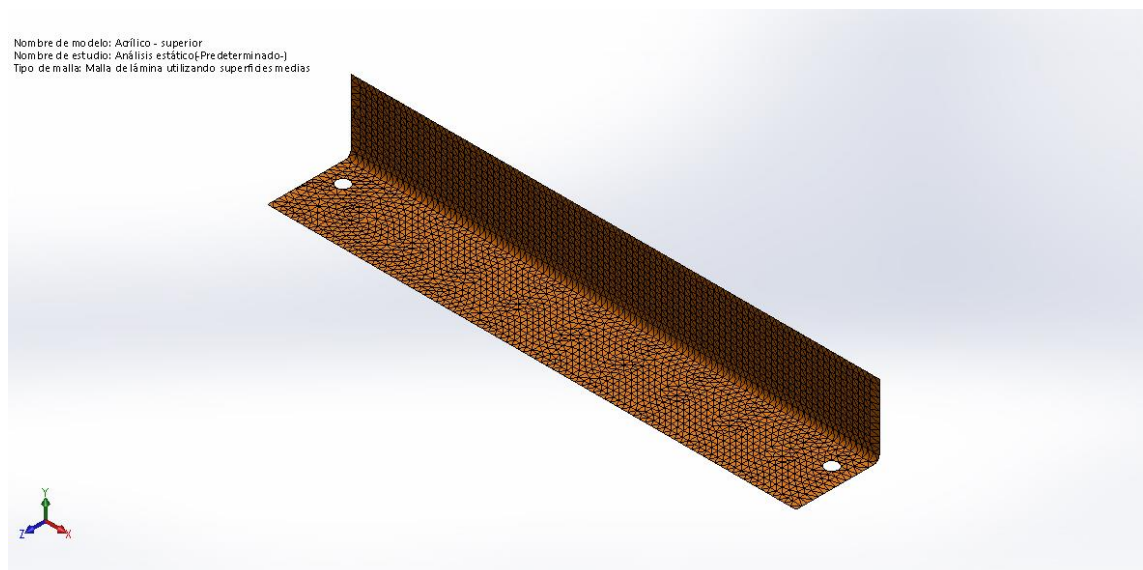


**Figura 47: Distribución de fuerzas en el elemento de soporte**

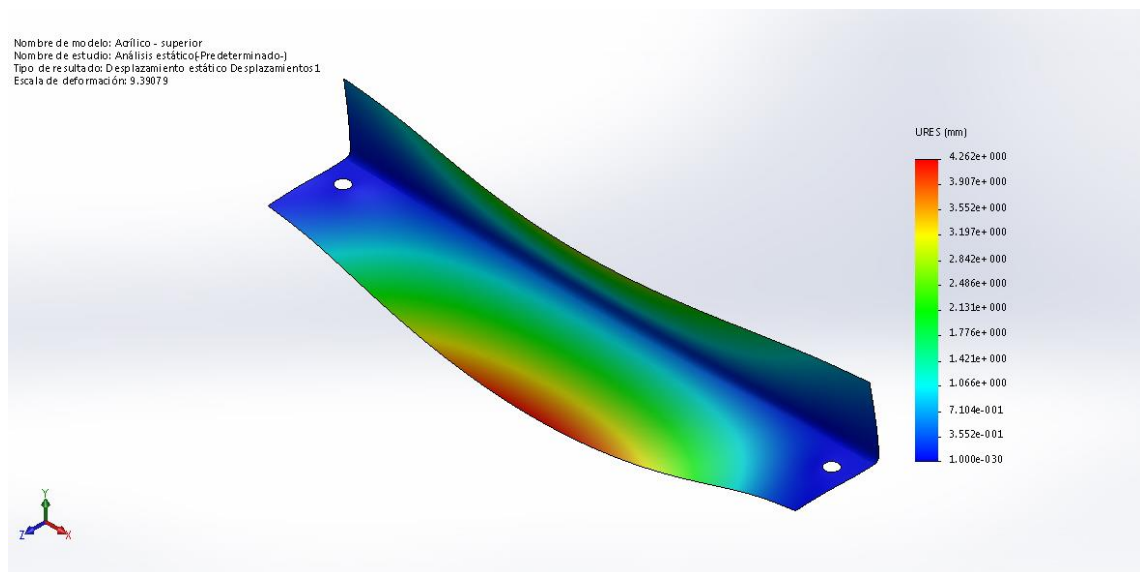
Donde:

- Las flechas en azul presentan las fuerzas ejercidas por los actuadores en caso de falla
- Las flechas verdes representan los apoyos brindados los parantes

El material soportará la fuerza ejercida sin ningún problema por las propiedades físicas de este, sin embargo como respaldo se ha usado el software de simulación SolidWorks con el cual ejecutaremos un estudio estático, donde el programa ejecutará un mallado, dividiendo el elemento en 9361 partes pequeñas y analizará parte por parte donde se mostrarán posibles fallas en el material o deformaciones en el mismo.

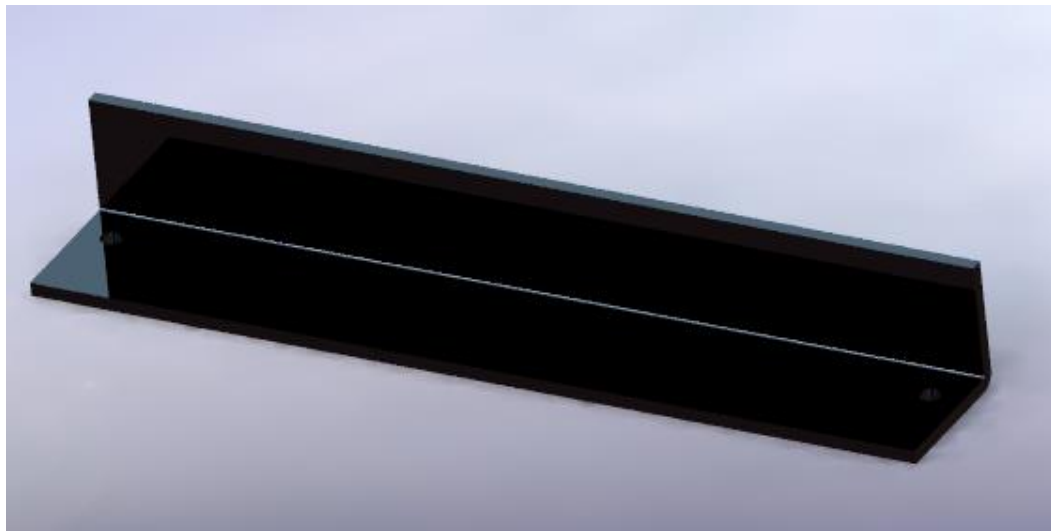


**Figura 48: División del elemento para simulación**



**Figura 49: Resultado de simulación**

Como se puede ver en la figura 49, la deformación es mínima en la parte más crítica del elemento y no sobrepasa el límite elástico propio del material, por lo tanto se encuentra correctamente diseñado.



**Figura 50: Diseño final de la pieza de sujeción de actuadores**

El color en la figura 50 fue modificado solamente por razones de observación en el programa de diseño, sin embargo la pieza original es de color transparente propio del acrílico.

Para las demás piezas de acrílico consideradas en el desarrollo del presente proyecto, no se ha incluido el diseño de los componentes mediante cálculos o software CAD en vista de que dichas piezas son únicamente de acople entre distintos elementos o que a su vez cumplen la función de guías para diferentes piezas móviles.

### 3.2 Diseño de componentes electrónicos

Los componentes electrónicos componen una parte de suma importancia dentro del sistema automático de escritura braille, los cuales son:

- El circuito de accionamiento de los actuadores.
- Diseño de la fuente de alimentación de todo el sistema.

Cada uno de los componentes antes mencionados se detalla a continuación.

#### 3.2.1 Selección de circuito de accionamiento

El circuito de accionamiento se define como el sistema de potencia mediante el cual la señal que envíe el controlador logre activar los actuadores lineales posicionados sobre cada una de las teclas. La importancia de este circuito se demuestra en la tabla 22.

Tabla 22: Características eléctricas del proyecto

	Señal del controlador	Condiciones mínimas para accionamiento de actuadores
<b>Voltaje</b>	5 VDC	12 VDC
<b>Corriente</b>	40 mA	400 mA

Por lo tanto es necesario un circuito de acondicionamiento para el correcto accionamiento de los actuadores.

Dentro de las posibilidades, se contemplaron las siguientes opciones:

- Circuito basado en tip de potencia.
- Shield de relés de Arduino.

Se escogió la opción de shield de relés debido a las siguientes ventajas:

- Fácil de conseguir en el mercado.
- No requiere diseño especial.
- Perfecto acople con Arduino.
- No se recalienta.
- Permite la reproducción del sistema por cualquier persona.





Figura 51: Shield de relés<sup>29</sup>

### 3.2.2 Diseño de fuente de alimentación

La fuente de poder debe cumplir los siguientes parámetros:

- Voltaje de entrada: 110 VAC.
- Frecuencia de entrada: 60 Hz.
- Voltaje de salida: 12 VDC.
- Amperaje de salida: 25 A.
- Porcentaje de rizado: 2%

Los parámetros de entrada fueron escogidos en base a la red eléctrica disponible en el Ecuador y los parámetros de salida son en base a las necesidades de los actuadores lineales, los cuales necesitan más potencia para su funcionamiento teniendo en el diseño que:

#### Transformador de entrada:

Fórmula General:

$$V_1 = V_2 * \left( \frac{N_1}{N_2} \right)$$

Ecuación 7 Relación entre voltaje y devanados de entrada y salida

Donde:

- $V_1$ : Voltaje del devanado primario
- $V_2$ : Voltaje del devanado secundario
- $N_1$ : Número de espiras del devanado primario
- $N_2$ : Número de espiras del devanado secundario

<sup>29</sup> Fuente: [www.prometec.net](http://www.prometec.net)

110 V/ 60 Hz, con salida de 12 VDC, 25 Amp, 2% de voltaje de rizo

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{110}{12} = 9,167$$

$$I_2 = I_1 * \left(\frac{N_1}{N_2}\right)$$

**Ecuación 8 Relación entre corriente y devanados de entrada y salida**

Dónde:

- $I_1$ : Corriente del devanado primario
- $I_2$ : Corriente del devanado secundario

$$25 = I_1 * 9,167$$

$$I_1 = 2,72 [A]$$

Rectificador en puente:

$$V_{m\acute{a}x} = 12 * 1,4142 - 25 = 8,02 [V]$$

**Filtro:**

$$C = \frac{5 * I}{f * V_{m\acute{a}x}}$$

**Ecuación 9 Formula para determinar capacitor del filtro**

Donde:

- $C$ : Capacidad del condensador del filtro en faradios.
- $I$ : Corriente que suministrará la fuente.
- $f$ : Frecuencia de la red.
- $V_{m\acute{a}x}$ : Tensión de pico de salida del puente (aproximadamente  $V_o$ ).

$$C = \frac{5 * 25}{60 * 8,03}$$

$C = 0,259$  *Fórmula para la capacitancia al 10%*

Para calcular el valor de la capacitancia del filtro al 2% se utiliza una regla de 3:

$$10\% - - - 0,259$$

$$2\% - - - - - X$$

$$X = \frac{2\% * 0,259}{10\%} = 5200[uF]$$

Para fines comerciales se utilizó un capacitor de 5700 uF.

