

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PUCP**

**SISTEMA MECATRÓNICO DE ESCANEADO E IMPRESIÓN  
PARA MUSICOGRAFÍA BRAILLE DE PIANO  
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL  
GRADO DE BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN  
INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTOR**

Igor Joseph Espinoza del Castillo

**ASESOR:**

Jhon Manuel Portella Delgado

Lima, Julio, 2020



## RESUMEN

La musicografía Braille es un sistema que utilizan las personas invidentes para aprender música, equivalente a las partituras en tinta para las personas con visión completa. En Perú, obtener una partitura en Braille es un proceso complicado, debido a que se requieren de softwares de pago, una computadora, un escáner y una impresora compatible costosa. Además, no existe un sistema que integre todos los pasos de obtención de partituras Braille. Por ello, se establece como objetivo principal de este trabajo de investigación el diseño conceptual de un sistema mecatrónico de escaneado e impresión para partituras Braille de piano.

La metodología empleada en el presente documento establece definir la problemática e investigar el estado de la tecnología respecto a la obtención de partituras Braille. Luego, definir una lista de requerimientos del sistema, abstraer el proceso en funciones, vincularlas y crear conceptos de solución. Con estos, se elige un ganador y se lo mejora. El concepto de solución óptimo final que se obtuvo se divide en los subsistemas de energía, de procesamiento y control, de actuadores y de sensores. Además, la parte mecánica se puede dividir en selección, transporte, impresión y dispensado de la hoja.

El diseño conceptual obtenido cuenta con un sistema de rodillos que permite el movimiento de papel en el proceso, y con sensores en cada etapa. También, utiliza un cabezal de punzonado que permite imprimir varios puntos de una celda Braille a la vez. Además, el microprocesador permite controlar el proceso, así como digitalizar y traducir la partitura escaneada. De esta manera, se cumple el objetivo inicial de plantear conceptualmente una solución para brindar mayor accesibilidad en la obtención de partituras a las personas con discapacidad visual.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	i
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
INTRODUCCIÓN .....	1
I. ANTECEDENTES .....	2
1.1 Problemática .....	2
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos .....	4
1.3 Alcance .....	5
II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Procedimiento de impresión de partituras Braille.....	6
2.2 Parámetros de medidas en Braille.....	9
2.3 Musicografía Braille .....	10
III. ESTADO DEL ARTE.....	13
3.1 Impresora y softwares comerciales.....	13
3.1.1 SHARPEYE: Software para la digitalización de partituras.....	13
3.1.2 GOODFEEL: Traductor de música en Braille.....	14
3.1.3 EVEREST-D V5: Impresora Braille.....	15
3.2 Mecanismos de impresión Braille.....	17
3.2.1 Mecanismo escritor de etiquetas Braille con solenoides .....	17
3.2.2 Cabezal de impresión de máquina para escribir Braille.....	17
3.2.3 Rueda de grabado para impresión Braille .....	18
3.2.4 Tinta en alto relieve .....	19
3.2.5 Mecanismo de transporte de papel.....	20
3.3 Sensores .....	22
3.3.1 Sensores en la impresión.....	22
3.3.2 Escáner .....	22

3.4	Métodos de interpretación de caracteres.....	23
3.4.1	Procesamiento de imágenes .....	23
3.4.2	Redes neuronales .....	24
IV.	DISEÑO CONCEPTUAL .....	25
4.1	Lista de exigencias .....	25
4.2	Estructura de funciones.....	28
4.2.1	Abstracción .....	28
4.2.2	Estructura de funciones por dominio .....	29
4.2.3	Diagrama de funciones .....	34
4.3	Matriz morfológica .....	35
4.4	Conceptos de solución .....	38
4.4.1	Primer concepto solución.....	38
4.4.2	Segundo concepto solución.....	40
4.4.3	Tercer concepto solución .....	42
4.5	Evaluación técnico-económica .....	43
4.5.1	Criterios y pesos de las soluciones.....	43
4.5.2	Elección de la solución ganadora.....	46
4.6	Descripción del concepto de solución óptimo .....	46
	CONCLUSIONES .....	49
	BIBLIOGRAFÍA .....	50
	A N E X O S .....	52
	Anexo A: Matriz morfológica con conexiones .....	52
A.1	Matriz del dominio mecánico .....	52
A.2	Matriz del subsistema de actuadores.....	53
A.3	Matriz del subsistema de sensores .....	55
A.4	Matriz del dominio de procesamiento y control .....	56
A.5	Matriz del subsistema de interfaz de usuario .....	57
A.6	Matriz del dominio de energía .....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1: Comparación de los procesos para una partitura simple.....	7
Tabla 4.1: Lista de exigencias .....	25
Tabla 4.2: Soluciones del dominio mecánico. ....	35
Tabla 4.3: Soluciones del subsistema de actuadores.....	35
Tabla 4.4: Soluciones del subsistema de sensores. ....	36
Tabla 4.5: Soluciones del dominio de procesamiento y control. ....	36
Tabla 4.6: Soluciones de la interfaz de usuario.....	37
Tabla 4.7: Soluciones del dominio de energía. ....	37
Tabla 4.8: Evaluación técnica .....	44
Tabla 4.9: Evaluación económica .....	45
Tabla A.1: Matriz con conexiones del dominio mecánico.....	52
Tabla A.2: Matriz con conexiones del subsistema de actuadores.....	53
Tabla A.3: Matriz con conexiones del subsistema de sensores .....	55
Tabla A.4: Matriz con conexiones del dominio de procesamiento y control.....	56
Tabla A.5: Matriz con conexiones de la interfaz de usuario.....	57
Tabla A.6: Matriz con conexiones del dominio de energía .....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1: Representación de musicografía Braille .....	3
Figura 2.1: Comparación de partituras en tinta y en braille.....	7
Figura 2.2: Etapas del proceso de impresión digital .....	8
Figura 2.3: Dimensiones en una celda Braille .....	9
Figura 2.4: Notas y figuras en Braille .....	10
Figura 2.5: Compases de espera.....	11
Figura 2.6: Representación de Do en los 7 compases.....	11
Figura 2.7: Claves en Braille.....	12
Figura 2.8: Alteraciones en Braille .....	12
Figura 2.9: Intervalos para acordes .....	12
Figura 3.1: Interfaz de Sharpeye con el archivo inicial y el procesado .....	14
Figura 3.2: Pantalla inicial de Goodfeel.....	15
Figura 3.3: Impresora Everest.....	16
Figura 3.4: Solenoides en impresora Braille.....	17
Figura 3.5: Mecanismo de escritura con actuador lineal.....	18
Figura 3.6: Rueda de forma y yunque para impresión.....	18
Figura 3.7: Mecanismo de rociado de tinta barniz.....	19
Figura 3.8: Tinta Samsung para impresión Braille .....	19
Figura 3.9: Mecanismo de selección de hoja .....	20
Figura 3.10: Transporte de hoja en HP LaserJet.....	21
Figura 3.11: Sensor detector de interrupción de papel.....	22

Figura 3.12: Epson Perfection V39 y Escáner planetario .....	23
Figura 3.13: Reconocimiento de notas por procesamiento de imágenes .....	23
Figura 3.14: Traducción de Braille usando redes neuronales .....	24
Figura 4.1: Black box.....	29
Figura 4.2: Funciones de interfaz de usuario .....	30
Figura 4.3: Funciones del dominio mecánico .....	30
Figura 4.4: Funciones del dominio de sensores .....	31
Figura 4.5: Funciones del bloque de actuadores .....	32
Figura 4.6: Funciones del dominio de Procesamiento y Control.....	33
Figura 4.7: Funciones del dominio de energía.....	33
Figura 4.8: Diagrama de funciones .....	34
Figura 4.9: Vista externa y cabezal de impresión de la solución 1 .....	39
Figura 4.10: Vista interna de la solución 1 .....	39
Figura 4.11: Vista externa de la solución 2.....	40
Figura 4.12: Vista interna de la solución 2 .....	41
Figura 4.13: Cabezal de impresión de la solución 2 .....	41
Figura 4.14: Vistas de la solución 3 .....	42
Figura 4.15: Gráfico de la evaluación técnico-económica.....	46
Figura 4.16: Vista isométrica del sistema .....	47
Figura 4.17: Selección, transporte, posicionamiento y dispensado del papel por rodillos .....	47
Figura 4.18: Movimiento del cabezal de punzonado .....	48
Figura 4.19: Cabezal de impresión/punzonado.....	48

## INTRODUCCIÓN

La musicografía Braille es un sistema que facilita el estudio de música a personas invidentes. Obtener partituras musicales en Braille es complicado, ya que se necesitan diversos softwares, una PC, un escáner y una impresora compatible. Además, no existe un sistema que integre el proceso de obtención. En el trabajo de investigación presentado, se detalla la problemática y se presenta el marco teórico de la musicografía. Asimismo, se explica el estado de la tecnología existente y se desarrolla el diseño conceptual de un sistema que solucione el problema.

En primer lugar, se describen los antecedentes al diseño de ingeniería en el capítulo uno. Esto incluye una explicación de la problemática, así como el objetivo general y los específicos que se deben cumplir en el trabajo de investigación. También, se describe el alcance del proyecto. En el capítulo dos, se presenta el marco teórico para explicar a detalle que es la musicografía y sus características, que influirán en el diseño del sistema. El capítulo tres muestra el estado de la tecnología existente en el tema, que sirve como base para evaluar los componentes con los que debe contar el sistema.

En segundo lugar, el diseño conceptual del sistema mecatrónico se realiza en el capítulo cuatro. Así, se define la lista de requerimientos y se separa al sistema en funciones. Con estas últimas, se realiza una matriz morfológica que permite el desarrollo de tres conceptos solución. A continuación, se comparan los conceptos con criterios técnicos y económicos para elegir el mejor y optimizarlo.

Finalmente, se establecen las conclusiones de realizar el presente trabajo de investigación sobre el sistema mecatrónico para musicografía Braille.

## CAPÍTULO 1

### ANTECEDENTES

A continuación, se explican los antecedentes para contextualizar la problemática del presente trabajo de investigación. Se incluyen diversas fuentes que validan la existencia del problema. También, se detallan los objetivos generales, objetivos específicos y el alcance.

#### 1.1 Problemática

La ceguera es una condición que afecta aproximadamente a 1300 millones de personas en el mundo, según estimaciones de la OMS (2018). Diversos sistemas y métodos fueron inventados durante la historia para permitir a esta población comunicarse. Específicamente, en la década de 1820, se inventó el sistema Braille para la inclusión de personas invidentes en la educación y mundo laboral. Este sistema provee un método de lectura y escritura que consiste en el uso de puntos de relieve distribuidos en una celda de 6 espacios para representar un carácter, usualmente letras o símbolos (Herrera, 2010, p. 1). Paralelamente fue inventado el sistema de musicografía Braille, como se muestra en la **figura 1.1**, para facilitarles el acceso a partituras musicales.



**Figura 1.1:** Representación de musicografía Braille.  
**Fuente:** La terapia del arte (Pastoriza & Martínez, 2015).

Según datos del INEI (2012, p. 9), el 5.2% de la población peruana (1 millón 575 mil 402 personas) presenta algún tipo de discapacidad. De estos, el 50.9% cuenta con limitación visual permanente (INEI, 2012, p. 55). A pesar de contar con el sistema Braille, solo una minoría decide proseguir con estudios superiores luego de terminar el colegio, considerando que el total de invidentes en el rango de edad apta para estudiar o trabajar es de 274 mil (INEI, 2012, pp. 46-47). Para explicarlo, se debe notar que el 3.7% de personas con discapacidad opina que la falta de infraestructura es el principal motivo por el que se les dificulta conseguir un trabajo, o proseguir una carrera (INEI, 2012, p.139). Este porcentaje incluye al total que considera que la falta de textos en Braille en sus especialidades es un motivo importante para dejar sus estudios.

El Estado Peruano, consciente de las necesidades de esta población, intenta brindar distintos recursos para la inclusión de invidentes en diversos centros de estudio y trabajos. Se realiza esto mediante la creación de distintas entidades dedicadas a esta labor. Un ejemplo importante es el Servicio de Apoyo y Asesoramiento a las Necesidades Educativas Especiales (SAANEE), que en coordinación con la Biblioteca Nacional del Perú, brinda textos en Braille y asesoramiento en su enseñanza, como se muestra en lo descrito por García (2018). A pesar de lo mencionado anteriormente, existen aún muchas limitaciones en esta tarea. Un ejemplo notable es el desconocimiento y falta de enseñanza de la musicografía

Braille. Actualmente, el proceso de obtención de una partitura Braille incluye escanear la partitura, aplicar un software OCR, corregir la partitura y modificar el formato de la impresora Braille para poder imprimir la partitura. Todo este proceso no brinda independencia a un usuario con ceguera al buscar imprimir una partitura. Asimismo, en Perú, no se cuenta con equipos que permitan realizar todo el proceso de obtener partituras en Braille por el alto costo que esto generaría. Se detalla mejor la musicografía y la obtención de partituras Braille en el siguiente capítulo de marco teórico.

Con lo expuesto anteriormente, se evidencia la necesidad de un dispositivo que integre el proceso de obtención de partituras Braille de una forma sencilla para los usuarios con ceguera. De esta manera, se busca plantear la solución de diseño conceptual de una máquina de escaneado e impresión que permita escanear una partitura y reconocer los caracteres, para luego imprimirla sin necesidad de que el usuario con ceguera ni el operario deban tener conocimientos del software de transcripción. Por ende, se posibilitaría una mayor facilidad en el aprendizaje de música por personas invidentes, ya que la obtención del material necesario no sería un proceso complicado. Así, se vuelve posible que entidades del estado como institutos de música cuenten con este dispositivo.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

La presente investigación establece como objetivo principal diseñar conceptualmente una máquina mecatrónica que permita escanear partituras musicales para piano en tinta y su posterior impresión en el sistema de musicografía Braille.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

A continuación se detallan los objetivos específicos que se deben cumplir para llegar al objetivo general, basados en la metodología VDI2206.

- Identificar las necesidades de las personas con discapacidad visual en el aprendizaje de música para definir la problemática que puede resolver el sistema.
- Investigar y evaluar el estado de la tecnología relacionada con impresoras Braille y software de reconocimiento de partituras musicales.
- Definir los requerimientos técnicos que debe cumplir el sistema en cada área de la mecatrónica, incluyendo el proceso de escaneado y el de impresión.
- Realizar los conceptos de solución de los dominios mecánico, electrónico y de control cumpliendo los requerimientos establecidos.
- Elegir el concepto de solución óptimo integrado mediante una evaluación técnico-económica.