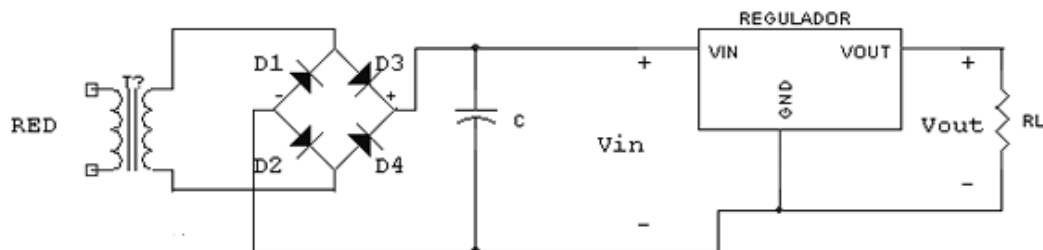


Figura 52: Circuito de la fuente de poder





### 3.3 Diseño de los componentes del sistema de control

#### 3.3.1 Selección del controlador

Para la selección de controlador se utilizó el criterio de comparación de parámetros el cual permitió elegir la mejor opción existente en el mercado.

En la tabla 23 se plantean los criterios de selección y las opciones disponibles en el mercado para microcontroladores.

Tabla 23: Criterios y opciones para selección de controlador

Criterio	de	Tipo de actuador			
		Microchip pic 16F877A	ARDUINO MEGA ADK	Microchip pic 18f2550	Intel® Galileo Gen 2
Representación					
Voltaje de operación		5 VDC	5 VDC	5 VDC	5 VDC
Entradas y salidas digitales		31	54	19	26
Entradas analógicas		7	16	12	6
Corriente de entradas y salidas DC (mA)		31	40	30	100
Memoria flash		8 KB	256 KB	32 KB	8 MB
SRAM		368 Bytes	8 KB	2 KB	512 KB
EEPROM		256 Bytes	4 KB	256 Bytes	8 KB

Continúa →

<b>Velocidad del Reloj</b>	20 MHz	16 MHz	48 MHz	400 MHz
<b>Costo</b>	7 +imp	40 +imp	10 + imp	75 +imp
<b>Dimensiones</b>	52 * 13,84 * 7,11 mm	71 * 53 * 11,3 mm	34,1 * 7,23 * 5,1 mm	123,8 * 72 * 5 mm
<b>Conexión USB</b>	NO	SI	NO	SI

Donde cada uno de los parámetros significa:

- Voltaje de operación: Es el voltaje con el cual funciona el controlador.
- Entradas y salidas digitales: El número de entradas y salidas digitales disponibles en el controlador.
- Entradas analógicas: El número de entradas analógicas disponibles en el controlador.
- Corriente de entradas y salidas DC: Es en mA la corriente que entrega y soporta el controlador en salidas y entradas respectivamente.
- Memoria Flash: Es la capacidad de memoria Flash del controlador.
- SRAM: Es la capacidad de memoria SRAM del controlador.
- EEPROM: Es la capacidad de memoria EEPROM disponible en el controlador.
- Velocidad del reloj: Es la velocidad de oscilación de reloj que soporta el controlador.
- Costo: Es el costo en el mercado ecuatoriano del controlador.
- Dimensiones: Tamaño del controlador.
- Conexión USB: Significa si dispone conexión USB el controlador para comunicación.

En la tabla 24 se evalúa el peso que tendrá cada criterio acorde a la importancia que represente dicho criterio para el diseño, donde se compara fila con columna poniendo en la fila el peso del criterio evaluado, así:

- 5: más importante
- 2,5: igual de importante
- 0: menos importante

Tabla 24: Peso de cada criterio para comparación

	Voltaje de operación	Entradas y salidas digitales	Entradas analógicas	Corriente de entradas y salidas DC (mA)	Memoria flash	SRAM	EEPROM	Velocidad del Reloj	Costo	Dimensiones	Conexión USB	$\Sigma+1$	Ponderación
Voltaje de operación	-	2,5	0	0	0	0	0	2,5	0	0	2,5	8,5	0,0297
Entradas y salidas digitales	2,5	-	5	5	2,5	2,5	2,5	5	5	2,5	2,5	36	0,1259
Entradas analógicas	5	0	-	2,5	0	0	0	5	5	5	5	28,5	0,0997
Corriente de entradas y salidas DC (mA)	5	0	2,5	-	0	0	0	5	5	5	5	28,5	0,0997
Memoria flash	5	2,5	5	5	-	2,5	2,5	5	5	5	5	43,5	0,1521
SRAM	5	2,5	5	5	2,5	-	2,5	2,5	5	2,5	2,5	36	0,1259
EEPROM	5	2,5	5	5	2,5	2,5	-	5	5	5	5	43,5	0,1521
Velocidad del Reloj	2,5	0	0	0	0	2,5	0	-	0	0	0	6	0,0210
Costo	5	0	0	0	0	0	0	5	-	5	5	21	0,0734
Dimensiones	5	2,5	0	0	0	2,5	0	5	0	-	2,5	18,5	0,0647
Conexión USB	2,5	2,5	0	0	0	2,5	0	5	0	2,5	-	16	0,0559
											TOTAL	286	1,0000

De la tabla 25 a la tabla 35 se evalúan las opciones comparándolas con cada criterio en cada tabla, lo que permitirá evaluar la mejor opción dependiendo del criterio de selección para finalmente ponderar y de esta manera escoger el controlador.

**Tabla 25: Comparación con respecto a voltaje de operación**

<b>Voltaje de operación</b>	<b>Microchip pic 16F877A</b>	<b>ARDUINO MEGA ADK</b>	<b>Microchip pic 18f2550</b>	<b>Intel® Galileo Gen 2</b>	<b>Σ+1</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Microchip pic 16F877A</b>	-	2,5	2,5	2,5	8,5	0,25
<b>ARDUINO MEGA ADK</b>	2,5	-	2,5	2,5	8,5	0,25
<b>Microchip pic 18f2550</b>	2,5	2,5	-	2,5	8,5	0,25
<b>Intel® Galileo Gen 2</b>	2,5	2,5	2,5	-	8,5	0,25
				<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>1</b>

**Tabla 26: Comparación con respecto a entradas y salidas digitales**

<b>Entradas y salidas digitales</b>	<b>Microchip pic 16F877A</b>	<b>ARDUINO MEGA ADK</b>	<b>Microchip pic 18f2550</b>	<b>Intel® Galileo Gen 2</b>	<b>Σ+1</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Microchip pic 16F877A</b>	-	0	5	2,5	8,5	0,25
<b>ARDUINO MEGA ADK</b>	5	-	5	5	16	0,470588
<b>Microchip pic 18f2550</b>	0	0	-	0	1	0,029412
<b>Intel® Galileo Gen 2</b>	2,5	0	5	-	8,5	0,25
				<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>1</b>

**Tabla 27: Comparación con respecto a entradas analógicas**

<b>Entradas analógicas</b>	<b>Microchip pic 16F877A</b>	<b>ARDUINO MEGA ADK</b>	<b>Microchip pic 18f2550</b>	<b>Intel® Galileo Gen 2</b>	<b>Σ+1</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Microchip pic 16F877A</b>	-	0	0	5	6	0,176471
<b>ARDUINO MEGA ADK</b>	5	-	5	5	16	0,470588
<b>Microchip pic 18f2550</b>	5	0	-	5	11	0,323529
<b>Intel® Galileo Gen 2</b>	0	0	0	-	1	0,029412
				<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>1</b>

Tabla 28: Comparación con respecto a corriente de entradas y salidas

Corriente de entradas y salidas DC	Microchip pic 16F877A	ARDUINO MEGA ADK	Microchip pic 18f2550	Intel® Galileo Gen 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Microchip pic 16F877A	-	0	2,5	0	3,5	0,102941
ARDUINO MEGA ADK	5	-	5	0	11	0,323529
Microchip pic 18f2550	2,5	0	-	0	3,5	0,102941
Intel® Galileo Gen 2	5	5	5	-	16	0,470588
				Total	34	1

Tabla 29: Comparación con respecto a capacidad de memoria flash

Memoria flash	Microchip pic 16F877A	ARDUINO MEGA ADK	Microchip pic 18f2550	Intel® Galileo Gen 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Microchip pic 16F877A	-	0	0	0	1	0,029412
ARDUINO MEGA ADK	5	-	5	0	11	0,323529
Microchip pic 18f2550	5	0	-	0	6	0,176471
Intel® Galileo Gen 2	5	5	5	-	16	0,470588
				Total	34	1

Tabla 30: Comparación con respecto a capacidad de memoria SRAM

SRAM	Microchip pic 16F877A	ARDUINO MEGA ADK	Microchip pic 18f2550	Intel® Galileo Gen 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Microchip pic 16F877A	-	0	0	0	1	0,029412
ARDUINO MEGA ADK	5	-	5	0	11	0,323529
Microchip pic 18f2550	5	0	-	0	6	0,176471
Intel® Galileo Gen 2	5	5	5	-	16	0,470588
				Total	34	1