### **1.3 Alcance**

El documento de investigación abarcará el diseño conceptual y elección de un diseño de solución óptimo del sistema mecatrónico de obtención de partituras Braille, pero no el diseño completo de este. Por ende, no se obtendrán datos reales, sino simulados. La máquina a diseñar se enfoca en resolver el problema de la falta de un solo equipo que realice el proceso completo de obtención de partituras, mas no en la enseñanza de la musicografía Braille. Además, las partituras a procesar en la máquina solo podrían contener notas musicales básicas en diferentes compases, claves, alteraciones e intervalos para acordes, mas no matices, trémolos ni adornos. Por ende, solo dichos signos serán explicados en el marco teórico. En otras palabras, partituras de alta dificultad no son el objetivo de este proyecto.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

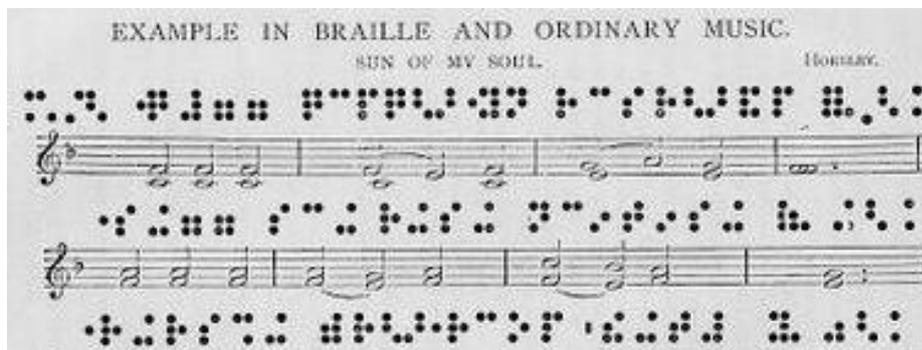
A continuación se presenta información relevante para el desarrollo de la investigación. Esto incluye el proceso de obtención actual de partituras musicales en Braille, las medidas normalizadas de una celda braille y un breve resumen de la musicografía braille.

#### 2.1 Procedimiento de impresión de partituras Braille

La musicografía Braille fue inventada poco después del sistema Braille debido a la necesidad de plasmar partituras de música de tinta en braille para su uso por músicos que hayan perdido la visión, o invidentes de nacimiento que deseen aprender música. El sistema es definido por Ángela Pino (2014) como “una combinación de puntos que, en este caso, traduce unos signos musicales, de modo que puedan ser leídos e interpretados por personas con discapacidad visual”. La **figura 2.1** muestra una comparación de partitura musical en ambas versiones.

En la actualidad, existen dos opciones para obtener una partitura en Braille en nuestro país. La primera es escribirla a mano con punzón y tableta. Esto requiere de una persona no invidente que cuente con conocimientos de música y musicografía Braille, así como habilidad para el uso del sistema de escritura. Bajo este método, el

tiempo de realización es extenso (semanas por una partitura) y el costo elevado por no contar con profesores que cumplan los requisitos, como comenta Gotoh (2008).



**Figura 2.1:** Comparación de partituras en tinta y en braille.  
**Fuente:** Radio Francia Internacional (Piña, 2015)

La segunda opción es la transformación de una partitura en tinta a medios digitales mediante el uso de algún software de reconocimiento óptico de caracteres. Para esto, se necesita un proceso de corrección intermedio en el que un profesor de música complete los signos que no fueron reconocidos por el software. Posteriormente, se debe transformar lo obtenido a otro lenguaje apto para la impresión en braille. Luego de esto, se debe acudir a una de las entidades que cuentan con máquinas de impresión. No obstante, al ser un formato diferente, el operario de impresión debe contar con nociones básicas de musicografía para configurar la impresora y entregar el trabajo final. Todo este proceso es complicado para una persona invidente, ya que no brinda independencia en la impresión de partituras que se necesitan constantemente en cursos de música. Se debe considerar también que durante el aprendizaje de música, las partituras de baja dificultad no necesitan correcciones, ya que el software puede detectar correctamente los símbolos. En la **tabla 2.1** se muestra una comparación de ambos procesos.

**Tabla 2.1:** Comparación de los procesos para una partitura simple.

Característica	Escritura a mano	Uso de software e impresora
Costo (depende del profesor)	Muy Alto	Medio (costo por corrección)
Tiempo de preparación	7 días	2-3 días (disponibilidad de impresora)
Calidad de la partitura	Muy Alta	Media
Dificultad del proceso	Media	Alta

**Fuentes:** Elaborado a partir de Piña (2015), Pino (2014) y Gotoh (2008).

Por un lado, Adriano Chaves y Peter Godall (2012) consideran que “dependiendo de la complejidad de la partitura, hay más de una manera de transcribir un pasaje musical. Además, la transcripción literal genera demasiados signos que se pueden ahorrar mediante el uso de signos específicos de repeticiones”. Por ello, los diversos software existentes deberían tomar una decisión al momento de transcribirse en Braille. Sin embargo, puesto que el software no siempre realiza la mejor elección para la representación, esta se suele volver más legible con la corrección de un profesor especializado en el tema. Por otro lado, la profesora Ángela Pino (2014) considera que el profesor que brinde la enseñanza musical no debe necesariamente poseer conocimientos de Braille, ya que este solo es un método de lectura de la música, mas no debe afectar la relación profesor alumno que se daría comúnmente de la misma manera que con la de un alumno no invidente. En la **figura 2.2** se visualiza el proceso de manera más clara.

1. Escanear y usar software de reconocimiento de caracteres.



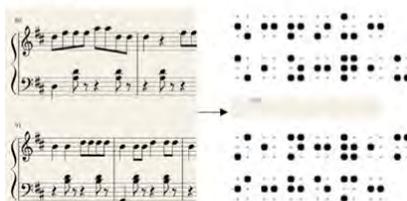
Operario: No especializado. Escaneo simple.

2. Comparar y corregir símbolos no reconocidos por el software.



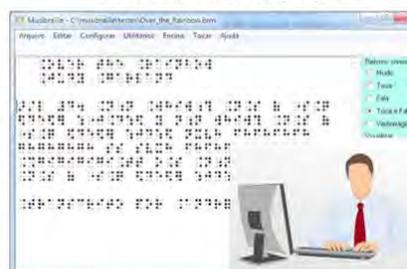
Operario: Profesor de música

3. Traducción literal “símbolo a símbolo” de notación musical a musicografía Braille.



Operario: No especializado.

4. Agregar signos de repetición para un resultado más corto y legible.



Operario: Muy especializado. Profesor con conocimientos avanzados de Braille.

5. Impresión en máquina de Braille configurada al formato

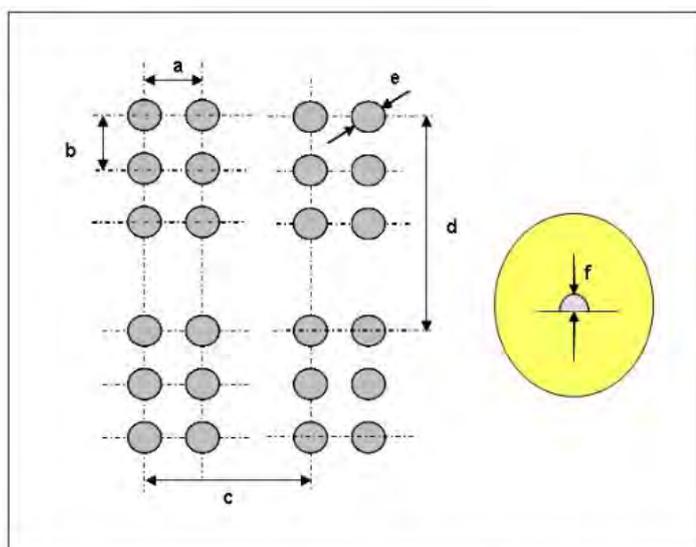


Operario: No especializado.

**Figura 2.2:** Etapas del proceso de impresión digital  
Fuente: Elaboración propia

## 2.2 Parámetros de medidas en Braille

Las distancias de una celda en Braille están normadas para su correcta lectura. Una celda grande puede no abarcar la yema del dedo, y una pequeña no permitir distinguir el símbolo. En la **figura 2.3**, se muestran las distancias normalizadas por la Organización Nacional de Ciegos de España (ONCE).



- a** = Distancia horizontal entre los centros de puntos contiguos de la misma celda: de 2,5 a 2,6 mm.
- b** = Distancia vertical entre los centros de puntos contiguos de la misma celda: de 2,5 a 2,6 mm.
- c** = Distancia entre los centros de puntos en idéntica posición en celdas contiguas: de 6,0 a 6,1 mm.
- d** = Distancia entre los centros de puntos en idéntica posición en líneas contiguas: de 10,0 a 10,8 mm.
- e** = Diámetro de la base de los puntos: entre 1,2 y 1,5 mm.
- f** = Altura del relieve de los puntos: de 0,50 mm a 0,65 mm.

**Figura 2.3:** Dimensiones en una celda Braille

**Fuente:** ONCE (2006, p. 13)

Para el punzonado a mano, se utiliza un punzón junto a una regleta con agujeros. Esta última debe tener las medidas normalizadas de los puntos. En impresoras Braille comerciales, como Everest (2018), se cuenta con una regleta/pauta de aluminio o plástico para servir de guía a los punzones. Sin esta, el punzón podría traspasar el papel malogrando la impresión.

### 2.3 Musicografía Braille

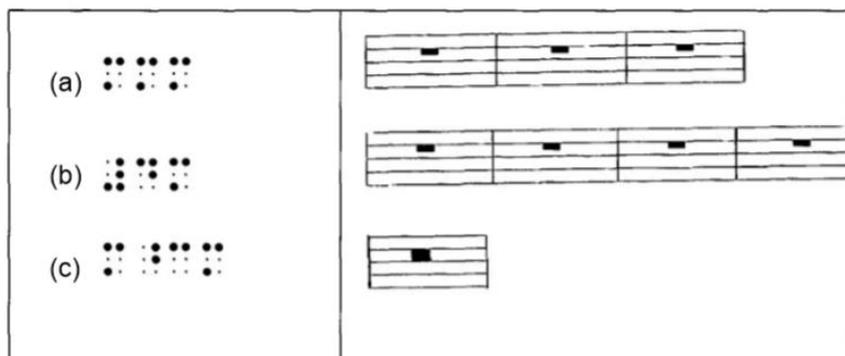
En la música, un compás es la manera de dividir en tiempos iguales la partitura. Cada compás está compuesto básicamente por notas musicales o silencios. Además, cada nota musical debe tener un tiempo de duración establecido en relación a la duración del compás. Así, las notas musicales se representan en Braille mediante el uso de los 4 puntos superiores en una celda Braille. Los 2 inferiores brindan información de la figura (blanca, negra, etc.) para esa nota. Sin embargo, cuando el valor de una nota no es entendible en un compás, se añaden símbolos especiales de acuerdo al caso, mostrados en la **figura 2.4**.

Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Silencio	
								Redondas y Semicorcheas
								Blancas y Fusas
								Negras y Semifusas
								Corcheas y Garrapateas
								Valores mayores (redonda, blanca, negra y corchea)
								Valores menores (semicorchea, fusa, semifusa y garrapatea)
								Separación de valores representados por el mismo grupo de signos (redondas y semicorcheas, etc.)

**Figura 2.4:** Notas y figuras en Braille

Fuente: ONCE (2001, p. 7)

Cuando ninguna nota debe ser reproducida durante un compás, se le denomina compás de espera. En musicografía Braille, estos se dividen en tres. Hasta los 3 compases de espera se utiliza la representación en (a) de la **figura 2.5**. Cuando se tienen de 4 a más de espera consecutivos, se utiliza la notación en (b). Y, en caso de que la partitura en tinta indique un silencio de cuadrada, se usan los símbolos en (c).



**Figura 2.5:** Compases de espera  
**Fuente:** ONCE (2001, p. 9)

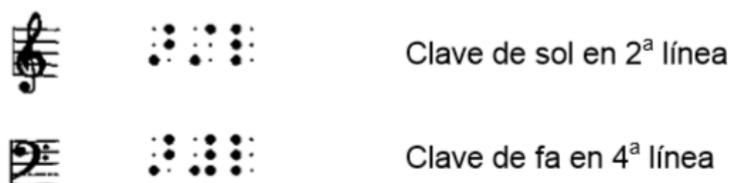
El pentagrama en partituras en tinta muestra la octava en la que se encuentra una nota. Las octavas están numeradas del 1 al 7 desde la nota más grave de piano hasta la más aguda. En musicografía Braille, las notas deben contener un indicador de la octava a la que pertenecen, ya que no se cuenta con un pentagrama. En la **figura 2.6** se aprecia la nota Do en los distintos compases. El uso de esta numeración de octava está condicionado a las reglas:

- (a) En una progresión melódica, no se indica la octava en la segunda de dos notas consecutivas si ésta forma, con relación a la primera, un intervalo menor que el de cuarta.
- (b) En los intervalos de cuarta y quinta se indica la octava sólo cuando la segunda nota pertenece a octava distinta de la primera.
- (c) Se indica siempre la octava en un salto de sexta o séptima, (o por supuesto mayor) aun cuando la segunda nota pertenezca a la misma octava que la primera. (ONCE, 2001, p. 10).



**Figura 2.6:** Representación de Do en los 7 compases  
**Fuente:** ONCE (2001, p. 10)

En una partitura impresa en tinta, se utilizan las claves al inicio de cada línea en un pentagrama. Sin embargo, en Braille esto no es necesario ya que no se utiliza el pentagrama. Dichos símbolos solo son usados al inicio de la partitura o cuando ocurre un cambio de clave. Es decir, cuando las notas representadas equivalen a la otra mano en piano. La **figura 2.7** muestra las claves en musicografía Braille.



**Figura 2.7:** Claves en Braille  
**Fuente:** ONCE (2001, p. 12)

Las alteraciones son elementos usados en la música para “alterar” el sonido de las notas, ya sea haciéndolas más agudas o más graves. En musicografía Braille, estas se representan directamente antes de la nota musical, o del signo de octava en caso lo tuviera. Los símbolos usados se muestran en la **figura 2.8**.

	Sostenido		Bemol
	Doble sostenido		Doble bemol
	Becuadro		
			Alteración por encima o por debajo de la nota

**Figura 2.8:** Alteraciones en Braille  
**Fuente:** ONCE (2001, p. 15)

Con respecto a los acordes en musicografía Braille, los compuestos por notas del mismo valor se representan mediante la escritura de la nota más aguda o más grave de forma simple, y el resto de notas se escribe con los signos de intervalos correspondientes. En la **figura 2.9**, se muestran los signos que representan estos intervalos.

	Segunda		Sexta
	Tercera		Séptima
	Cuarta		Octava
	Quinta		

**Figura 2.9:** Intervalos para acordes  
**Fuente:** ONCE (2001, p. 22)

## **CAPÍTULO 3**

### **ESTADO DEL ARTE**

En este capítulo, se muestran algunos productos comerciales usados para la impresión de partituras Braille. También, se analizan componentes de cada subsistema que se podrían utilizar en una máquina de escáner e impresión Braille, con el propósito de formar una base para el diseño conceptual.

#### **3.1 Impresora y software comerciales**

##### **3.1.1 SHARPEYE: Software para la digitalización de partituras**

SharpEye se basa en el principio del software de reconocimiento de caracteres (OCR) para digitalizar partituras musicales. Transforma archivos escaneados de música en archivos con formato .MIDI que pueden ser corregidos en una etapa posterior, debido a que muchas veces el software no reconoce caracteres del texto musical. La última versión cuenta con un software adicional para la corrección. El costo de este software es de 169 dólares. Otros OCR de libre uso también están disponibles en línea, aunque el resultado de su digitalización es menos preciso. Por ende, se necesita mayor esfuerzo en el proceso de corrección.

Existen diversos softwares similares a SharpEye. Entre ellos se encuentran CapellaScan, SmartScore, Audiveris, entre otros. SmartScore lleva más tiempo en el mercado (desde 1960) a un costo de 50 a 400 dólares de acuerdo al grado de exactitud requerida, mientras que Audiveris tiene la ventaja de ser un software libre. En la **figura 3.1** se aprecia la interfaz de Sharpeye. Para el alcance de la presente investigación, los softwares de uso libre son capaces de detectar correctamente la partitura en tinta siempre y cuando esta sea legible.



**Figura 3.1:** Interfaz de SharpEye con el archivo inicial y el procesado  
Fuente: Widmer (2010).

### 3.1.2 GOODFEEL: Traductor de música en Braille

El software consiste en un editor musical que brinda la opción de transformar partituras digitales a su representación en Braille y descargarlas para su posterior impresión. También, permite la edición del archivo Braille a través de la interfaz, así como un reproductor musical de la partitura y lector de voz. Es decir, al ingresar un archivo musical, este se transforma a Braille para su edición o impresión. La **figura 3.2** muestra la pantalla inicial del software.

Goodfeel está integrado con el software Lime, que permite la corrección de errores en la partitura digitalizada. Se necesitan los programas SharpEye (para el escaneado), Lime y Goodfeel para la transformación de una partitura impresa a un archivo digital

en Braille. Este proceso incluye dos etapas de corrección, y como resultado final un archivo que puede ser reproducido musicalmente. A continuación, se listan algunas características de este software.

- La última versión funciona en ordenadores con Windows 10 o versiones anteriores.
- Los archivos ingresados deben ser de formato .MIDI o .LIM.
- Posibilidad de escribir una partitura nueva directamente en el editor.
- Síntesis de voz para la lectura de pantalla.
- Costo de 1595 dólares en los Estados Unidos.



**Figura 3.2:** Pantalla inicial de Goodfeel  
**Fuente:** Goodfeel (2018).

Softwares similares son explicados por Chaves y Godall (2012), que se mencionan a continuación. Primero, Musibraille permite ingresar los caracteres con el teclado del ordenador y escuchar la partitura, mientras que BME permite además partituras con varios instrumentos. Segundo, Free Dots y Tocatta son softwares para la traducción, aunque su enfoque es dirigido a la creación y edición de piezas musicales. Y, por último, el software BrailleMuse recibe archivos del tipo MusicXML subidos a su web y los transforma a un archivo .txt para su impresión en Braille.

### 3.1.3 EVEREST-D V5: Impresora Braille

Luego de contar con un archivo digital de musicografía Braille, esta se debe imprimir para su lectura por usuarios invidentes. Usualmente, la impresión se realiza en

máquinas comerciales que fueron adquiridas por algún establecimiento con la intención original de imprimir textos. Everest-D es la impresora más usada para este rubro. Su software permite configurarla para la impresión en distintos formatos. A continuación, se listan algunas de sus especificaciones. La **figura 3.3** muestra la impresora.

- Impresión en una o dos caras.
- Uso en sistemas operativos Linux, Windows o Mac.
- Conexión por WiFi, USB o Bluetooth.
- Impresión: insertando directamente cable-USB, o de archivos mediante el software descargado en un ordenador.
- Alimentación con voltaje 100-240 V AC.
- Dimensiones: 56.3 x 17.5 x 43.3 cm
- Precio: Aproximadamente 4200 euros.



**Figura 3.3:** Impresora Everest  
**Fuente:** Index Everest-D V5 (2018).

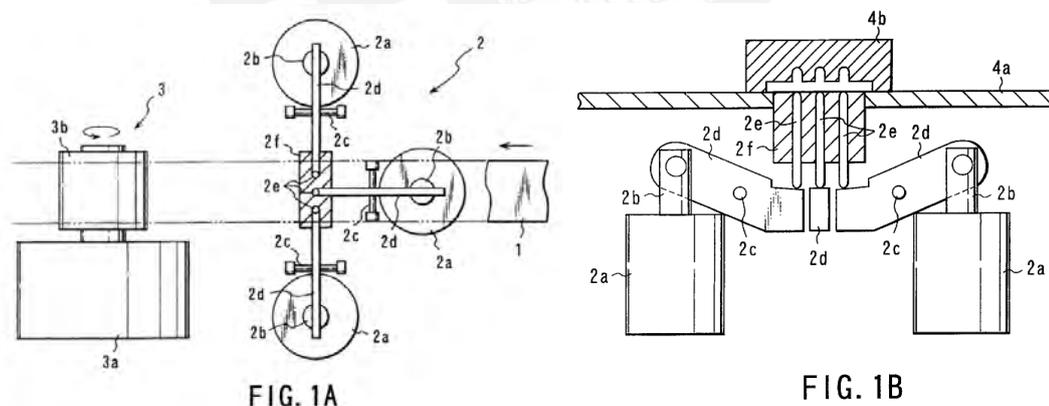
Su gran versatilidad y características mostradas anteriormente le brindan una gran ventaja respecto a otras impresoras. Sin embargo, su variedad de ámbitos de aplicación genera un alto costo, que no permite que institutos de música o independientes puedan obtenerla. Es decir, el precio es demasiado elevado considerando que solo se desea realizar impresión de partituras.

## 3.2 Mecanismos de impresión Braille

### 3.2.1 Mecanismo escritor de etiquetas Braille con solenoides

El solenoide es un actuador con movimiento lineal basado en el principio de electromagnetismo. Este permite realizar el punzonado en algunos diseños de impresoras braille. En la patente US6086273, mostrada en la **figura 3.4**, se diseñó una impresora de etiquetas (tiras largas de papel). Cuenta con solenoides y sus respectivos acoples para la impresión de media celda braille. Por otro lado, el papel cambia de posición por el giro de un rodillo de caucho a la izquierda, accionado por un motor paso a paso.

El diseño es útil para impresiones en una sola línea. Sin embargo, la posición del segundo solenoide no permitiría colocar otros pines consecutivos horizontalmente. Y, también se debe tomar en cuenta que en este modelo los solenoides son estacionarios, mientras que en la impresión de varias líneas se necesita mover el papel verticalmente y los solenoides de forma horizontal.

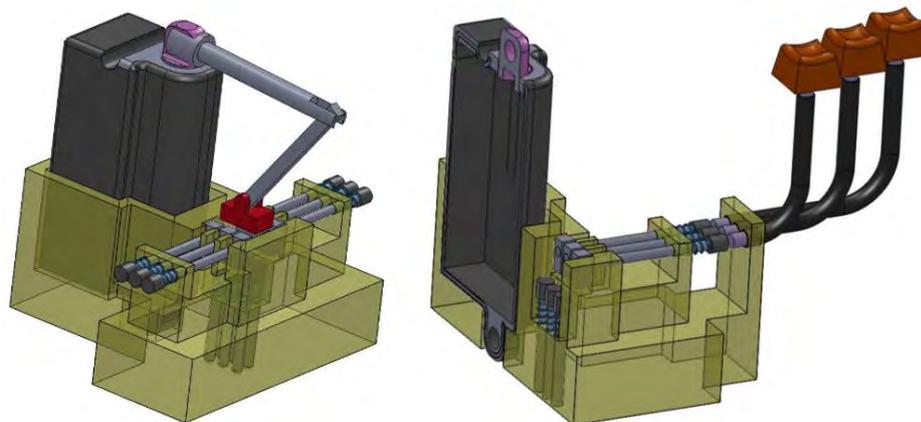


**Figura 3.4:** Solenoides en impresora Braille  
Fuente: Japan Patent N° 6086273 (2000).

### 3.2.2 Cabezal de impresión de máquina para escribir Braille

Las máquinas de escribir Braille poseen 6 botones representando los 6 puntos de una celda. En el diseño mostrado en la **figura 3.5**, al presionar los botones se empujan cilindros que permiten la impresión de los puntos seleccionados al activar el movimiento de punzonado. Lo rescatable del mecanismo es que, a diferencia del

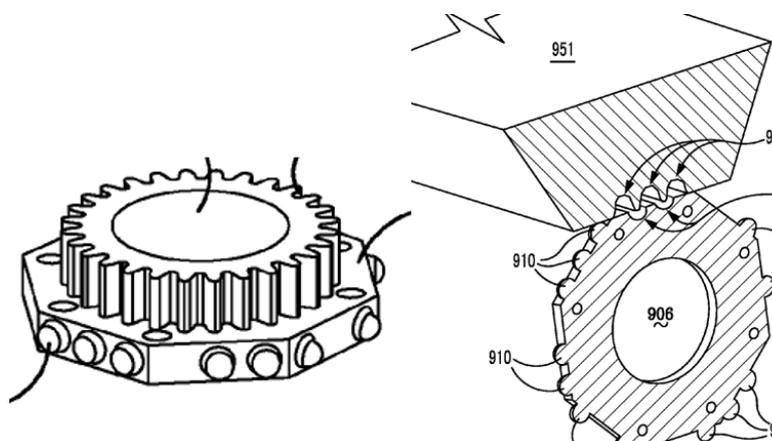
resto de máquinas que utilizan solenoides, esta utiliza un actuador lineal pequeño con menos potencia requerida. La desventaja es que aún se necesitarían actuadores para empujar los 6 cilindros en la impresión.



**Figura 3.5:** Mecanismo de escritura con actuador lineal  
Fuente: Ouellette (2011).

### 3.2.3 Rueda de grabado para impresión Braille

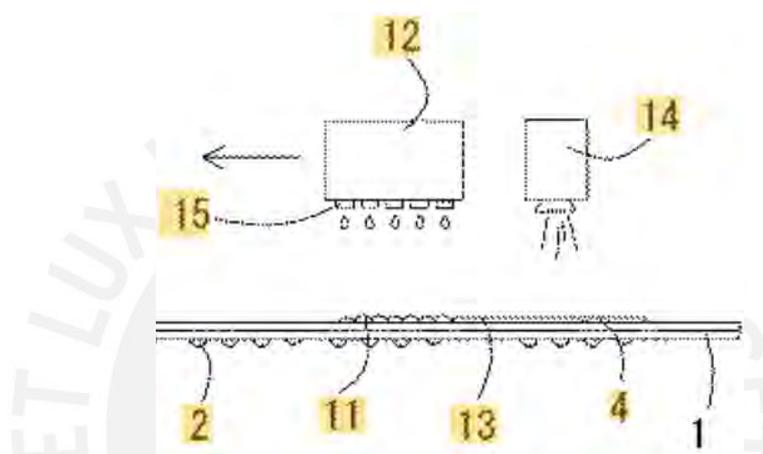
Esta patente propone el uso de una rueda, mostrada en la **figura 3.6**, con las 8 posibles combinaciones de la mitad de una celda Braille. El papel se ubica en el medio del yunque y la rueda para que uno de estos componentes realice la impresión al ser presionado contra el otro. Además, el yunque debe contar con tres ranuras para permitir el grabado. La ventaja del diseño es que aumenta la velocidad y calidad de la impresión. Sin embargo, el continuo golpe de la rueda podría fracturarla, por lo que su diseño evaluando la resistencia y fatiga es crítico.



**Figura 3.6:** Rueda de forma y yunque para impresión  
Fuente: US Patent N° 20120304875A1 (2012).

### 3.2.4 Tinta en alto relieve

Otro método para la impresión es formar alto relieve en el papel con otro material adherido a este. La marca Roland de impresoras creó la tecnología VersaUV LEF, que permite el uso de tinta barniz para la impresión Braille. El mecanismo cuenta con un cabezal que aplica el material y un emisor de luz UV que lo seca pegándolo al papel, como se muestra en la **figura 3.7**. La desventaja de la tinta barniz es que, para grandes producciones, contamina el medio ambiente; y, al desgastarse se afila dañando el tacto del usuario.



**Figura 3.7:** Mecanismo de rociado de tinta barniz  
**Fuente:** Japan Patent N° 2015025884A (2015)

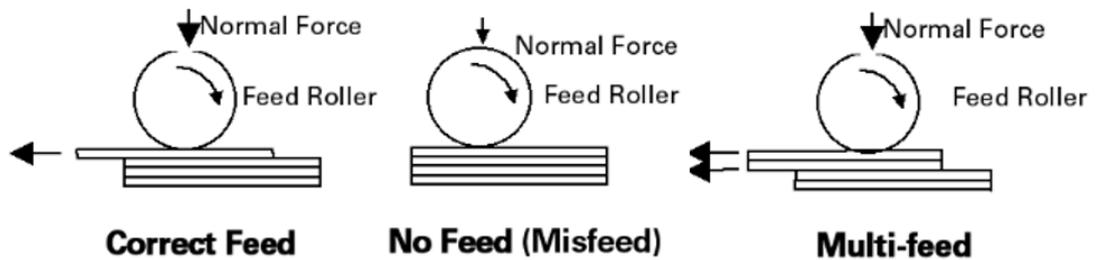
Otra opción es el uso de la tinta de relieve de Samsung, mostrada en la **figura 3.8**. Bajo la idea de poder imprimir Braille en cualquier impresora, desarrollaron el producto “Touchable Ink”. La tecnología fue publicada en 2016, ganando diversos premios, pero no ha sido comercializada hasta la fecha.



**Figura 3.8:** Tinta Samsung para impresión Braille  
**Fuente:** Thompson (2016)

### 3.2.5 Mecanismo de transporte de papel

Para el transporte de papel en distancias determinadas se utiliza un rodillo accionado por un motor paso a paso. En impresoras Braille caseras se alimenta el papel hoja por hoja de forma manual, por lo que no son necesarios componentes extra. La desventaja de utilizar este sistema en la selección de una hoja automáticamente es que puede alimentar dos hojas a la vez o no alimentar ninguna por la fricción, como se muestra en la **figura 3.9**.