Tabla 31: Comparación con respecto a capacidad de memoria EEPROM

EEPROM	Microchip pic 16F877A	ARDUINO MEGA ADK	Microchip pic 18f2550	Intel® Galileo Gen 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Microchip pic 16F877A	-	0	2,5	0	3,5	0,102941
ARDUINO MEGA ADK	5	-	5	2,5	13,5	0,397059
Microchip pic 18f2550	2,5	0	-	0	3,5	0,102941
Intel® Galileo Gen 2	5	2,5	5	-	13,5	0,397059
				Total	34	1

Tabla 32: Comparación con respecto a velocidad de reloj

Velocidad del Reloj	Microchip pic 16F877A	ARDUINO MEGA ADK	Microchip pic 18f2550	Intel® Galileo Gen 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Microchip pic 16F877A	-	2,5	0	0	3,5	0,102941
ARDUINO MEGA ADK	2,5	-	0	0	3,5	0,102941
Microchip pic 18f2550	5	5	-	0	11	0,323529
Intel® Galileo Gen 2	5	5	5	-	16	0,470588
				Total	34	1

Tabla 33: Comparación con respecto a costo del controlador

Costo	Microchip pic 16F877A	ARDUINO MEGA ADK	Microchip pic 18f2550	Intel® Galileo Gen 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Microchip pic 16F877A	-	5	5	5	16	0,470588
ARDUINO MEGA ADK	0	-	0	5	6	0,176471
Microchip pic 18f2550	0	5	-	5	11	0,323529
Intel® Galileo Gen 2	0	0	0	-	1	0,029412
				Total	34	1



Tabla 34: Comparación con respecto a dimensiones del controlador

Dimensiones	Microchip pic 16F877A	ARDUINO MEGA ADK	Microchip pic 18f2550	Intel® Galileo Gen 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Microchip pic 16F877A	-	5	2,5	5	13,5	0,397059
ARDUINO MEGA ADK	0	-	0	5	6	0,176471
Microchip pic 18f2550	2,5	5	-	5	13,5	0,397059
Intel® Galileo Gen 2	0	0	0	-	1	0,029412
				Total	34	1

Tabla 35: Comparación con respecto a disponibilidad de conexión USB

Conexión USB	Microchip pic 16F877A	ARDUINO MEGA ADK	Microchip pic 18f2550	Intel® Galileo Gen 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Microchip pic 16F877A	-	0	0	0	1	0,029412
ARDUINO MEGA ADK	5	-	5	2,5	13,5	0,397059
Microchip pic 18f2550	5	0	-	0	6	0,176471
Intel® Galileo Gen 2	5	2,5	5	-	13,5	0,397059
				Total	34	1

Una vez comparado individualmente cada opción del mercado con cada variable significativa para la selección, es indispensable relacionar estos resultados con la importancia que se le dio a cada variable, por tal razón en la tabla 36 se observa la tabla de conclusiones, donde se multiplicó la ponderación de cada opción con la importancia; los números del 1 al 11 representan cada variable analizada en el orden expuesto al inicio de esta selección y la sumatoria de las multiplicaciones representa la prioridad que se le dará a cada controlador al momento de la compra.

Tabla 36: Ponderación en base al peso de cada criterio

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	$\Sigma$	Prioridad
<b>Microchip pic 16F877A</b>	0,00743	0,03147	0,01759	0,01026	0,00447	0,00370	0,01566	0,00216	0,03455	0,02568	0,00165	0,155	4
<b>ARDUINO MEGA ADK</b>	0,00743	0,05923	0,04689	0,03224	0,04921	0,04072	0,06039	0,00216	0,01296	0,01142	0,02221	0,345	1
<b>Microchip pic 18f2550</b>	0,00743	0,00370	0,03224	0,01026	0,02684	0,02221	0,01566	0,00679	0,02376	0,02568	0,00987	0,184	3
<b>Intel@ Galileo Gen 2</b>	0,00743	0,03147	0,00293	0,04689	0,07158	0,05923	0,06039	0,00987	0,00216	0,00190	0,02221	0,316	2
												<b>Total</b>	<b>1,000</b>

Como se puede observar en la tabla 36, debido a la importancia y la evaluación de cada parámetro de diseño comparado con cada opción de controladores disponibles en el mercado se llega a la conclusión de que la mejor opción para el accionamiento es: *Controlador Arduino MEGA ADK*

### 3.4 Adecuación del software necesario

El software necesario es el código fuente que se almacenará dentro del controlador, puesto que uno de los requisitos del sistema es el funcionamiento del mismo con cualquier tipo de programa

La única condición que tiene que cumplir el programa para el funcionamiento del sistema es permitir la escritura dentro de la memoria EEPROM de Arduino.

El código fuente se basa en un diagrama de flujo que se puede apreciar en la sección de apéndices, así como la programación completa elaborada para este proyecto.

Para la transmisión de datos desde el PC a manera de prueba se utilizó el programa IDE propio de Arduino que presenta las siguientes ventajas:

- **Multiplataforma:** El Programa IDE de Arduino permite la conexión del controlador con cualquier plataforma del mercado sea Mac, Windows o Linux.
- **Open source:** El Programa IDE es libre de cualquier tipo de licencia, además se tiene acceso al código fuente para usuarios desarrolladores que deseen realizar cambios.
- **Librerías:** Una de las ventajas más grandes que tiene Arduino es que posee librerías para prácticamente cualquier componente externo que se le quiera acoplar (como por ejemplo el Shield de relés o un circuito integrado que controla un puente H, usados en el desarrollo del presente proyecto) haciendo innecesario aprender el datasheet del componente y desarrollar el software necesario. Entre las varias librerías con las que cuenta Arduino, se puede destacar:
  - **EEPROM:** librería con funciones de escritura y lectura de la memoria EEPROM del dispositivo
  - **Ethernet:** librería para el uso de este protocolo en presencia del Shield Arduino Ethernet.
  - **GSM:** librería para la transmisión/recepción y procesamiento de GSM.
  - **Servo:** librería exclusiva para el uso de servo motores, muy útil en robótica.

La principal razón de uso del software propio de Arduino es que éste permite la perfecta vinculación entre PC y controlador, además del uso directo de la memoria EEPROM, el cual fue uno de los requerimientos iniciales de diseño del sistema.

La interfaz humano-máquina para el presente proyecto se realizó mediante la adaptación de un extracto de una tesis del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, fomentando de esta manera el fortalecimiento de lazos entre carreras para la ejecución de sistemas más completos.

## CAPÍTULO IV

### 4. IMPLEMENTACIÓN

Una vez que se han dimensionado y seleccionado adecuadamente todos los componentes mecánicos y electrónicos que componen el sistema, se procede a realizar el ensamble de los mismos a la máquina de escribir, como se detalla en el presente capítulo.

Con la intención de proporcionar una mejor idea de la manera en la que se ensambló el presente proyecto, se presenta a continuación un esquema general del diseño CAD realizado mediante el software de SolidWorks. En la figura 53 se puede apreciar el proyecto en su totalidad, es decir, la implementación de la máquina de escribir Perkins y su acople con el sistema de impresión automático. Por otra parte, en la figura 54 se puede apreciar el sistema de impresión por separado con un desglose de sus componentes.