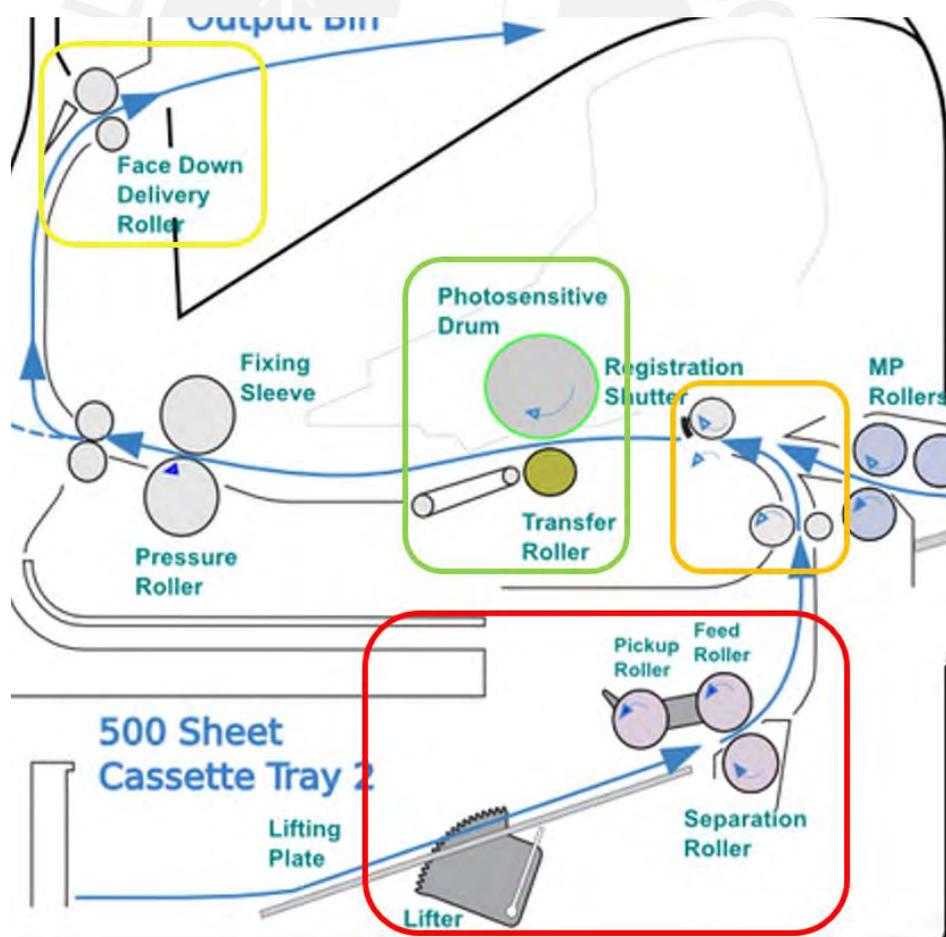
**Figura 3.9:** Mecanismo de selección de hoja  
Fuente: Billings (2015)

Para evitar el problema de mala alimentación, se utiliza un sistema más sofisticado de rodillos. En la **figura 3.10**, se muestra el sistema de transporte para una impresora a tinta HP LaserJet. El papel ingresa por la parte inferior pasando por los cuadrantes, explicados a continuación.

- Cuadrante rojo: La etapa de selección de una hoja empieza con un actuador que alza las hojas hacia los rodillos. Esto es utilizado en modelos con la alimentación ubicada en la parte inferior. Luego, el pickup roller (rodillo de selección) dirige las hojas superiores hacia el feed roller (rodillo de alimentación) y el separation roller (el rodillo de separación). El primero se encarga de dirigir la hoja superior y el segundo de regresar el exceso de hojas.
- Cuadrante naranja: Los rodillos de transporte que sirven de apoyo para dirigir el papel hacia la siguiente etapa. Estos rodillos pueden ubicarse en distintas posiciones de acuerdo al modelo, pero siempre se encuentran después de la selección y antes del dispensado.

- Cuadrante verde: Es la parte encargada de la impresión en tinta. En este modelo, el rodillo de tambor cumple la función de dirigir el papel a cierta velocidad para la correcta impresión mientras arroja la tinta. Es accionado por un motor paso a paso con un mínimo step angle. En impresoras Braille, este tambor es reemplazado por uno del mismo material que el resto de rodillos.
- Cuadrante amarillo: Son los rodillos de dispensado que se colocan para garantizar la salida completa de la hoja al final de la impresión hacia la bandeja. En algunos modelos pequeños, solo se utiliza el rodillo de impresión para dispensar la hoja.

Otros diseños de impresoras cuentan con un sistema similar. Estas solo varían en la disposición de los rodillos, o en que algunos rodillos pueden cumplir doble función. Por ejemplo, existen modelos donde las secciones de selección y transporte utilizan el mismo par de rodillos



**Figura 3.10:** Transporte de hoja en HP LaserJet  
Fuente: Johnson (2017)

### 3.3 Sensores

#### 3.3.1 Sensores en la impresión

A continuación se listan algunos de los sensores comúnmente usados en impresoras sin detallar en su funcionamiento. Para detectar la ubicación del papel, se colocan sensores ópticos a lo largo del camino. Usualmente se colocan al inicio del movimiento del papel, justo antes de la impresión, justo después de la impresión, justo antes de la salida y en la salida. También, se pueden utilizar sensores de contacto en los almacenes de entrada y salida. Asimismo, se suelen colocar sensores mecánicos en las tapas para apagar el sistema cuando se abren.

Para controlar el movimiento del cabezal de impresión en impresoras matriz de punto se utilizan sensores de posición. Además, el movimiento del papel se controla de acuerdo a la posición del motor paso a paso con un encoder.



**Figura 3.11:** Sensor detector de interrupción de papel  
**Fuente:** Contreni (2018)

#### 3.3.2 Escáner

Para poder realizar la digitalización del documento, se debe contar con un escáner o cámara fotográfica. En el caso de partituras, se recomienda escáneres con 300 a 600 dpi (píxeles por pulgada). La primera opción es el uso de un escáner de mesa que pueda transmitir el archivo vía USB a una computadora, como se muestra en la parte izquierda de la **figura 3.12**. La ventaja de este modelo es que se puede integrar fácilmente a un proyecto que incluye escaneado.

La segunda opción es el uso de una cámara fotográfica con las características necesarias. Para esto se necesita un portadocumentos, una cámara e iluminación. La desventaja de esta opción es que se necesita iluminación externa que se debe ajustar al sistema. Y, tiene la ventaja de poder elegir de una variedad de cámaras a menor

precio que un escáner de mesa. Asimismo, se puede encontrar sistemas integrados de cámaras e iluminación, como se muestra en la parte derecha de la **figura 3.12**, pero a mayor costo.



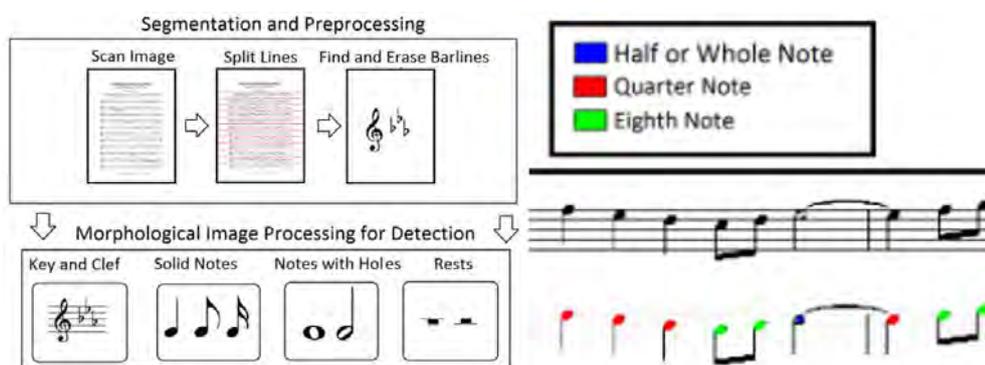
**Figura 3.12:** Epson Perfection V39 y Escáner planetario  
Fuente: Amazon

### 3.4 Métodos de interpretación de caracteres

#### 3.4.1 Procesamiento de imágenes

Para poder reconocer los símbolos de una partitura escaneada y digitalizarlos, es posible utilizar técnicas de procesamiento de imágenes. Técnicas como la segmentación, rotación, comparación y filtros permiten ubicar las notas musicales. Este método es usado en los softwares comerciales presentados anteriormente.

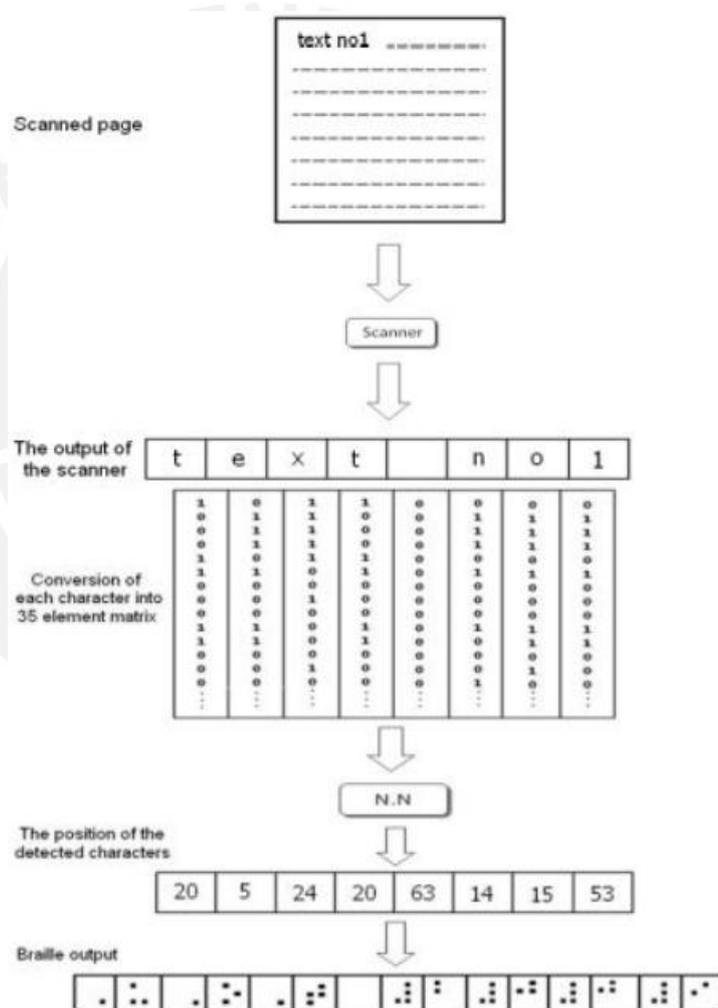
Para la presente investigación, la digitalización obtenida por este método debe ser luego traducida a Braille mediante un algoritmo. La programación de este reconocimiento de caracteres se puede realizar hasta el alcance en dificultad de la partitura establecido. En la **figura 3.13**, se muestra una opción de pasos para reconocer las notas musicales.



**Figura 3.13:** Reconocimiento de notas por procesamiento de imágenes  
Fuente: Harris (2015)

### 3.4.2 Redes neuronales

Las redes neuronales artificiales son modelos matemáticos que se pueden entrenar para poder brindar un resultado a partir de ciertas entradas. En la **figura 3.14**, se muestra la conversión de una hoja de texto escaneada a Braille mediante el uso de esta tecnología. Esto se podría extrapolar para el uso de redes en partituras musicales. Así, se podría obtener una función que permita integrar el OCR con la traducción en un solo paso. La dificultad de esta opción yace en determinar los parámetros y pesos adecuados para este caso, al no contar con una base de datos amplia de traducción braille con su documento escaneado para entrenar la red.



**Figura 3.14:** Traducción de Braille usando redes neuronales

**Fuente:** Hassan (2011)

## CAPÍTULO 4

### DISEÑO CONCEPTUAL

En este capítulo, se establece una lista de requisitos con los que debe contar el sistema, la estructura de funciones, la matriz morfológica y los conceptos solución obtenidos. Con esto, se elige un concepto ganador que se mejora para elaborar uno óptimo.

#### 4.1 Lista de exigencias

**Tabla 4.1:** Lista de exigencias.

<b>LISTA DE REQUERIMIENTOS</b>		
<b>PROYECTO:</b>	Sistema mecatrónico de escaneado e impresión para musicografía Braille de piano	<b>Fecha:</b> 01/10/2019
<b>UNIVERSIDAD:</b>	<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b>	<b>Revisado:</b> Msc. Jhon Portella
<b>Categoría</b>	<b>Descripción</b>	<b>Elaborado:</b> Igor Espinoza
Función principal	Convertir partituras impresas para piano a musicografía Braille.	
Geometría	Las dimensiones máximas son 0.9 m de largo, 0.9 m de ancho y 0.6 m de alto. Las medidas de los componentes deben ser en base a una hoja A4 regida por la norma DIN476.	

Materia	Ingreso: La hoja a escanear y las hojas A4 de 120 gramos donde se realizara la impresión. Salida: Las hojas A4 con la partitura impresa en Braille ordenadas para su pronta compaginación.	
Capacidad	Las hojas del almacén serán dispensadas a la impresión de forma continua para agilizar el proceso. Y, el tiempo de impresión de una hoja Braille debe ser menor o igual a 30 minutos.	
Cinemática	El cabezal de impresión debe presentar un movimiento horizontal en el papel a una velocidad adecuada para cumplir con el tiempo de producción máximo de una hoja.	
Carga	La máquina no debe superar los 20kg de masa.	
Fuerzas	La fuerza aplicada para formar los puntos no debe ocasionar agujeros en el papel. Esta fuerza es de 7,84 N para hojas de 120 gr. La estabilidad y resistencia de los componentes debe estar asegurada, de tal manera de que no ocurran fallos.	
Energía	La energía eléctrica de entrada es proporcionada por alimentación de 220VAC.	
Control	Se debe aplicar control en la posición del cabezal de impresión, y en el componente encargado de posicionar la hoja, ya que el movimiento de un punto varía completamente el resultado.	
Actuadores	Se debe contar con actuadores encargados de la selección y movimiento de la hoja, del punzonado, y del movimiento del cabezal de impresión.	
Sensores	Se debe contar con sensores para la detección de papel durante el proceso, sensores para la posición del cabezal, y un escáner.	
Sensores	El componente encargado del escaneado debe proveer una imagen legible del documento al software para obtener el reconocimiento de caracteres correcto. Según el libro de recomendaciones de captura digital para partituras, se recomienda entre 300 y 600 dpi (píxeles por pulgada) para hojas A4.	
Software	El software de reconocimiento de caracteres y el de traducción a musicografía Braille deben ser de uso libre.	

Señales	<p>Ingreso:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Señal de activación de la máquina.</li> <li>-Señal de inicio de escaneado.</li> <li>-Señal de inicio de impresión.</li> <li>-Señal de emergencia que apagará el sistema.</li> <li>-Señal que permita pausar la impresión y señal para cancelarla.</li> </ul> <p>Salida:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Señal indicadora de la etapa del proceso en la que se encuentra.</li> <li>-Señal de confirmación del recibimiento de una señal de ingreso.</li> <li>-Señal de número de hojas impresas.</li> <li>-Señal de fin de impresión.</li> <li>-Señal indicadora de atasco de papel.</li> <li>-Señal indicadora de emergencia (alarma).</li> </ul>	
Interfaz	La interfaz debe permitir el ingreso de las señales del usuario, como activar, detener y apagar el sistema; y, brindar avisos durante el funcionamiento del sistema.	
Uso	La máquina debe poder ser colocada en pasillos o salas, sin ocasionar un ruido excesivo que disturbe a los demás. Su funcionamiento debe estar condicionado a temperaturas entre 10°C y 32°C. Asimismo, debe ser colocada en superficies niveladas y alejada de fuentes de calor. También, debe estar condicionada a ambientes libres de polvo, y que sus partes estén diseñadas para dificultar el ingreso de partículas de suciedad que disminuyan la calidad de impresión.	
Mantenimiento	Los componentes deben ser de fácil acceso para quien realiza el mantenimiento, en caso se requiera el cambio o reparación de algún componente. En especial, el sistema de alimentación de papel debe permitir un mantenimiento seguro en caso de atasco.	
Control de calidad	<p>Las hojas impresas en Braille deben cumplir con la norma de medidas establecidas por la Organización nacional de ciegos de España (ONCE), que se muestran en el marco teórico.</p> <p>La impresión debe basarse en el actual manual de musicografía Braille por sistema o de compás por compás, normalizados por la ONCE.</p>	
Montaje	Los componentes mecánicos deben ser desmontables para su mantenimiento y el montaje debe poder realizarse de manera sencilla por un operario no especializado.	
Fabricación	Los procesos de fabricación de las piezas no disponibles comercialmente deben poder realizarse en talleres con herramientas que permitan probar su funcionamiento.	