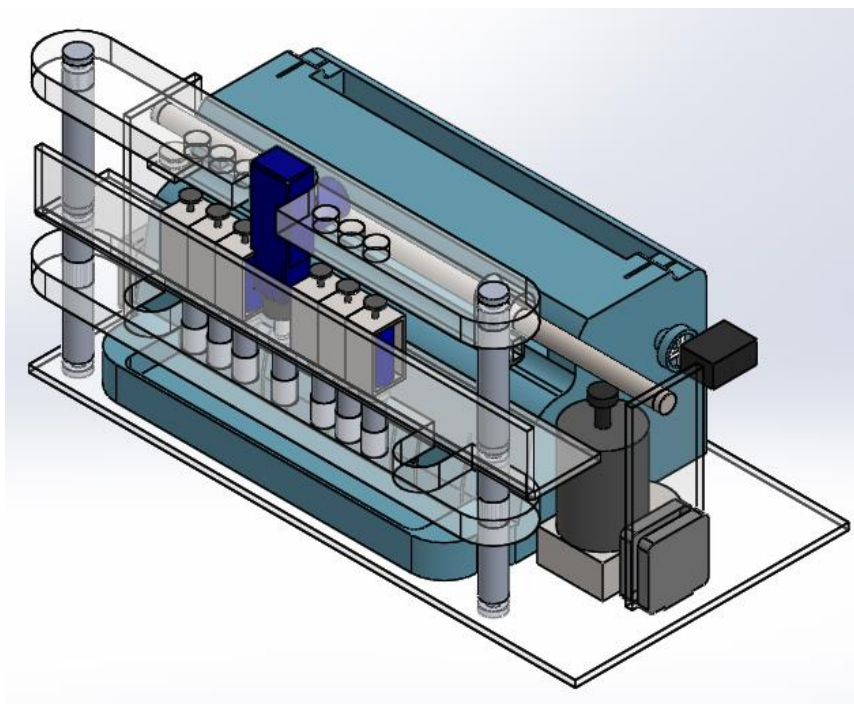


Figura 53: Esquema general del proyecto

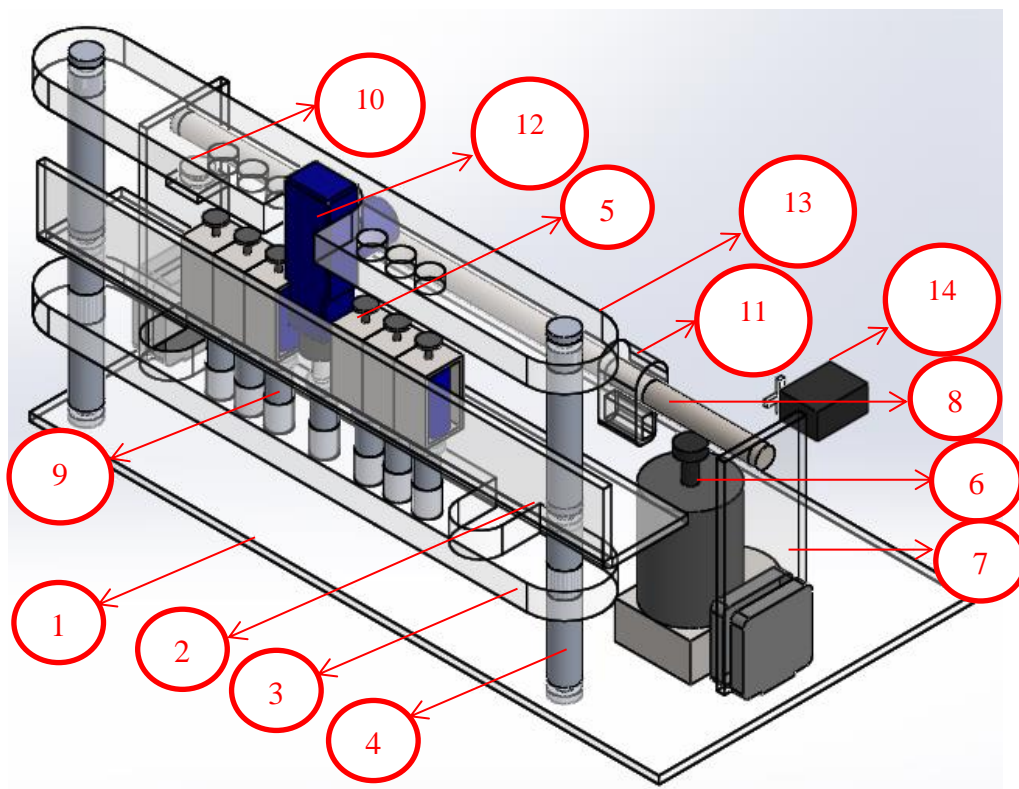


Figura 54: Detalle de los componentes del sistema

Tabla 37: Detalle de los componentes del sistema

No. De Elemento	Nombre de la Pieza	Cantidad
1	Acrílico Base	1
2	Acrílico Superior	1
3	Acrílico Intermedio	1
4	Parantes de aluminio	2
5	Actuador lineal tipo 1	7
6	Motor DC	1
7	Parantes de acrílico	2
8	Eje de acero inoxidable	1
9	Extensiones de aluminio	7
10	Tensor de la banda	1
11	Pieza de empuje, retorno de carro	1
12	Actuador lineal tipo 2	1
13	Acrílico tope para resortes	1
14	Servomotor	1

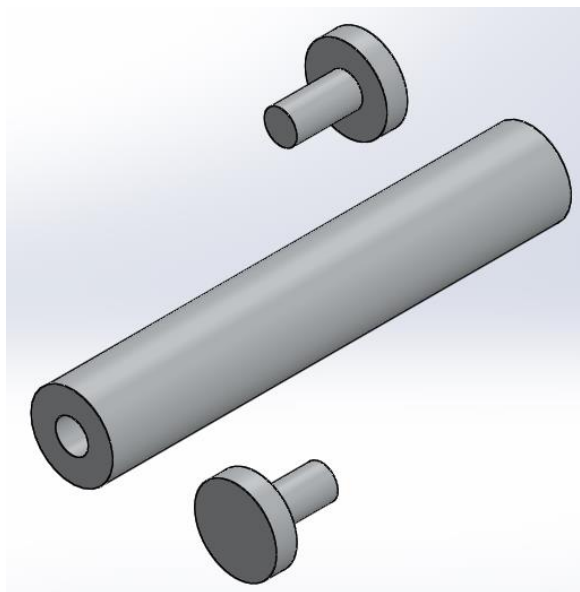
La placa de acrílico ubicada en la base de la máquina es la que se encarga de sujetar todo el mecanismo a la misma, y es por esto que su adecuada sujeción es un parámetro fundamental al momento de ensamblar los componentes. Sobre dicha placa se montarán posteriormente los ejes de aluminio responsables de mantener la

segunda placa de acrílico sobre las teclas de la máquina, permitiendo que los actuadores las accionen mediante la incorporación del sistema de control al mecanismo.

Es por esto que en primer lugar se decidió marcar y perforar la placa base de acrílico, para que la máquina pueda ser sujeta correctamente a la misma mediante pernos y así impedir cualquier tipo de movimiento innecesario en el momento de su accionamiento.

Una vez que la máquina fue asegurada a la placa base de acrílico, se procedió a marcar y perforar los sitios donde se ubicarían los parantes de aluminio que sujetarían la placa superior de acrílico en su lugar sobre las teclas de la máquina. Una ventaja de trabajar con acrílico transparente es que permite comprobar la ubicación de los actuadores en su sitio correcto, y así verificamos que éstos puedan accionar adecuadamente las teclas.

Los soportes de aluminio fueron elaborados a partir de diseños CAD, realizados en el software de SolidWorks, como se puede apreciar en la figura 55, y tienen piezas acoplables mediante rosca que permite la sujeción de las placas de acrílico entre sí.



**Figura 55: Diseño de los soportes de aluminio mediante software CAD**

A continuación se procedió a la perforación de la placa base en los lugares donde serán ubicadas las chapetas que sujetan los paneles laterales de acrílico. Sobre dichas chapetas se asentarán tanto el eje de acero inoxidable como la banda acoplada al servomotor, que realizará el movimiento del cabezal para el cambio de línea de la máquina. A su vez, se realizaron perforaciones en los paneles o placas laterales de acrílico para permitir su acople con las chapetas, como se puede apreciar en la figura 56; dicho acople se realiza mediante pernos tanto laterales como inferiores. De esta

forma, las placas laterales de acrílico permanecen sujetas a 90° con respecto a la placa base de acrílico.



**Figura 56: Realización de las perforaciones en placas de acrílico**

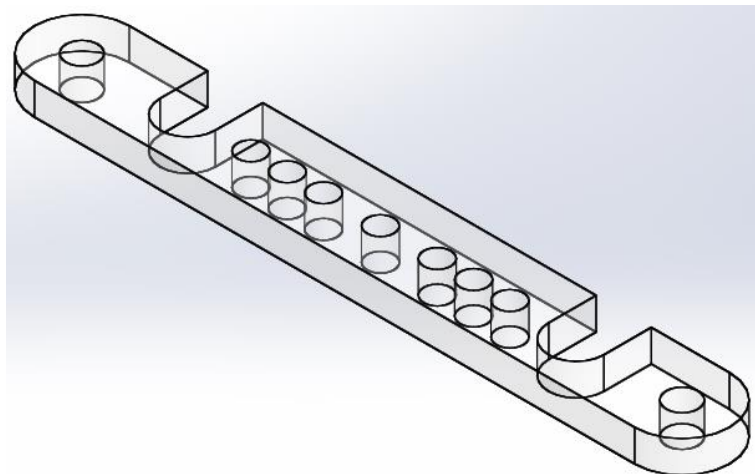
Una vez realizadas dichas perforaciones, se procedió a perforar adicionalmente los agujeros de 1 pulgada de diámetro para la colocación de los rodamientos que sujetarán el eje de acero inoxidable.

A continuación se sujetaron las placas laterales a la base de acrílico, así como el motor que proporcionará el movimiento para el retorno del carro, ubicado a un costado de la máquina de escribir. En la figura 57 se puede apreciar la verificación de la longitud de la banda una vez que se ha colocado el motor y las guías para el eje de acero inoxidable. En dicho eje se colocó previamente el rodamiento lineal que permitirá el desplazamiento del cabezal, junto con la pieza de acrílico que se encargará del retorno del carro para el paso a la siguiente línea.



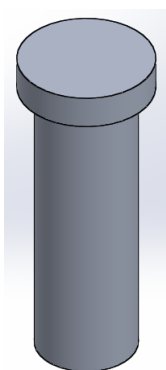
**Figura 57: Verificación de la longitud de la banda de transmisión**

Posteriormente se procedió a incorporar la siguiente placa de acrílico (Placa intermedia) sobre las teclas de la máquina de escribir Perkins, sujetándola a los parantes mediante prisioneros. La placa intermedia posee perforaciones que permiten la activación de las teclas, como se aprecia en la figura 58 correspondiente al diseño en software de dicha pieza.



**Figura 58: Diseño de la placa de acrílico intermedia**

Es importante señalar que sobre la placa de acrílico intermedia se colocaron piezas de aluminio que permiten a los actuadores presionar las teclas de la máquina, puesto que la carrera que poseen los actuadores no permite que éstos activen por sí solos a las teclas. Dichas piezas se realizaron mediante diseños CAD, como se aprecia en la figura 59.



**Figura 59: Diseño de las piezas de aluminio para la activación de las teclas**

De esta manera se acopló la placa de acrílico intermedia sobre las teclas de la máquina. Es posible apreciar dicho procedimiento en la figura 60, donde se puede observar la placa intermedia propiamente dicha junto con las piezas de aluminio, las placas laterales que sujetan el eje de acero inoxidable, el tensor de la banda, y el motor DC acoplado a la pieza de retorno del carro.





**Figura 60: Colocación de la pieza de acrílico intermedia**

A continuación, se marcó y se colocaron los actuadores sobre la placa de acrílico superior. Este procedimiento se realizó cuidadosamente ya que los tornillos de sujeción de los actuadores no debían tocar el bobinado de los mismos para evitar que éstas se quemen a causa de un cortocircuito. En la figura 61 se puede apreciar el proceso de acople de los actuadores a la placa de acrílico.



**Figura 61: Sujeción de los actuadores a la placa superior de acrílico**

Tras la sujeción de los actuadores a la placa superior de acrílico, se procedió a su acople con el resto de la máquina. La figura 62 permite evidenciar dicho procedimiento, mientras que la figura 63 muestra una vista lateral de este ensamble.



**Figura 62: Acople de la placa superior y los actuadores a la estructura**

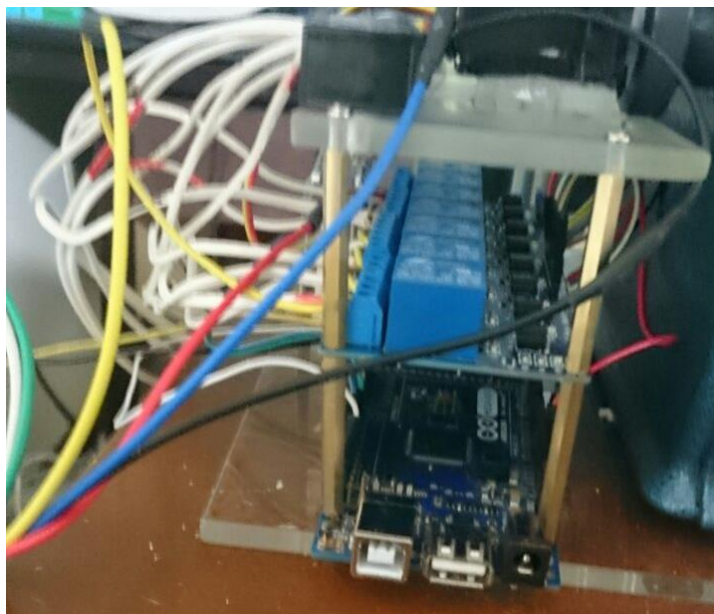


**Figura 63: Vista lateral del ensamble**

Una vez que se han incorporado los actuadores, se procedió a la sujeción del controlador en la placa base, junto con todas las conexiones que éste requiere. Cabe señalar que se empleará el software propio de Arduino para realizar la programación del código de control, como se mencionó en el capítulo 3.

Por cuestiones de estética y optimización de espacio, se decidió que la mejor manera de acoplar el controlador y los demás componentes electrónicos, como el

punto H y el shield de relés, era de forma vertical, es decir, uno sobre el otro. La figura 64 permite apreciar este ensamble de manera más apropiada.



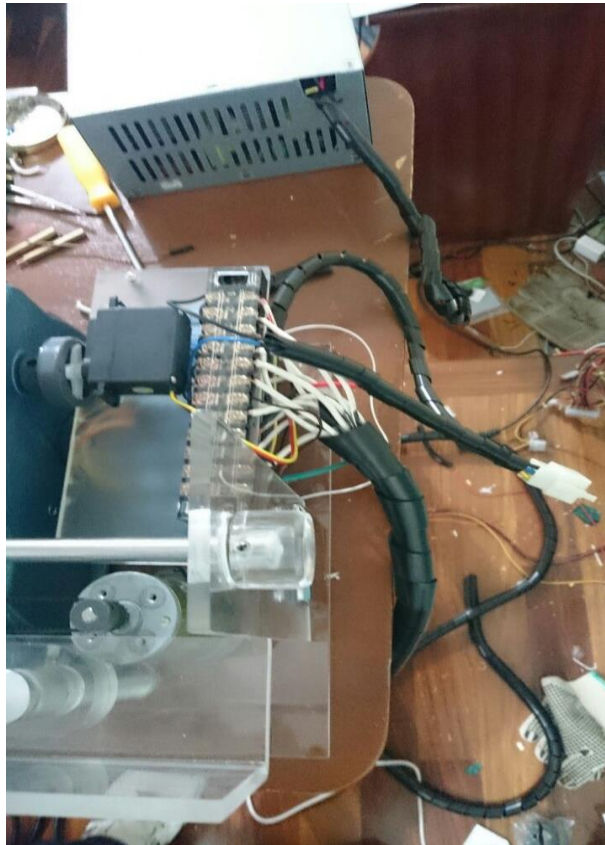
**Figura 64: Sujeción del controlador y componentes electrónicos**

A continuación, se colocó el servomotor responsable del cambio de línea en la máquina, es decir, aquél que provee el movimiento del tambor una vez que el cabezal de escritura ha sido empujado a su posición inicial. Como se mencionó anteriormente, este acople se realizó de manera vertical, aprovechando la colocación del controlador instalado previamente.



**Figura 65: Acople del servomotor al tambor de la máquina de escribir**

Para finalizar con la implementación del presente proyecto, se optó por organizar todo el cableado necesario para su funcionamiento mediante borneras, conductos termo contraíbles y espirales organizadoras, tanto en la estructura como en la fuente de poder que se utilizará.



**Figura 66: Organización del cableado (vista superior)**



**Figura 67: Organización del cableado (vista frontal)**

## CAPÍTULO V

### 5. PRUEBAS Y RESULTADOS

En la fase final de la elaboración de todo sistema, es necesaria la elaboración de diferentes pruebas que el sistema debe superar para tener un criterio de aceptación. Las principales ventajas de aplicar un protocolo de pruebas son:

- Se realizan pruebas de cada elemento, tanto por separado como en conjunto.
- Se prueba el sistema en su totalidad.
- El sistema es probado ante fallas en un entorno lo más parecido al de su funcionamiento normal.
- Las pruebas de sistema permiten probar, verificar y validar los requisitos de funcionamiento.

Por lo tanto en el presente capítulo se desarrollará un protocolo de pruebas que se aplica al sistema automático de escritura braille con el uso de la máquina de escribir Perkins.

#### 5.1 Desarrollo del protocolo de pruebas

El desarrollo de protocolo de pruebas del sistema implica la operación y aplicación a través de condiciones controladas y la evaluación de información de la misma, donde se aplicarán tanto situaciones normales como anormales.

El objetivo es encontrar un error para la determinación de situaciones donde ocurre algo que no debería. Es decir, el objetivo del protocolo de pruebas es detectar falencias, y con el fin de conseguir la mencionada finalidad existen una serie de pruebas que se detallan a continuación:

- Pruebas de Caja Negra
- Pruebas de integración
- Pruebas de conjunto
- Pruebas de usabilidad

#### 5.2 Pruebas del sistema

A continuación se detallarán y definirán las pruebas que se aplicaron al sistema.

##### 5.2.1 Pruebas de caja negra

El protocolo de pruebas de caja negra no conoce la estructura interna del sistema en sí, solamente se enfoca a las entradas controladas y las salidas esperadas.



Figura 68: Esquema de pruebas de caja negra<sup>30</sup>

Para este tipo de prueba se tendrá la integración entre el controlador Arduino mega ADK y el shield de relés, donde se enviará desde el controlador una señal controlada para comprobar la salida deseada.

### 5.2.2 Pruebas de integración

Este tipo de pruebas buscan probar la combinación de distintas partes del sistema para determinar si funcionan correctamente en conjunto, para esto se realizó la prueba entre estos elementos:

- Shield de relés y actuadores
- Controlador Arduino Mega Adk e integrado L298N
- Fuente de poder y actuadores

### 5.2.3 Pruebas de conjunto

Este tipo de pruebas buscan analizar el sistema como un todo a través de una entrada y salida controlada, similar a las pruebas de caja negra pero el sistema siendo un todo, por lo tanto para este tipo de pruebas se integrará el controlador Arduino ADK, shield de relés, fuente y actuadores.

### 5.2.4 Pruebas de usabilidad

Se seleccionó a un grupo de 30 personas que desconocían del sistema y se pidió que usen el mismo con el fin de comprobar:

- La facilidad de aprendizaje (que tan fácil es manejar al usuario la primera vez que tiene contacto con el sistema)
- Eficiencia (una vez aprendido que tan rápido se puede volver a repetir la tarea)
- Manejo de errores (cuantos usuarios cometieron errores y lo grave de éstos)
- El grado de satisfacción del usuario.

## 5.3 Resultados del sistema

### 5.3.1 Pruebas de caja negra

Para las pruebas de caja negra se enviaron diez comandos desde el controlador Arduino Mega ADK hacia el shield de relés, donde cada relé debía activarse para

<sup>30</sup> Fuente: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lis/moreno\\_a\\_jl/capitulo5.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/moreno_a_jl/capitulo5.pdf)

posteriormente dar paso a la activación de cada actuador. Los resultados se exponen en la tabla 38.

**Tabla 38: Resultados de pruebas de caja negra**

<b>Comando</b>	<b>Relés activados</b>	<b>Conformidad</b>
a	3,7	Si
b	3,2,7	Si
1	3,7	No
c	3,4	Si
2	3,2,7	No
f	3,2,4,7	Si
e	3,5	Si
g	3,2,4,5	Si
h	3,2,5	Si
3	3,4	No

### 5.3.2 Pruebas de integración

Para las pruebas de integración cada subsistema se analizó por separado obteniendo los siguientes resultados:

- Shield de relés y actuadores:

Para esta prueba se conectó cada actuador a cada salida disponible del shield de relés, conectando el común de los relés hacia la polaridad positiva de la fuente de poder y realizando un solo común de negativos, de esta manera cuando se active un relé automáticamente se activaría el actuador. Se obtuvieron los siguientes resultados, expuestos en la tabla 39.

**Tabla 39: Pruebas de integración de shield de relés y actuadores**

<b>Relé</b>	<b>Actuador</b>	<b>Conformidad</b>
1	1	Si
2	2	Si
3	3	No
4	4	No
5	5	Si
6	6	Si
7	7	Si

- Controlador Arduino Mega Adk e integrado L298N

Para la realización de esta prueba se envió señales desde el controlador Arduino mega ADK hacia el integrado, el cual debía cumplir cierta actividad. La tabla 40 permite evidenciar dichos resultados.

Tabla 40: Pruebas de integración de Controlador Arduino mega ADK e integrado L298N

Pin de señal	Sentido de giro	Salida	Conformidad
1	Horario	1	Si
2	Anti horario	1	Si
3	Horario	2	Si
4	Anti horario	2	Si

- Fuente de poder y actuadores

El sistema debe soportar cualquier condición de operación, por lo tanto para esta prueba se examinó cada actuador con una fuente de voltaje de 24 VDC, en intervalos de 2 minutos intermitentes cada segundo; obteniendo los resultados presentados en la tabla 41. La tabla 42 muestra el consumo de corriente de los actuadores.

Tabla 41: Pruebas de integración de fuente de poder y actuadores

Actuador	Accionamiento	Calentamiento	Conformidad
1	Si	No	Si
2	Si	No	Si
3	Si	No	Si
4	No	Si	No
5	Si	Si	Si
6	Si	No	Si
7	Si	No	Si

Tabla 42: Consumo de corriente con actuadores

Numero de Actuadores	Consumo de corriente (A)	Accionamiento	Funcionamiento de fuente	Conformidad
1	2,9	Si	Si	Si
2	5,6	Si	No	Si
3	8,9	Si	No	Si
4	11,5	Si	Si	No
5	14,2	Si	Si	Si
6	17,5	Si	No	Si
7	-	No	No	Si

### 5.3.3 Pruebas de conjunto

Este tipo de prueba se realiza con el sistema armado en su totalidad, lo que permite observar el correcto funcionamiento en conjunto de cada subsistema. Se envió una señal controlada desde la PC a través del controlador Arduino Mega ADK, pasando al shield de relés que permitió el accionamiento de los actuadores, obteniendo los resultados presentados en la tabla 43.