Seguridad	Usuario: Los componentes eléctricos y peligrosos deben estar fuera del alcance del tacto del usuario. Máquina: Se debe contar con una señal de emergencia que permita que el usuario apague todo el sistema en caso de falla.	
Ergonomía	Los rótulos en braille para manipular el sistema deben situarse entre los 0.9 y 1.25 m de altura. O, en su defecto entre 1.25 m a 1.75 m, según norma de la ONCE.	
Costos	El costo máximo de fabricación debe ser de 15000 soles.	
Plazo	El documento de definición del problema y diseño conceptual debe ser entregado hasta el 22 de noviembre.	

**Fuente:** Elaboración propia.

## 4.2 Estructura de funciones

En esta sección, se presentan las funciones en la que se divide el sistema mecatrónico en distintos dominios y el diagrama de funciones integrado.

### 4.2.1 Abstracción

Las entradas y salidas del sistema obtenidas al abstraer el sistema como una caja negra se muestran en la **figura 4.1**. A continuación, se explica cada una de ellas.

#### ENTRADAS

- **Señales de usuario:** Se ingresan en la interfaz de acuerdo a la necesidad actual del usuario. Estas pueden ser las señales ON/OFF, la señal de emergencia o la señal de pausa que detenga el sistema en el proceso actual. También, se puede ingresar la señal de inicio de escaneado y señal de inicio de impresión.
- **Energía:** El voltaje de alimentación del sistema.
- **Partitura:** Hoja en notación musical que se quiere transformar a Braille.

- **Hojas A4:** Pila de hojas donde se imprimirá la traducción.

## SALIDAS

- **Indicadores del proceso:** Señales del estado del proceso en el que esta la máquina, de atasco de papel y señal de final de impresión.
- **Indicador de emergencia:** Producido por un mal funcionamiento.
- **Numero de hojas impresas:** Indicador de hojas impresas listas por partitura.
- **Calor, ruido y vibraciones:** Producto del funcionamiento.
- **Hojas impresas:** Resultado de la impresión.
- **Partitura:** Se retira la hoja ingresada en el escáner.



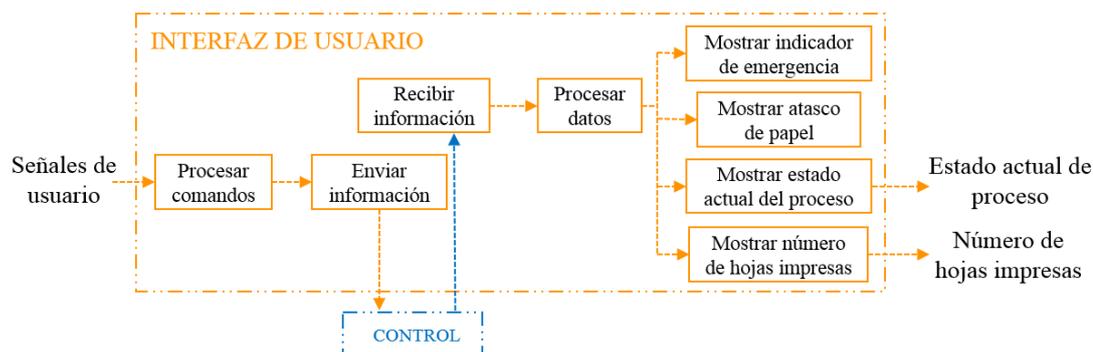
**Figura 4.1:** Black box  
Fuente: Elaboración propia

### 4.2.2 Estructura de funciones por dominio

A continuación, las funciones de cada dominio son explicadas y mostradas gráficamente. Algunas funciones no son explicadas por contar con una clara descripción en su respectivo nombre.

#### Interfaz de usuario

El usuario cuenta con una interfaz que le permite iniciar el proceso de escaneo, el proceso de impresión y pausar el sistema. También, se le permite observar la etapa actual que desarrolla la máquina, así como el número de hojas impresas en la bandeja de salida. Los bloques de este dominio se muestran en la **figura 4.2**.

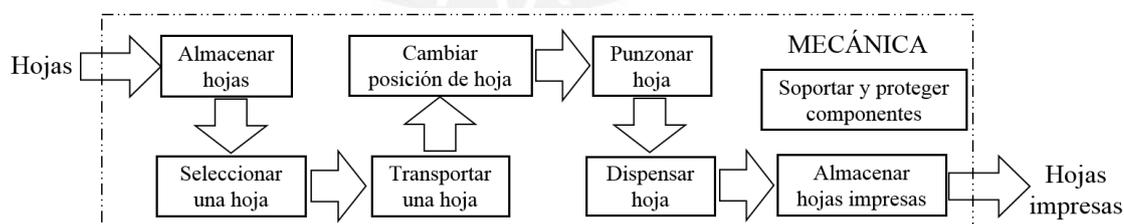


**Figura 4.2:** Funciones de interfaz de usuario  
**Fuente:** Elaboración propia

## Mecánica

La **figura 4.7** muestra el dominio mecánico del sistema.

- **Almacenar hojas:** Las hojas se deben almacenar en una bandeja de entrada.
- **Seleccionar una hoja:** Una hoja debe ser separada del resto para su impresión.
- **Transportar una hoja:** Mueve la hoja hacia el sistema de punzonado.
- **Cambiar posición de hoja:** Se debe cambiar la posición de la hoja en tramos para que el cabezal de impresión realice el punzonado.
- **Punzonar hoja:** El cabezal debe punzonar la hoja.
- **Dispensar hoja:** Mueve la hoja hacia la bandeja de salida.
- **Almacenar hojas impresas:** Las hojas terminadas se albergan en una bandeja.
- **Soportar y proteger componentes:** Alberga a los elementos del sistema de manera fija y segura.

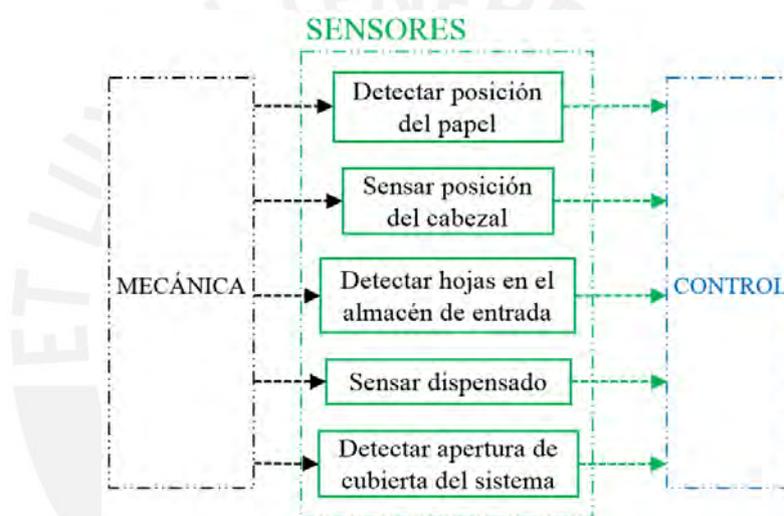


**Figura 4.3:** Funciones del dominio mecánico  
**Fuente:** Elaboración propia

## Sensores

En la **figura 4.3** se muestran los sensores a usar en el sistema. Se encargan de detectar la información en la parte mecánica para llevarla al control.

- **Detectar posición del papel:** Se requiere conocer la posición del papel en el recorrido de la impresión para determinar atascos.
- **Sensar posición del cabezal:** Se necesita conocer la posición del cabezal de impresión en el punzonado para su posterior control.
- **Detectar hojas en el almacén de entrada:** Indica si hay hojas disponibles para la impresión.
- **Sensar dispensado:** Indica si la hoja fue dispensada (salió del sistema de impresión).
- **Detectar apertura de cubierta del sistema:** Indica cuando el usuario abrió la cubierta del sistema para evitar accidentes.

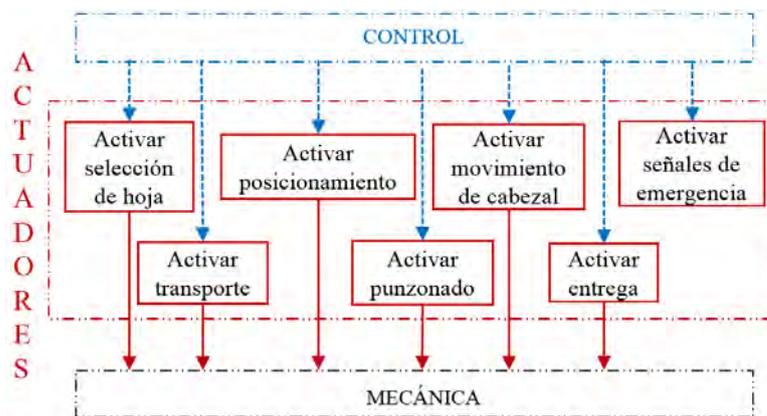


**Figura 4.4:** Funciones del dominio de sensores  
**Fuente:** Elaboración propia

### Actuadores

El bloque de actuadores (**figura 4.5**) incluye a los drivers y los dispositivos que transforman la energía eléctrica en mecánica. Estos reciben instrucciones del bloque de control para su activación, y actúan en el bloque de mecánica.

- **Activar selección de hoja:** acciona el actuador encargado de la separación de una hoja del resto.
- **Activar posicionamiento:** Acciona el mecanismo para cambiar la posición de la hoja en la impresión.
- **Activar señales de emergencia:** Acciona los indicadores al usuario en caso de un comportamiento no esperado en el sistema.



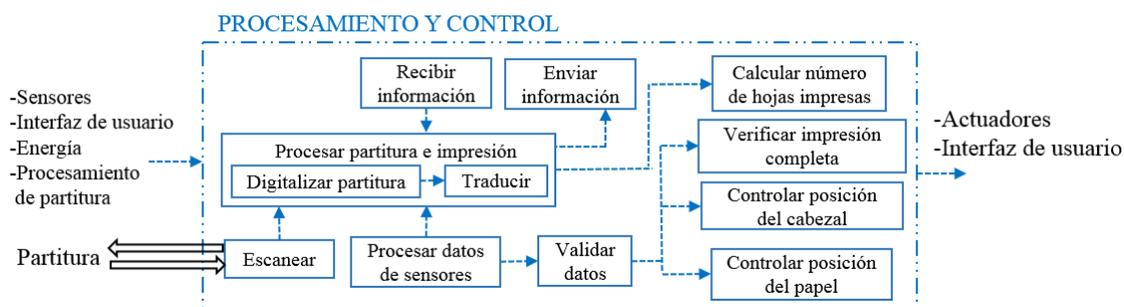
**Figura 4.5:** Funciones del bloque de actuadores

Fuente: Elaboración propia

### Procesamiento y control

El dominio de procesamiento y control (**figura 4.6**) recibe información de los sensores y la interfaz. Con estos datos se procesa la partitura, activan los actuadores para iniciar la impresión y se envían datos a la interfaz de usuario.

- **Escanear:** Adquiere una imagen/documento de la partitura.
- **Digitalizar partitura:** Reconoce los caracteres en la imagen transformándolos en una partitura digitalizada.
- **Traducir:** Convierte el archivo digital musical a musicografía Braille.
- **Procesar datos de sensores:** Controlar los datos brindados por los sensores e interfaz para manejar los actuadores.
- **Validar datos:** Evalúa si los datos procesados son correctos para activar las señales de emergencia y notificar a la interfaz.
- **Calcular número de hojas impresas:** Notifica a la interfaz de usuario de las hojas terminadas en el proceso.
- **Verificar impresión completa:** Verifica que se terminó la impresión de una hoja para dispensarla.
- **Controlar posición del cabezal:** Verifica que la posición del cabezal sea a correcta y varía la señal al actuador de acuerdo a esta evaluación.
- **Controlar posición del papel:** Evalúa que el papel se encuentra en la posición esperada de acuerdo a lo ordenado, y envía la señal a su respectivo actuador de acuerdo a esto.



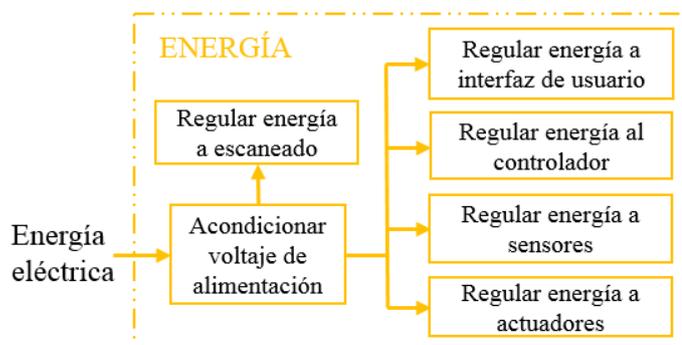
**Figura 4.6:** Funciones del dominio de Procesamiento y Control

Fuente: Elaboración propia

## Energía

En la **figura 4.7** se muestra el dominio de energía.

- **Acondicionar voltaje de alimentación:** Se debe acondicionar el voltaje de entrada para alimentar a cada dominio del sistema. Se alimenta a 220 V y los transforma al requerimiento de cada subsistema.
- **Regular energía a escaneado:** Se encarga de alimentar el escáner a utilizar para la toma de imagen de la partitura.
- **Regular energía a interfaz de usuario:** Acondiciona la energía hacia la interfaz de usuario.
- **Regular energía al controlador:** Brinda energía al bloque de control para el procesamiento de los datos.
- **Regular energía a sensores:** Alimenta de energía a los sensores que miden las variables del sistema.
- **Regular energía a actuadores:** Energiza los actuadores que movilizan el sistema mecánico.



**Figura 4.7:** Funciones del dominio de energía

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Diagrama de funciones

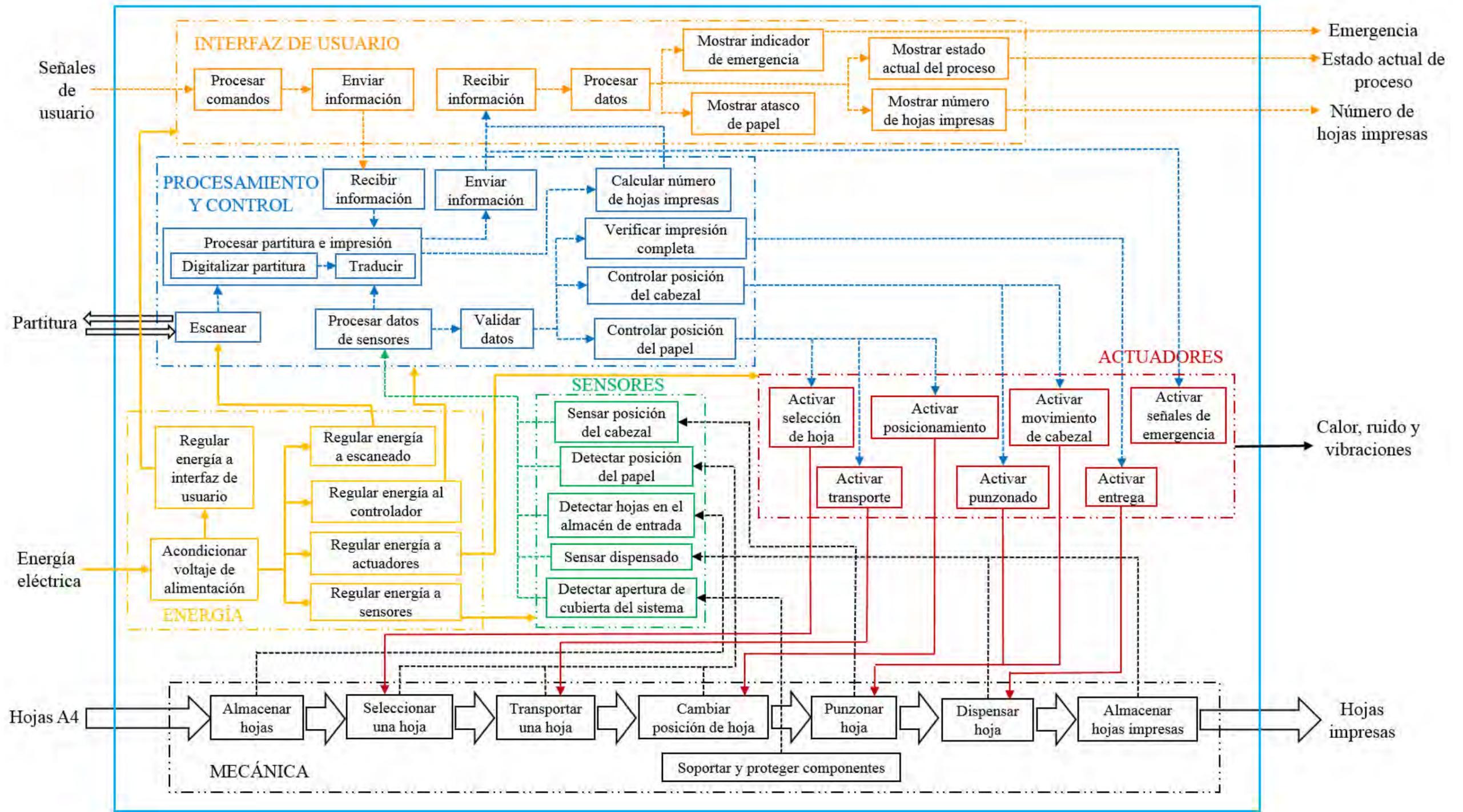


Figura 4.8: Diagrama de funciones

Fuente: Elaboración propia

### 4.3 Matriz morfológica

De acuerdo al diagrama de funciones del inciso anterior, se realiza la matriz morfológica con las posibles opciones de cada función. Así, se establecen conexiones (**Anexo A**) entre las funciones para desarrollar las tres alternativas de solución. Las tablas siguientes dividen las soluciones en sus subsistemas.

**Tabla 4.2:** Soluciones del dominio mecánico.

Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Almacenar hojas	Bandeja superior	Bandeja superior	Bandeja inferior
Seleccionar una hoja	Rodillos de alimentación y separación	Alzador y rodillos de alimentación y separación	Alzador y rodillo
Transportar una hoja	Doble rodillo de transporte	Un rodillo	Un rodillo
Cambiar posición de hoja	Mover el cabezal en dos dimensiones con la hoja fija	Un rodillo	Un rodillo
Punzonar hoja	Punzones	Rueda con forma	Tinta de secado rápido
Dispensar hoja	Rodillo de transporte con guía	Rodillo de transporte con guía	Doble rodillo de transporte
Almacenar hojas impresas	Bandeja externa	Bandeja inferior	Bandeja superior
Soportar y proteger componentes	Cubierta de metal	Cubierta de plástico	Cubierta de plástico

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 4.3:** Soluciones del subsistema de actuadores.

Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Activar selección de hoja	Motor DC	Motor DC con solenoide	Motor paso a paso con solenoide
Activar transporte	Motor DC	Motor DC	Motor paso a paso
Activar posicionamiento	Motor paso a paso	Motor paso a paso	Motor paso a paso
Activar punzonado	Motor paso a paso con solenoides	Actuador lineal con servomotores	Cabezal de rociado con luz UV
Activar entrega	Motor paso a paso	Motor paso a paso	Motor DC
Activar Movimiento del cabezal	Motor paso a paso	Motor paso a paso	Motor paso a paso
Señales de emergencia	LEDs	Buzzer	Bocina

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 4.4:** Soluciones del subsistema de sensores.

Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Detectar posición del papel	Sensor de ultrasonido + sensor de contacto	Sensor fotoeléctrico	Sensor fotoeléctrico
Detectar hojas en el almacén de entrada	Sensor de fin de carrera	Sensor difuso	Sensor difuso
Sensar dispensado	Sensor de ultrasonido	Sensor de fin de carrera	Sensor fotoeléctrico
Detectar apertura del sistema	Sensor de contacto	Sensor difuso	Sensor fotoeléctrico
Sensar posición del cabezal	Sensor láser con sensor de fin de carrera	Sensor de ultrasonido con sensor de fin de carrera	Sensor láser

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 4.5:** Soluciones del dominio de procesamiento y control.

Funciones		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
HARDWARE	Escanear	Cámara con iluminación externa	Escáner de sobremesa	Escáner tipo planetario
	Digitalizar Partitura	Beaglebone Black	Raspberry Pi	PC
	Traducir			
	Calcular número de hojas impresas			
	Procesar datos de sensores	Beaglebone Black	Raspberry Pi	Microcontrolador
	Validar datos			
	Verificar impresión completa			
	Controlar posición de papel			
	Controlar posición del cabezal			
SOFTWARE	Digitalizar partitura	Redes neuronales	Procesamiento de imágenes	Audiveris o Musescore
	Traducir	Redes neuronales	Algoritmo propio	Software Free Dots
	Controlar posición del cabezal: Software	Control difuso	Control PID	Control predictivo

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 4.6:** Soluciones de la interfaz de usuario.

Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Interfaz de usuario	Pantalla táctil	Panel de control con botones	PC
Enviar información			
Recibir información			
Mostrar estado del proceso			
Mostrar número de hojas impresas			
Mostrar indicador de emergencia			
Mostrar atasco de papel			

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 4.7:** Soluciones del dominio de energía.

Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Acondicionar voltaje de alimentación	Fuente conmutada	Fuente conmutada	Fuente lineal
Suministrar energía al controlador	Regulador de voltaje conmutado	Regulador de voltaje conmutado	Regulador de voltaje lineal
Suministrar energía a Interfaz de usuario	Regulador de voltaje conmutado	Regulador de voltaje conmutado	Toma directa a 220 V con transformador y rectificador
Suministrar energía a actuadores	Regulador de voltaje conmutado	Regulador de voltaje conmutado	Regulador de voltaje lineal
Suministrar energía a sensores	Regulador de voltaje conmutado	Regulador de voltaje conmutado	Regulador de voltaje lineal
Brindar energía a escaneado	Vía USB	Vía USB	Toma directa a 220 V con transformador y rectificador
Detener el sistema	Interruptor termomagnético	Interruptor de pulsador	Interruptor diferencial o disyuntor

**Fuente:** Elaboración propia.

## 4.4 Conceptos de solución

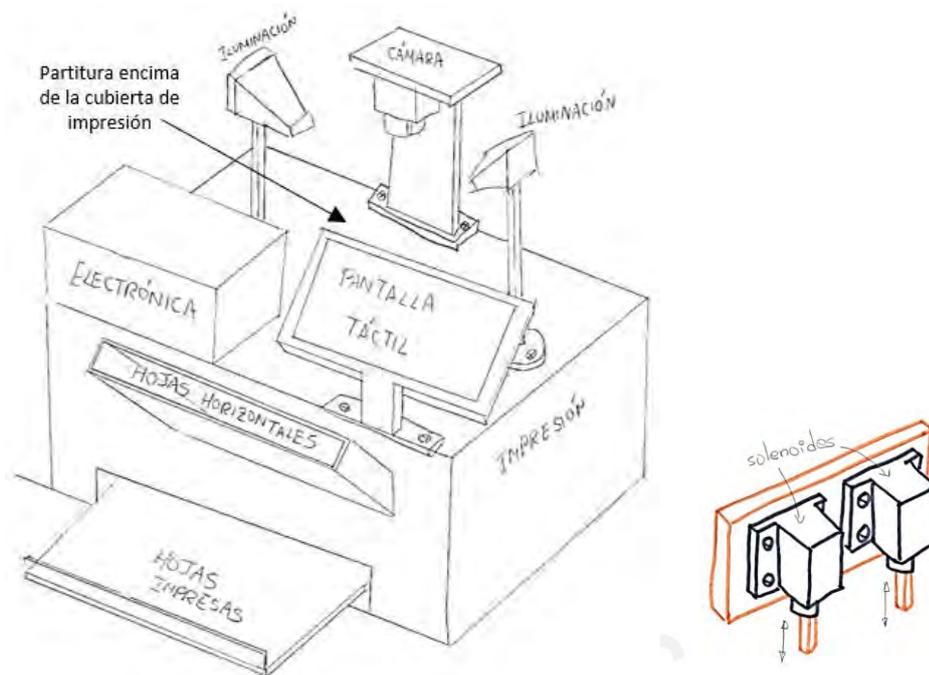
En esta sección se presentan tres conceptos solución obtenidos mediante la unión de componentes de la matriz morfológica anterior. Esto incluye una descripción de los componentes y dibujos de los sistemas en vista exterior e interior.

### 4.4.1 Primer concepto solución

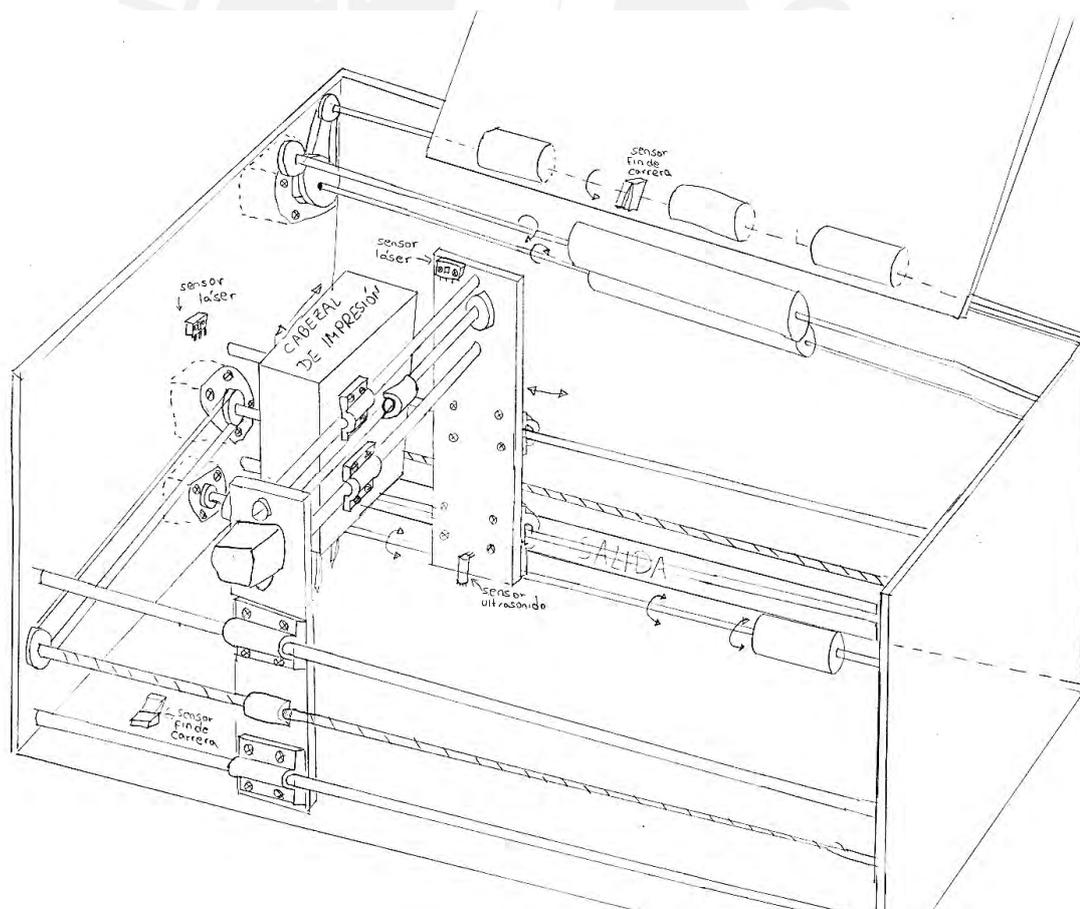
El subsistema mecánico de esta solución recibe las hojas de manera horizontal por la parte superior y las dispensa en la parte inferior hacia el mismo lado. Para seleccionar una hoja, se utilizan tres rodillos: uno que empuja las hojas, otro que las dirige hacia el interior y el último regresa el exceso de hojas. A continuación, la hoja se transporta y posiciona por dos rodillos en los extremos que también dispensarán, por lo que no deben presionar los puntos impresos. Para la impresión, se utiliza un cabezal de impresión con movimiento en dos direcciones.

Respecto a los actuadores, el movimiento del cabezal XY y los rodillos de posicionamiento son activados por motores paso a paso mientras que los rodillos de selección por un motor DC. El cabezal de impresión está compuesto por solenoides que realizan la función de punzón la hoja. Se coloca un sensor de fin de carrera en la entrada de hojas y uno al final del posicionamiento. También, se cuenta con dos sensores laser para el control del movimiento del cabezal y uno de ultrasonido que detectará el inicio de posicionamiento y el dispensado.

Para el escaneado se utiliza una cámara con iluminación externa y el reconocimiento de caracteres por redes neuronales. También, la interfaz de usuario es una pantalla táctil y el control es realizado por un Beaglebone Black. La solución es mostrada en la **figura 4.9** y en la **figura 4.10**.