Tabla 43: Resultados de pruebas del conjunto

Señal	Relé	Actuador	Conformidad
a	3,7	3,7	Si
b	3,2,7	3,2,7	Si
1	3,7	3,7	Si
c	3,4	3,4	Si
2	3,2,7	3,2,7	Si
f	3,2,4,7	3,2,4,7	Si
e	3,5	3,5	Si
g	3,2,4,5	3,2,4,5	Si
h	3,2,5	3,2,5	Si
3	3,4	3,4	Si

Otra prueba que se realizó al sistema fue en funcionamiento continuo, donde el sistema se puso a prueba durante un periodo de una hora y se tomaron variables cada 15 min y se considera recalentamiento cuando la temperatura del actuador supera los 15°C, al cabo del cual se notificaron los resultados expuestos en la tabla 43.

Tabla 44: Pruebas de funcionamiento continuo

Tiempo	Funcionamiento	Actuador con temperatura sobre 15 C	Conformidad
15	Si	Ninguno	Si
30	Si	4	Si
45	No	4	No
60	No	1,4,5,6	No

### 5.3.4 Pruebas de usabilidad

Tras poner a prueba el sistema con personas que nunca habían manejado algo similar, se obtuvieron los resultados expuestos en las figuras 69, 70, 71 y 72.

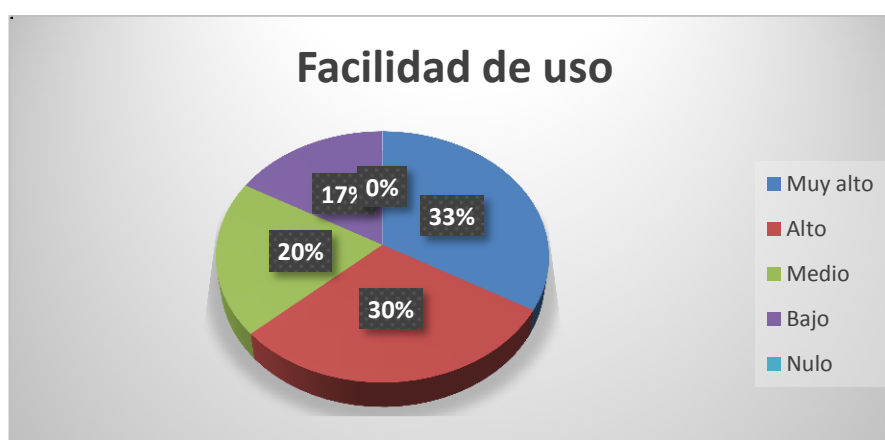


Figura 69: Resultados de pruebas de facilidad de uso

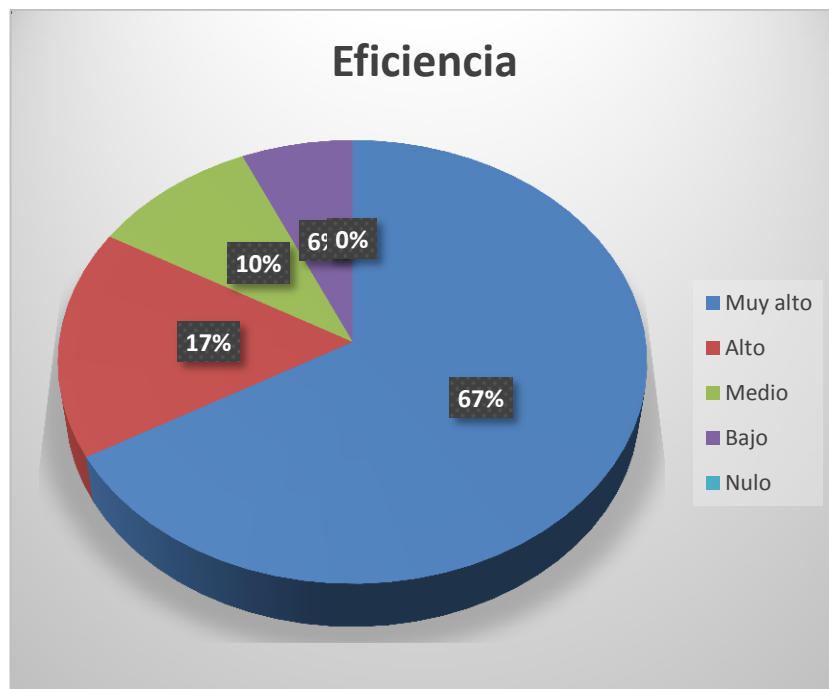


Figura 70: Resultados de pruebas de eficiencia del sistema



Figura 71: Resultados de pruebas ante errores

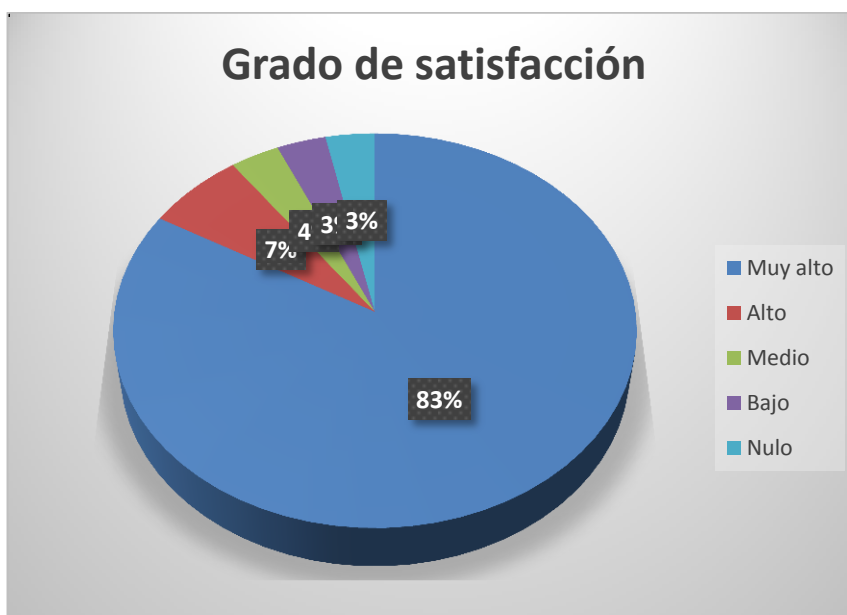


Figura 72: Resultado de prueba para grado de satisfacción del sistema

## 5.4 Validación de los resultados

### 5.4.1 Pruebas de caja negra

Estas pruebas arrojaron como resultado que se debe corregir la escritura de números, puesto se debe anteponer el prefijo para los mismos en braille, con las nuevas correcciones estas falencias quedaron correctamente corregidas.

### 5.4.2 Pruebas de integración

- Shield de relés y actuadores

Esta prueba dictaminó que los relés 3 y 4 del shield de relés se encuentran quemados por lo tanto se procede al cambio de shield para garantizar la calidad del sistema. Con este cambio el sistema cumplió a cabalidad con esta prueba.

- Controlador Arduino MEGA ADK e integrado L298N

En esta prueba no existieron novedades con el uso del integrado y el controlador Arduino mega ADK, por lo tanto se considera que el sistema cumplió satisfactoriamente esta prueba.

- Fuente de poder y actuadores

Como se observa en la tabla de resultados, existía un actuador dañado el cual fue reemplazado. De esta manera el sistema superó esta prueba con éxito.

A pesar de que la fuente de poder no soporto el funcionamiento de los siete actuadores simultáneamente, no se considera un problema de relevancia puesto que en ninguno de los casos se activarán los siete actuadores al mismo tiempo.

### **5.4.3 Pruebas de conjunto**

En las pruebas de conjunto se comprueba que la máquina se encuentra en óptimas condiciones para su uso y puesta a prueba por los usuarios.

En las pruebas de funcionamiento continuo, se verificó la existencia de sobre calentamiento en el actuador numero 4 por lo que se procedió al cambio del mismo, por un actuador de mayor resistencia al calentamiento debido a la corriente que circula a través de él.

### **5.4.4 Pruebas de usabilidad**

Se obtuvieron resultados satisfactorios tras superar con éxito las pruebas planteadas al sistema y presentar el proyecto ante un grupo de personas que la usaron y calificaron una serie de parámetros finales en la misma.

## CAPÍTULO VI

### 6. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

#### 6.1 Costo de Inversión

A continuación se detallan los costos de inversión que se registraron al realizar el proyecto.

##### 6.1.1 Costo de Materia Prima

Tabla 45: Costo de materia prima

No.	Ítem	Descripción	Costo unitario (USD)	Cantidad	Subtotal (USD)
1	Acrílico	Placas de acrílico cristal de 6mm de espesor, dimensiones 500x250mm	15,00	1	15,00
2	Acrílico	Placas de acrílico cristal de 6mm de espesor, dimensiones 500x100mm	5,00	1	5,00
3	Acrílico	Placas de acrílico cristal de 6mm de espesor, dimensiones 160x80mm	2,00	1	2,00
4	Acrílico	Placas de acrílico cristal de 6mm de espesor, dimensiones 30x30mm	1,50	1	1,50
5	Aluminio	Eje de aluminio para la fabricación de soportes laterales	13,00	1	13,00
6	Rodamiento circunferencial	Rodamiento de bolas	4,50	3	13,50
7	Rodamiento lineal	Rodamiento para movimiento lineal	28,00	1	28,00
8	Banda de transmisión	Banda dentada	8,00	1	8,00
9	Eje de acero	Eje de acero inoxidable	6,00	1	6,00
10	Chapetas de acero	Chapetas de acero inoxidable	12,00	1	12,00
11	Tornillería	Tornillería en general, dimensiones variables	4,50	1	4,50
Subtotal					108,50
IVA					13,02
<b>Costo Total</b>					<b>121,52</b>