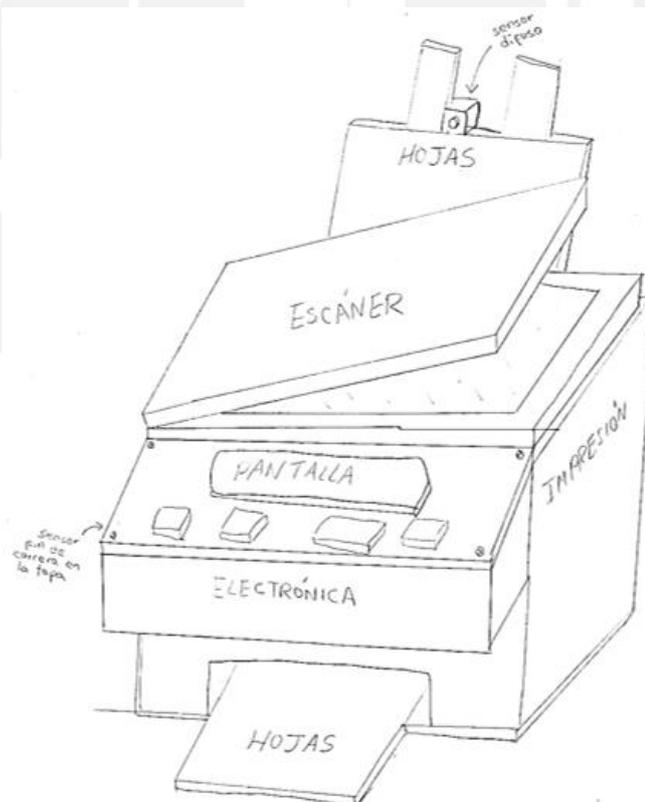
**Figura 4.9:** Vista externa y cabezal de impresión de la solución 1  
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 4.10:** Vista interna de la solución 1  
**Fuente:** Elaboración propia

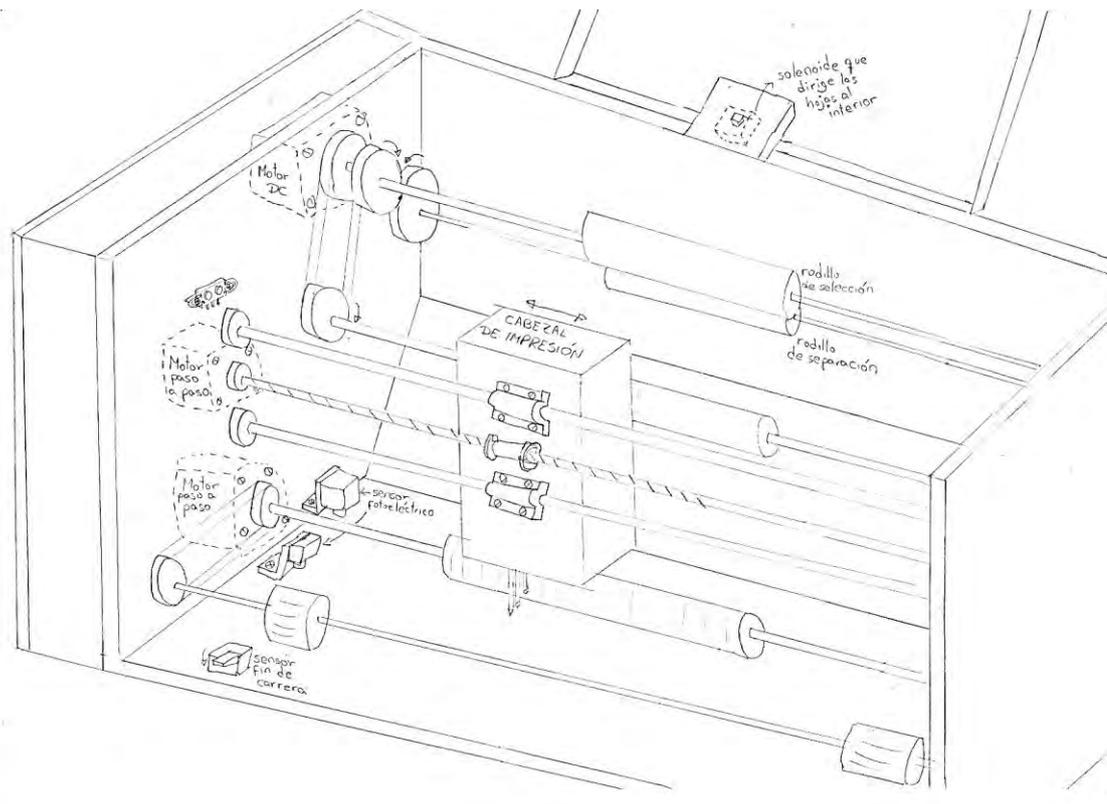
#### 4.4.2 Segundo concepto solución

En esta solución se utiliza un escáner de sobremesa y un panel con botones controlados por una Raspberry Pi. La partitura se traduce pasando por un procesamiento de imágenes y un algoritmo. Las hojas se colocan en la parte superior detectadas por un sensor difuso. A continuación, se selecciona una hoja con un solenoide que dirige las hojas y dos rodillos que las separan. Estos rodillos y uno posterior de transporte son activados por un motor DC. Luego, un sensor fotoeléctrico corrobora el paso de la hoja al posicionamiento. Este cambio de posición se realiza con un motor paso a paso y un rodillo. Después, se realiza el punzonado con un cabezal de impresión de movimiento en una dirección medida por un sensor de ultrasonido. Otro sensor fotoeléctrico detecta la posición de la hoja al final de la impresión y se dispensa por dos rodillos. Un último sensor de contacto corrobora que se dispensó la hoja. La solución es mostrada en la **figura 4.11**, en la **figura 4.12** y en la **figura 4.13**.

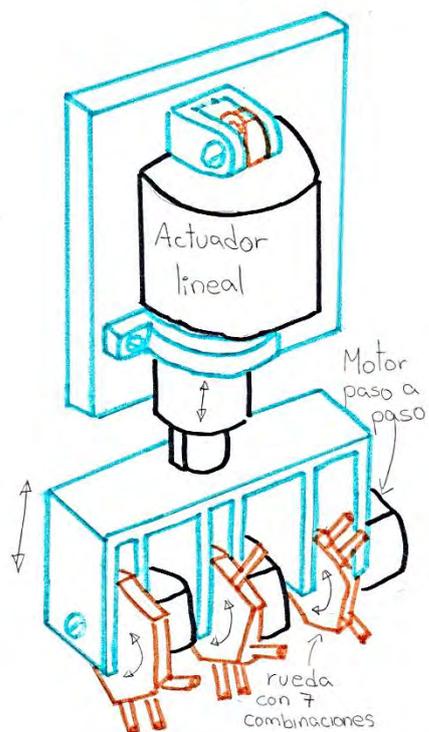


**Figura 4.11:** Vista externa de la Solución 2

**Fuente:** Elaboración propia



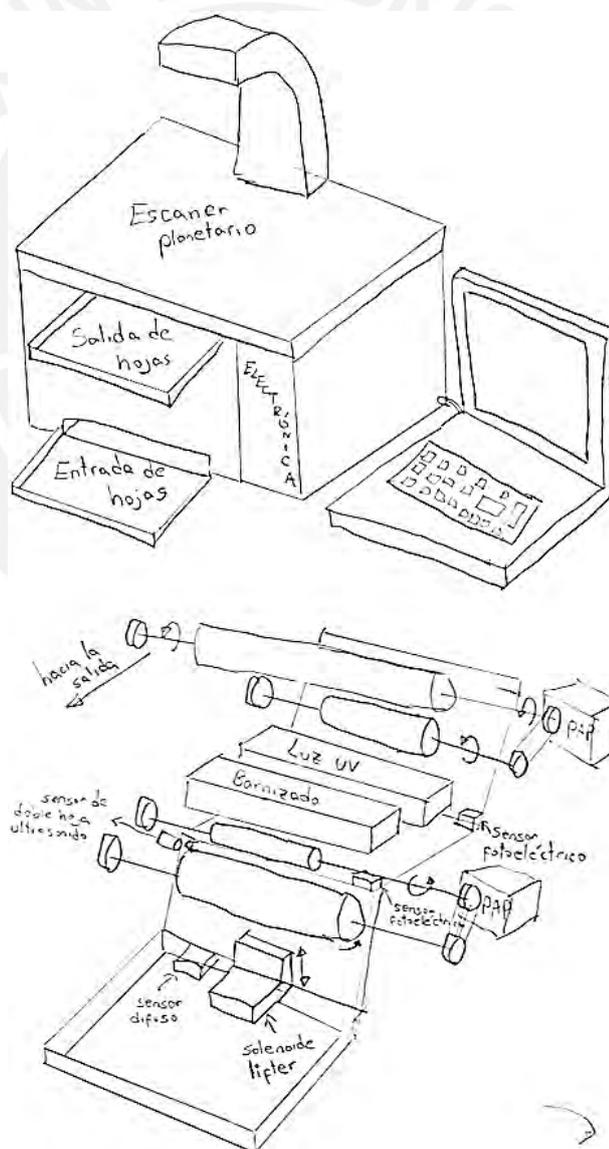
**Figura 4.12:** Vista interna de la solución 2  
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 4.13:** Cabezal de impresión de la solución 2  
**Fuente:** Elaboración propia

### 4.4.3 Tercer concepto solución

Esta solución cuenta de un escáner planetario y una laptop. Las hojas se colocan en la parte inferior y son dispensadas en la parte superior. Un solenoide alzador eleva las hojas y se selecciona una mediante un rodillo accionado por un motor paso a paso. Se corrobora que no pasen más hojas con un sensor de ultrasonido de doble hoja. Un sensor fotoeléctrico detecta si la hoja llegó al sistema de posicionamiento. Si es así, el rodillo de posición activado por un motor paso a paso mueve la hoja de acuerdo a lo solicitado. Se realiza la impresión en relieve con barnizado e iluminación UV para secar la tinta. Se detecta la salida por un sensor fotoeléctrico y se activan los rodillos de transporte y dispensado con un motor paso a paso hacia la salida. Se muestra este sistema en la **figura 4.14**.



**Figura 4.14:** Vistas de la solución 3  
Fuente: Elaboración propia

## 4.5 Evaluación técnico-económica

A continuación, se presenta la evaluación de los conceptos solución, de acuerdo al método VDI 2225, para elegir uno óptimo.

### 4.5.1 Criterios y pesos de las soluciones

#### TÉCNICOS

- **Función:** Este se refiere a si se cumple la función principal del sistema, de acuerdo a lo establecido en la lista de requerimientos. El peso  $g$  del criterio es de 4.

Los tres conceptos de solución cumplen con el criterio. Sin embargo, el tercer concepto brinda hojas impresas en barnizado que a la larga pueden dañar el tacto de los usuarios. Por ello, el concepto 3 tiene una menor puntuación

- **Velocidad de impresión:** Una partitura musical puede equivaler a varias en Braille, por lo que la velocidad es un ítem importante a evaluar. El peso  $g$  es de 4.

El tercer concepto demora un tiempo extra en la impresión de cada punto por la aplicación de la tinta barniz, comparado con un punzón.

La solución 1 utiliza dos solenoides para el punzonado. En base a la fuerza de 7.84N necesaria para realizar agujeros, el solenoide no es de alta carga. Por ende, el tiempo de activación del solenoide es de aproximadamente 300ms en impresoras braille comerciales. Una hoja A4 cuenta con 28 columnas y 25 filas de caracteres. Además, se debe contar que para cada punto se necesita un tiempo de traslado del cabezal, que es de 50 ms en impresoras comerciales.

$$t_{\text{por punto}} = t_{\text{solenoides}} + t_{\text{traslado cabezal}} = \frac{300 \text{ ms} + 50 \text{ ms}}{2 \text{ puntos}} = 175 \text{ ms/punto}$$

$$t_{\text{impresión de una hoja}} = 175 \frac{\text{ms}}{\text{punto}} \times \frac{28 \times 15 \times 6 \text{ puntos}}{1 \text{ hoja}} = 735000 \text{ ms} = 12.25 \text{ min}$$

La solución 2 cuenta con 4 servomotores y un actuador lineal. Así, se toma de ejemplo al servomotor MG996R, que demora 0.96 segundos para dar una

vuelta. El actuador lineal del cabezal que permite el empuje de la rueda necesita de fuerza para presionar 12 puntos como máximo.

$$F_{1 \text{ punto}} = 7.84 \text{ N}$$

$$F_{12 \text{ puntos}} = 12 \times 7.84 \text{ N} = 94 \text{ N}$$

Para actuadores de aproximadamente esa fuerza, la velocidad es de 30 mm/s.

$$t_{\text{por punto}} = t_{\text{servomotor}} + t_{\text{traslado cabezal}} = \frac{0.96 \text{ s} + 1 \text{ s}}{12 \text{ puntos}} = 0.16 \text{ s/punto}$$

$$t_{\text{impresión de hoja}} = 0.16 \frac{\text{s}}{\text{punto}} \times \frac{28 \times 15 \times 6 \text{ puntos}}{1 \text{ hoja}} = 11.2 \text{ min}$$

Comparando los tiempos de impresión de la solución 1 y 2, se determina que la más rápida es la segunda. De esta manera, se coloca el mayor puntaje a la solución 2, y las otras dos soluciones un puntaje igual.

- Facilidad de manejo:** Se refiere a qué tan amigable es la máquina al usuario. El peso g es de 2 al no ser un criterio crucial como los anteriores. La solución 3 debe tener el mayor puntaje al poder controlarla desde una PC. Las otras soluciones cuentan con puntajes iguales.
- Facilidad de mantenimiento:** La solución al atasco de papel y el reemplazo de piezas son partes del mantenimiento común en impresoras Braille. Este criterio cuenta con un peso g de 3. La solución 2 tiene el menor puntaje, ya que el cabezal de impresión tiene tres piezas más a reemplazar que la solución 1.

**Tabla 4.8:** Evaluación técnica.

Evaluación técnica de conceptos			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
N	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función	4	3	12	3	12	2	8	4	16
2	Velocidad de impresión	4	2	8	3	12	2	8	4	16
3	Facilidad de manejo	2	2	4	2	4	3	6	4	8
4	Facilidad de mantenimiento	3	3	9	2	6	3	9	4	12
Puntaje máximo			10	33	10	34	10	31	16	52
Valor técnico			0.63	0.63	0.63	0.65	0.63	0.60	1	1

**Fuente:** Elaboración propia.

## ECONÓMICOS

- Costo de la tecnología:** Se refiere al costo estimado total de la máquina. Cuenta con un peso g de 4.

La solución 3 cuenta con el menor puntaje al contar con componentes de alto costo: un sistema de barnizado, un escáner planetario y una laptop. El cabezal de impresión de la solución 2 cuenta con un actuador lineal y motores paso a paso, que superan en costo a los solenoides de la solución 1, aunque no es una diferencia apreciable al contar con tres solenoides.
- Número de piezas:** Evalúa la cantidad de componentes de las soluciones. Cuenta con un peso g de 2, por su menor importancia que el anterior criterio.