### 6.1.2 Costo de Equipos

Tabla 46: Costo de equipos

No.	Ítem	Descripción	Costo unitario (USD)	Cantidad	Traslado	Impuestos adicionales	Subtotal (USD)
1	Arduino MEGA ADK	Placa basada en microcontrolador ATMEGA 2560	44,00	1	-	-	44,00
2	Actuador Lineal	Actuador lineal de 12V y 400mA, con fuerza de 45N	11,20	10	29,24	47,60	188,84
3	Fuente de voltaje de 12V	Fuente de voltaje para pruebas Motor DC con	16,00	1	-	-	16,00
4	Servomotor	encoder incorporado	21,12	1	-	-	21,12
5	Relay Shield	Shield de relés compatible con Arduino	25,00	1	-	-	25,00
6	Shield I298 n	Shield de puente H compatible con Arduino	8,00	1	-	-	8,00
7	Taladro	Taladro Skil 6055, 550w	58,00	1	-	-	58,00
8	Servomotor pequeño	Servomotor (dimensiones reducidas) de 3 kg-cm	12,95	1	-	-	12,95
Subtotal							373,91
IVA							44,87
<b>Costo Total</b>							<b>418,78</b>

### 6.1.3 Costo de Herramientas y Materiales

Tabla 47: Costo de herramientas y materiales

No.	Ítem	Costo unitario (USD)	Cantidad	Subtotal (USD)
1	Multímetro	15,40	1	15,40
2	Protoboard	12,76	1	12,76
3	Juego de desarmadores	5,72	1	5,72
4	Cables para Arduino (kit)	3,52	3	10,56
5	Juego de brocas	17,60	1	17,60
6	Espiral para conexiones eléctricas	6,50	2	13,00
7	Pernos hexagonales	1,50	2	3,00

Continúa →

8	Bornera para conexión eléctrica	2,50	1	2,50
9	Cables para conexión eléctrica + conducto termocontraíble	2,52	1	2,52
10	Conector (macho/hembra)	1,90	1	1,90
11	Manguera LED	2,00	1	2,00
			Subtotal	86,96
			IVA	10,44
			<b>Costo Total</b>	<b>97,40</b>

#### 6.1.4 Costo de Mano de Obra

Tabla 48: Costo de mano de obra

No.	Operación	Descripción	Costo (USD/h)	Tiempo (h)	Subtotal (USD)
1	Corte de acrílico	Proceso de corte mediante láser para las planchas de acrílico	45,00	0,3	13,50
2	Doblado de acrílico	Proceso térmico de doblado para planchas de acrílico	60,00	0,1	6,00
3	Maquinado de aluminio	Proceso de torneado y fresado mediante CNC para ejes de aluminio	10,00	3	30,00
4	Ensamble	Proceso de ensamblaje de todos los componentes del sistema	3,00	12	36,00
5	Corte de acrílico	Adecuación de acrílico para acople de piezas de aluminio	18,34	6	110,04
6	Corte de acrílico	Adecuación de acrílico para acople de resortes superiores	10,00	2	20,00
7	Corte de acrílico	Adecuación de acrílico para acople de nuevo actuador	2,50	5	12,50
			<b>Costo Total</b>		<b>228,04</b>

### 6.1.5 Costo Total

Tabla 49: Costo total

Detalle	Costo (USD)
Costo Materia Prima	121,52
Costo Equipos	418,78
Costo Herramientas y Materiales	97,40
Costo Mano de Obra	228,04
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>865,73</b>

### 6.2 Análisis Económico

Como se puede apreciar, el costo total de inversión de nuestro proyecto asciende a \$865,73; lo cual representa un ahorro significativo si se lo compara con impresoras comerciales estándar, cuyos precios de venta se sitúan en el rango de los \$3,500 a \$7,000.

El mantenimiento de este proyecto se lo puede realizar de una manera muy sencilla y sin complicaciones, por lo cual se plantea como una ventaja adicional frente a equipos de características similares existentes en el mercado que requieren servicio de mantenimiento adicional realizado por técnicos especializados.

A pesar de que la idea original no es comercializar el presente proyecto, se cree necesario realizar el análisis económico del mismo, pues así se tendrá una idea de la relación costo-beneficio que se puede llegar a obtener con esta idea. Como se mencionó, el beneficio que se obtiene con este proyecto es mayor que con un sistema de impresión comercial, debido a que el costo de adquisición de dichos equipos resulta demasiado elevado. Se pretende que los costos en los cuales se incurrió durante la realización del presente proyecto fuesen los menores posibles, mas siempre manteniendo una excelente calidad en los materiales y equipos empleados; de esta forma se asegura el cumplimiento de las funciones para las cuales fue concebido el equipo. Es por esto que el presente proyecto cuenta con un gran beneficio al requerir de una pequeña inversión.

En cuanto al análisis de los rubros descritos en los puntos anteriores, se puede decir que el valor más elevado corresponde al de los actuadores importados. Esto se debe a que el mercado nacional no abastece el requerimiento que este proyecto presentaba, y es por esto que decidimos comprar actuadores de características superiores en el extranjero para así poder asegurar el correcto funcionamiento de la máquina, una estética agradable a la vista y la portabilidad del equipo. Cabe señalar que dicho rubro tuvo un incremento considerable debido a los impuestos establecidos por el gobierno para los productos importados, así como al traslado de los mismos desde el exterior.



En cuanto a los costos de mano de obra, se puede resaltar el valor del trabajo realizado con las planchas de acrílico, ya que se quiso proveer al proyecto de la mayor funcionalidad, sin dejar de lado una estética agradable. Es así que se recurrió a una empresa especializada en trabajo con acrílico transparente y se solicitó el corte láser y el doblado de una plancha de acrílico, sobre la cual se asentarían posteriormente los actuadores responsables de la impresión del texto en Braille. Al utilizar láminas de acrílico transparente para el diseño del equipo en su totalidad, se aseguró que éste tendría la robustez necesaria y que, al mismo tiempo, sería de fácil manipulación y transporte.

### 6.3 Análisis de Impacto

Se desarrolló un análisis técnico del impacto en diversas áreas generadas por el proyecto en el contexto del mismo, para lo cual se establecieron algunos parámetros a seguir, como se puede apreciar a continuación.

Se determinaron las áreas o ámbitos generales sobre las cuales el proyecto influenciará positiva o negativamente; dichas áreas son: social, económica y ambiental.

Se seleccionó un rango de niveles de impacto (tanto positivos como negativos) de acuerdo con la tabla 50, los mismos que permiten asignar una ponderación a los criterios de cada ámbito sobre el cual repercute el proyecto.

**Tabla 50: Rango de niveles de impacto**

<b>Tipo de impacto</b>	<b>Valor</b>
Impacto alto positivo	3
Impacto medio positivo	2
Impacto bajo positivo	1
No tiene impacto	0
Impacto bajo negativo	-1
Impacto medio negativo	-2
Impacto alto negativo	-3

Para cada área de influencia del proyecto se crearon matrices donde se ubica el nivel de impacto y los criterios bajo los cuales se calificará cada tabla; de esta manera se obtiene un resultado puntual y cualitativo para la medición del nivel de impacto global del proyecto. A partir de allí, se asigna una calificación a cada indicador y se realiza la sumatoria en cada matriz para obtener un resultado total. Dicho resultado se divide para el número de indicadores de cada matriz y se obtiene matemáticamente el resultado correspondiente a dicha área.

Para cada matriz se realizará un breve análisis que permite aclarar la manera con la que se obtuvo el resultado alcanzado y así poder entender de manera apropiada el nivel de impacto para cada área del proyecto.

### 6.3.1 Impacto social

Tabla 51: Impacto social del proyecto

Indicador	Nivel de impacto							Total
	-3	-2	-1	0	1	2	3	
Bienestar comunitario						X		2
Aporte a la sociedad							X	3
Generación de empresas productivas					X			1
<b>Total</b>					1	2	3	6

Como se puede apreciar en la tabla 51, el valor total del impacto social es de 6, lo cual dividido para 3 (número de indicadores) nos da como resultado un impacto promedio de 2, correspondiente a un impacto Medio Positivo.

En esta área se tomaron en cuenta algunos factores, como el bienestar que el proyecto otorgará a la comunidad a la cual está dirigido, así como el aporte que dicho proyecto contribuye dentro de la sociedad. A partir de nuestro proyecto, se cree posible la generación de empresas productivas, como es el caso de una imprenta a manera de microempresa que se especialice en la impresión de textos económicos para personas no videntes. Es por esto que también se ha tomado como indicador a esta característica en particular.

### 6.3.2 Impacto económico

Tabla 52: Impacto económico del proyecto

Indicador	Nivel de impacto							Total
	-3	-2	-1	0	1	2	3	
Inversión inicial			X					-1
Costo de implementación					X			1
Costo de mantenimiento				X				0
Comparación con la competencia							X	3
<b>Total</b>			-1	0	1		3	3

Al analizar la tabla 52, podemos apreciar que la sumatoria total es 3, la cual dividida para 4 indicadores da como resultado 0,75. Esto corresponde a un nivel de impacto Bajo Positivo.

Dentro de los indicadores de esta matriz, podemos apreciar la Inversión Inicial, la misma que fue un poco elevada (dada nuestra situación de estudiantes) pero que no excedió dos salarios básicos unificados; es por esto que su nivel de impacto fue

percibido como Bajo Negativo. El Costo de Implementación se consideró como un impacto Bajo Positivo debido a que su implementación fue realizada en su totalidad por nosotros, lo cual abarata los costos de producción del proyecto. El Costo de Mantenimiento no se considera un aspecto significativo tal y como se planteó en el análisis económico realizado en el apartado anterior del presente capítulo, pues puede ser realizado de manera sencilla y sin conocimientos técnicos especializados; es por esto que no presenta impacto alguno sobre el proyecto, a pesar de ser considerado un indicador de la presente matriz. Finalmente, la Comparación con la Competencia representa un impacto Alto Positivo, pues es el aspecto más significativo al hablar del área económica del proyecto; esto se debe a que nuestro proyecto tiene un costo hasta 10 veces menor que una impresora Braille comercial, por lo cual su producción se aprecia como una ventaja y un beneficio para la sociedad, especialmente para personas no videntes de escasos recursos.

### 6.3.3 Impacto Ambiental

Tabla 53: Impacto ambiental del proyecto

Indicador	Nivel de impacto							Total
	-3	-2	-1	0	1	2	3	
Conservación del medio ambiente						X		2
Manejo apropiado de desechos generados							X	3
<b>Total</b>						2	3	5

En la tabla 53, se aprecia que la sumatoria del nivel de impacto en la presente matriz es 5, lo cual dividido para los 2 indicadores que componen dicha matriz nos da como resultado un impacto promedio de 2,5. Esto se traduce en un impacto Alto Positivo.

Dentro de los indicadores que componen el área ambiental se encuentra la conservación del medio ambiente, que posee un nivel de impacto de 2, debido a que el componente principal con el cual fue construido el proyecto es acrílico, y no se trata de un material biodegradable. Sin embargo, cabe señalar que éste, al igual que la mayoría de los demás componentes empleados en la fabricación del proyecto, son completamente reciclables y/o reutilizables. Esta característica se aplica también al siguiente indicador, pues en el Manejo de los Desechos Generados se puede apreciar que los únicos desechos presentes en la realización de nuestro proyecto fueron residuos de acrílico, acero o aluminio, los mismos que pueden recolectarse y aprovecharse de manera apropiada en futuras ocasiones.

### 6.3.4 Impacto general

Tabla 54: Impacto general del proyecto

Indicador	Nivel de impacto							Total
	-3	-2	-1	0	1	2	3	
Impacto Social						X		2
Impacto Económico					X			1
Impacto Ambiental							X	3
<b>Total</b>					<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>6</b>

La sumatoria de nivel de impacto de la tabla 6.10 es 6, lo cual representa un promedio de 2 tras dividirlo para el número de indicadores, que en este caso corresponde al total de áreas consideradas dentro del Análisis de Impacto. Dicho resultado se traduce como un nivel de impacto general Medio Positivo.

Esto implica que el proyecto será beneficioso tanto a nivel individual como colectivo pues contribuye al beneficio y progreso de varios sectores de la sociedad. Al hablar específicamente de las personas no videntes, es notable el beneficio que perciben al contar con un sistema automatizado de impresión en Braille que solventa varias necesidades cotidianas para personas que utilizan este sistema para comunicarse y expresarse.

## 6.4 Conclusiones y Recomendaciones

### 6.4.1 Conclusiones

- Se realizó la reingeniería integral del proyecto “Diseño e implementación de un sistema electrónico con interface a PC para automatizar una máquina de escribir Braille”, dirigido al mejoramiento de las falencias existentes y la incorporación de tecnología vanguardista.
- La cooperación interdepartamental en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE permite el desarrollo de sistemas más completos que aportan mayores beneficios a la sociedad, estrechando lazos de amistad y trabajo entre estudiantes.
- Mediante el conocimiento adquirido en cuanto a las normas y parámetros del alfabeto, lectura y escritura Braille, el estudiante está en la capacidad de diseñar e implementar sistemas mecatrónicos orientados hacia la inclusión de personas con discapacidad visual, mejorando así su calidad de vida.
- El correcto diseño y dimensionamiento de los componentes mecánicos del sistema permite corregir falencias existentes en sistemas anteriores y mejorar así características como portabilidad y durabilidad.
- La migración hacia la plataforma Arduino y sus correspondientes shields basados en hardware y software libres permite mejorar, en comparación con sistemas anteriores, características como comunicación controlador-

ordenador, velocidad de transmisión de datos, confiabilidad del sistema y facilidad de reproducción en futuras aplicaciones.

- La realización de prototipos mediante software CAD, como el presente proyecto, permite la fácil reproducción de los mismos a futuro con la utilización de herramientas CAM durante el proceso de producción, lo cual reflejará un decremento significativo de costos.
- La flexión existente al momento de funcionamiento del sistema de impresión se encuentra dentro de los parámetros de diseño, por lo cual se considera que los elementos elaborados en el presente proyecto se encuentran correctamente diseñados y son capaces de tolerar todas las cargas y esfuerzos bajo condiciones críticas. Al obtener una deformación máxima de 4 milímetros, se comprueba que el acrílico de 6 milímetros de espesor escogido soporta adecuadamente la carga ejercida.
- El uso de un actuador diferente en la tecla de mayor accionamiento al momento del funcionamiento del sistema de impresión permitió mejorar significativamente la frecuencia de tecleado, pues se redujo considerablemente el sobre calentamiento existente en el actuador previo.
- A pesar de que los resortes no fueron contemplados en el diseño inicial, fueron de gran ayuda para facilitar el vencimiento de inercia presente en el instante de arranque del tecleado.

#### **6.4.2 Recomendaciones**

- Para una mejor sujeción entre el tambor de giro de página y el servomotor acoplado al mismo, se recomienda implementar un mecanismo con un tornillo tipo prisionero y una pieza de acople, con la finalidad de evitar al máximo el deslizamiento entre dichos elementos.
- Con el fin de mejorar la eficiencia del sistema, se recomienda el uso de una fuente de mayor amperaje, o a su vez la utilización de dos fuentes del mismo tipo a la usada en el presente proyecto.
- Se recomienda el diseño e implementación de un sistema de refrigeración para los actuadores en accionamiento continuo durante largos periodos de tiempo para evitar su mal funcionamiento por sobrecalentamiento.
- Para la reproducción del presente sistema se recomienda utilizar elementos de calidad puesto que las imitaciones no garantizan durabilidad ni fiabilidad al momento de ensamble y funcionamiento del mismo.
- Con la finalidad de evitar el choque entre superficies duras, se recomienda la colocación de un sistema de amortiguación al final de las extensiones de los actuadores lineales fabricadas en aluminio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acebes, L. (2002). *Universidad de Valladolid*. Obtenido de Introducción a los sistemas de control: [http://www.isa.cie.uva.es/~felipe/docencia/ra12itielec/tema1\\_trasp.pdf](http://www.isa.cie.uva.es/~felipe/docencia/ra12itielec/tema1_trasp.pdf)
- ARDUINO. (2015). *Arduino*. Obtenido de <http://www.arduino.cc/es/pmwiki.php?n=>
- Braille Chile*. (3 de Noviembre de 2012). Obtenido de ¿Qué es el sistema Braille?: <http://sistemabrailleenchile.blogspot.com/2012/11/sistema-braille-definicion.html>
- Budynas, R., & J., N. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (Octava Edición)*. México D.F.: McGraw-Hill .
- Carletti, E. (s.f.). *Robots Argentina*. Obtenido de Servos - Características básicas: [http://robots-argentina.com.ar/MotorServo\\_basico.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorServo_basico.htm)
- Cooper, H. (2006). *Texas School for the Blind and Visually Impaired*. Obtenido de Una Breve Historia de los Sistemas de Escritura Táctil para Lectores con Ceguera e Discapacidades Visuales: <http://www.tsbvi.edu/seehear/spring06/history-span.htm>
- Espí, J., Camps, G., & Muñoz, J. (2006). *Fundamentos de electrónica analógica*. Valencia: Universitat de València.
- FENCE. (2014). *Federación Nacional de Ciegos del Ecuador*. Obtenido de [http://www.fenceec.org/antecedentes-\\_historicos.html](http://www.fenceec.org/antecedentes-_historicos.html)
- García, J. (Marzo de 2012). *Asifunciona*. Obtenido de Así funciona el motor de corriente directa o continua: [http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af\\_motor\\_cd/af\\_motor\\_cd\\_6.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_motor_cd/af_motor_cd_6.htm)
- Garduño, S. (2009). *Diseño de un reductor de velocidad de tornillo sinfin*. México: Instituto Politécnico Nacional UPA.
- Herrera, J. (Marzo de 2004). *Electro Industria*. Obtenido de Control Industrial: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=81>
- Iglesias, A. (18 de Febrero de 2013). *Slideshare*. Obtenido de Motores eléctricos de corriente alterna: <http://es.slideshare.net/aicvigo1973/motores-electricos-de-corriente-alterna>
- ITE. (01 de Febrero de 2012). *Instituto de Tecnologías Educativas*. Obtenido de Educación Inclusiva: Personas con discapacidad visual. Sistema Braille: [http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/129/cd/unidad\\_5/m5\\_sistema\\_braille.htm](http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/129/cd/unidad_5/m5_sistema_braille.htm)

- Jemo, J. (30 de Noviembre de 2010). *Tecnología y negocios*. Obtenido de Slideshare: <http://es.slideshare.net/joseeduard/flexion>
- MSP. (Septiembre de 2014). *Ministerio de Salud Pública*. Obtenido de [http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/11/registro\\_nacional\\_discapacidades.pdf](http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/11/registro_nacional_discapacidades.pdf)
- Muñoz, O. (25 de Julio de 2011). *Economía y Empresa*. Obtenido de Tipos de actuadores lineales y empresas especializadas: <http://economaiyempresa.over-blog.es/article-tipos-actuadores-lineales-empresas-especializadas-85910594.html>
- Noboa, A., & Noboa, D. (2014). *Diseño e implementación de un sistema electrónico con interface a PC para automatizar una máquina de escribir Braille*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- OMS. (2015). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de <http://www.who.int/topics/disabilities/es/>
- ONCE. (2015). *Organización Nacional de Ciegos Españoles*. Obtenido de <http://www.once.es/new/servicios-especializados-en-discapacidad-visual/braille>
- Pallás, R. (1993). *Adquisición y distribución de señales*. Barcelona: Cargraphics.
- Pulido, A. (2008). *Aprendemos tecnología*. Obtenido de Mecanismos de transmisión del movimiento: <http://aprendemostecnologia.org/maquinas-y-mecanismos/mecanismos-de-transmision-del-movimiento/>
- Reyes, F. (02 de Febrero de 2013). *Saberes y Ciencias*. Obtenido de Mecatrónica: <http://www.saberesyciencias.com.mx/sitio/component/content/article/10-portada/277-mecatronica>
- Sánchez, R. (2008). *Ingeniería de Máquinas*. Huelva: Universidad de Huelva.
- SKF. (2015). *Rodamientos*. Obtenido de Rodamientos: <http://www.skf.com/es/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html>

# APÉNDICES



# **A1: PLANOS MECÁNICOS**

# **A2: PLANOS ELÉCTRICOS**

# **A3: DIAGRAMA DE FLUJO**

# **A4: PROGRAMA DEL CONTROLADOR**

# **A5: MANUAL DE USUARIO**

# **A6: CATÁLOGOS Y DATASHEETS**