La solución 1 cuenta con el doble de piezas que la solución 2 por el movimiento del cabezal en dos direcciones, mientras que las soluciones 2 y 3 cuentan con un similar número de piezas. Por ello, la solución 1 tiene el menor puntaje.
- Costo del mantenimiento:** Evalúa el costo de reemplazo de las piezas propensas a desgastarse. Cuenta con un peso g de 2.

La solución 2 tiene el menor puntaje ya que el reemplazo de la rueda con forma necesita la fabricación de una nueva. La primera solución tiene el mayor puntaje al contar con piezas comerciales reemplazables (solenoides y piezas de impresora con mecanismo CNC).

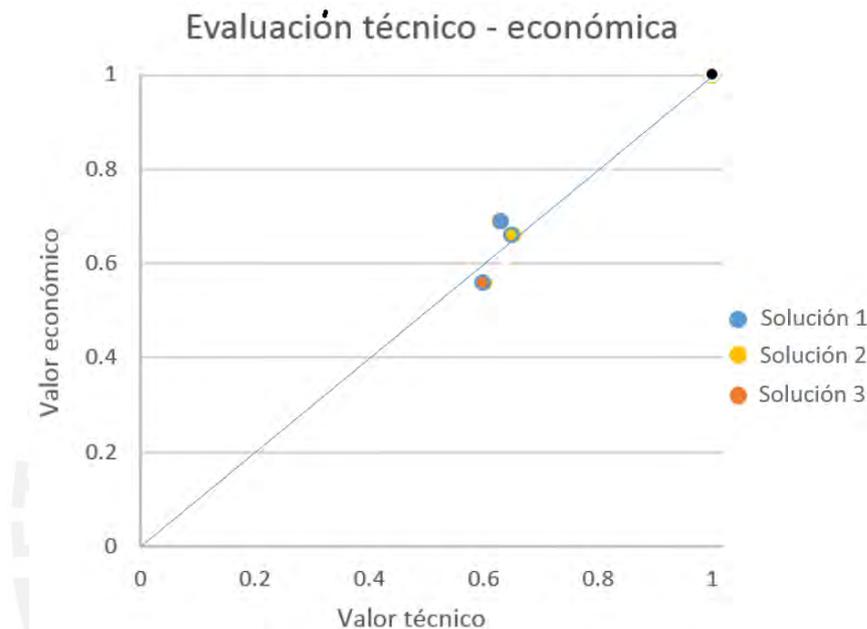
**Tabla 4.9:** Evaluación económica.

Evaluación técnica de conceptos			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
N	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Costo de la tecnología	4	3	12	3	12	2	8	4	16
2	Número de piezas	2	2	4	3	6	3	6	4	8
3	Costo del mantenimiento	3	3	9	2	6	2	6	4	12
Puntaje máximo			8	25	8	24	7	20	12	36
Valor técnico			0.66	0.69	0.66	0.66	0.58	0.56	1	1

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.2 Elección de la solución ganadora

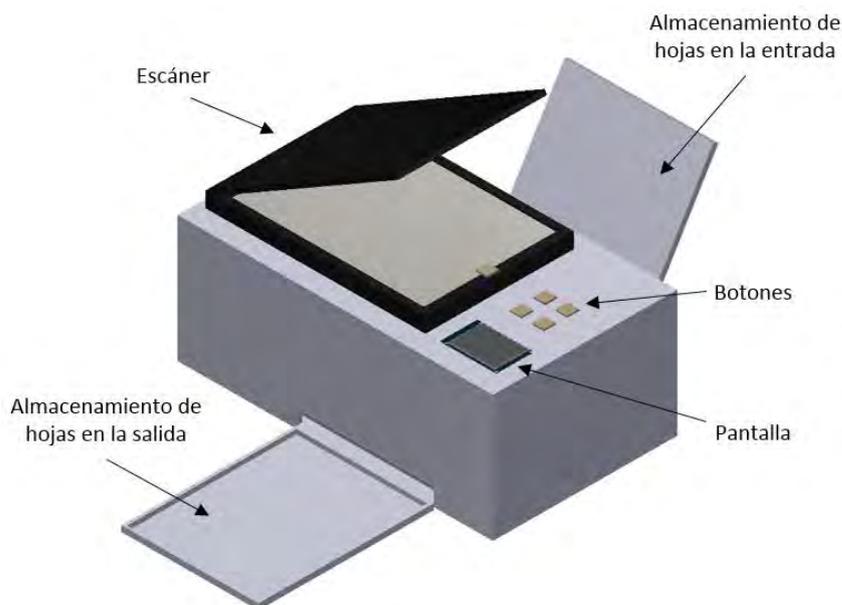
Se observa la evaluación gráficamente en la **figura 4.15**. Se descarta la solución 3 por ser menor a 0.6 en el valor económico. Luego, se elige el concepto solución más cercano al ideal y a la recta. Por ende, la solución ganadora es la solución 2.



**Figura 4.15:** Gráfico de la evaluación técnico-económica  
**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.6 Descripción del concepto de solución óptimo

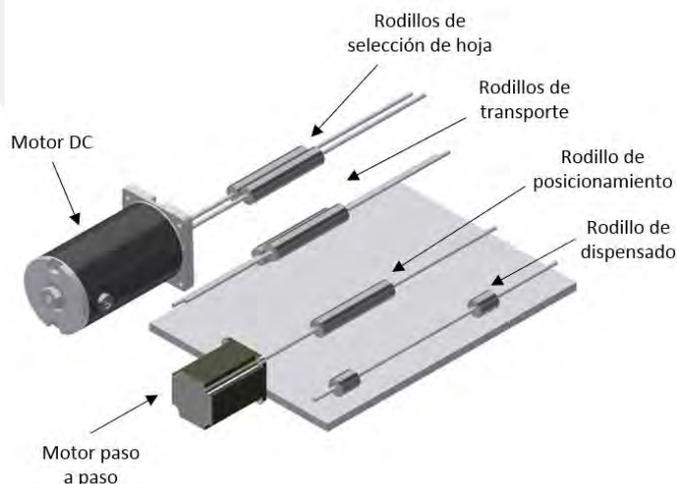
A partir de la solución ganadora del diseño conceptual, se procede a optimizarla. Así, se evalúan los conceptos en los que obtuvo menor puntaje para mejorarlos. Y, se añaden otros cambios como sea necesario. En la **figura 4.16**, se muestra la vista isométrica del sistema. Con las nuevas medidas aproximadas de los componentes, se cambia la posición del escáner y de la pantalla a la parte superior a diferencia del concepto solución ganador. Las medidas aproximadas con el modelado 3D son de 530 mm x 310 mm x 215 mm de largo, ancho y alto respectivamente.



**Figura 4.16:** Vista isométrica del sistema

**Fuente:** Elaboración propia

El concepto solución óptimo cuenta con la siguiente disposición de rodillos para garantizar el correcto direccionamiento del papel. Los 4 rodillos de selección y transporte son accionados por un motor DC mediante transmisión de potencia a sus ejes. Asimismo, los rodillos de posicionamiento y dispensado son accionados por un motor paso a paso que permita movimientos cortos en el papel para cambiar de fila en el punzonado. Esto se muestra en la **figura 4.17**.

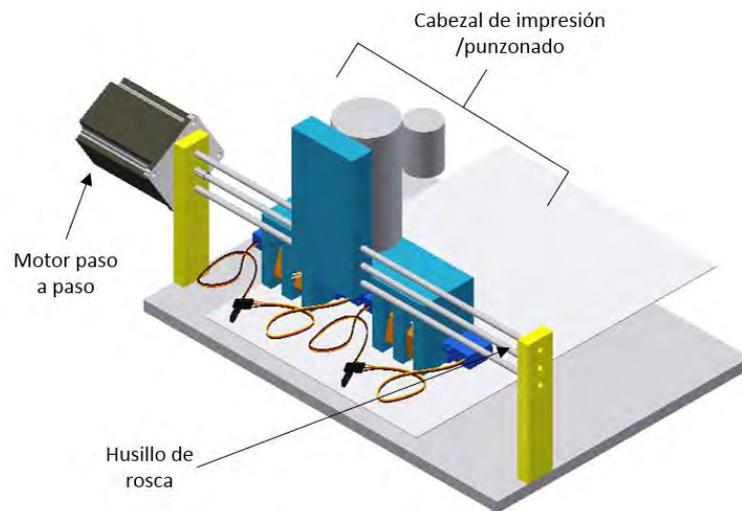


**Figura 4.17:** Selección, transporte, posicionamiento y dispensado del papel por rodillos.

**Fuente:** Elaboración propia

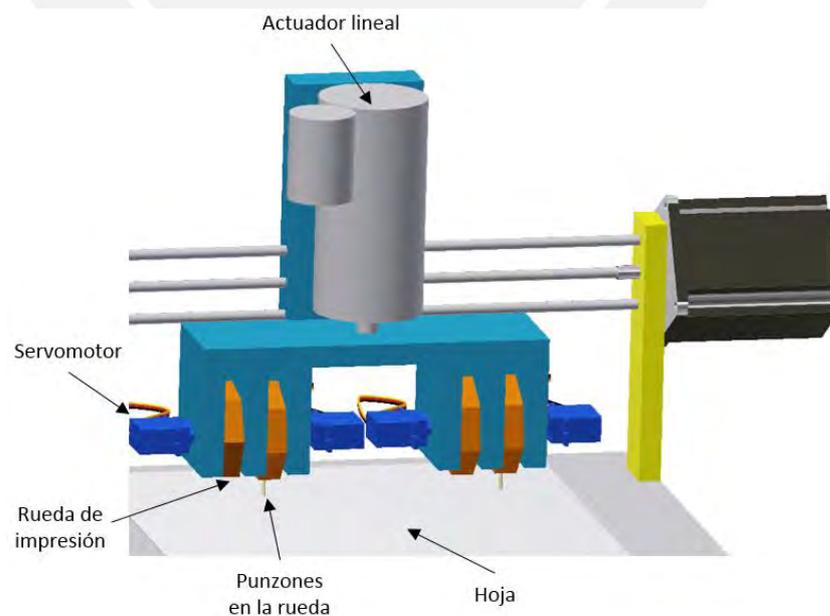
El movimiento del cabezal de impresión es accionado por un motor a pasos conectado a un sistema tipo CNC. La varilla central (husillo de rosca) es la que controla el paso, y las otras dos varillas son guías que garantizan el equilibrio. Se

muestra en la **figura 4.18**. A diferencia de la solución ganadora con un sensor de ultrasonido, la solución óptima utiliza un sensor láser para el control de posición del cabezal.



**Figura 4.18:** Movimiento del cabezal de punzonado  
**Fuente:** Elaboración propia

El cabezal de impresión cuenta con ruedas con las 8 combinaciones de la mitad de una celda braille. Al girar los servomotores, se selecciona la combinación requerida, y esta se punzona con un actuador lineal de corta carrera. Para el concepto óptimo, se cambió la disposición de los servos para brindar mayor espacio y permitir el ingreso del tornillo durante el montaje. Esto se muestra en la **figura 4.19**.



**Figura 4.19:** Cabezal de impresión/punzonado  
**Fuente:** Elaboración propia

## CONCLUSIONES

- Se logró diseñar conceptualmente un sistema de escaneado e impresión para musicografía Braille de piano que resuelve la problemática de la falta de un sistema integrado para la obtención de partituras en Braille. Ello se consiguió mediante la elección del tipo de sensores, actuadores y control para la máquina.
- El diseño emplea un cabezal de impresión basado en ruedas con las combinaciones de la celda Braille para su estampado en el papel por un actuador lineal. Esto brinda mayor velocidad que las impresoras comerciales caracterizadas por el uso de una fila de solenoides.
- El mecanismo tipo CNC debe permitir al cabezal de impresión moverse en muy cortas distancias, necesarias para una celda Braille (mínima distancia de 2.5 mm). Por ende, la elección de un motor paso a paso con los pasos por vuelta adecuados es crucial en el resultado de la impresión. Asimismo, la posición del cabezal debe ser medida en todo momento de la impresión. Por ello, se estableció el control de posición para evitar resultados incorrectos en la impresión de puntos.
- En el diseño, los sensores colocados en el recorrido del papel permiten conocer cuando este llega a cierta posición para accionar o desactivar los actuadores en los subsistemas. Además, brindan información sobre atascos de papel al detectar que el papel no llegó a cierta posición de acuerdo a lo esperado.

## BIBLIOGRAFÍA

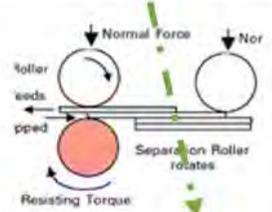
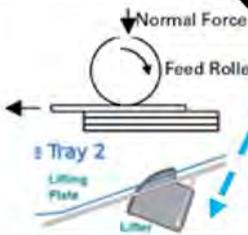
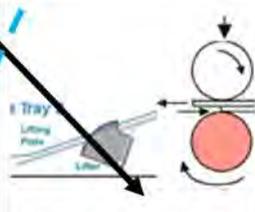
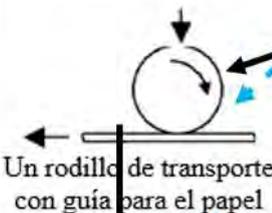
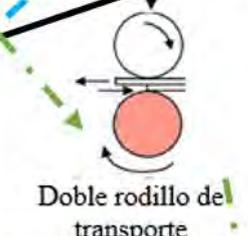
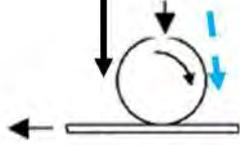
- Billings, P. (2015). *Paper Feed Separation Rollers*. Obtenido de [https://reell.com/sites/default/files/torque-paper-feed\\_0.pdf](https://reell.com/sites/default/files/torque-paper-feed_0.pdf)
- Chaves, A., & Godall, P. (2012). Recursos tecnológicos aplicados a lectura y transcripción musical en Braille. *Lista Europea Electoral de Música en la Educación*, 43-59. Obtenido de <http://musica.rediris.es/leeme>
- Chincha, J., & Ato, C. (2015). *Diseño de un sistema automático de impresión de caracteres de código Braille basado en comparación y utilizando un actuador electromagnético*. USMP
- Contreni, D. (2018). Obtenido de Quora: <https://www.quora.com/How-does-a-printer-sense-a-paper-jam>
- García, E. (2018). Biblioteca inclusiva. *El Peruano*. Obtenido de <https://elperuano.pe/noticia-biblioteca-inclusiva-64751.aspx>
- Goodfeel. (2018). Obtenido de <https://ul.gpii.net/content/goodfeel>
- Gotoh, T. (2008). BrailleMUSE: A web-based braille translation for digital music scores. *Proceedings of the 10th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. New York. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/221652205\\_A\\_web-based\\_braille\\_translation\\_for\\_digital\\_music\\_scores](https://www.researchgate.net/publication/221652205_A_web-based_braille_translation_for_digital_music_scores)
- Harris, S. (2015). *Sheet Music Reader*. Obtenido de [https://web.stanford.edu/class/ee368/Project\\_Spring\\_1415/Reports/Verma\\_Harris.pdf](https://web.stanford.edu/class/ee368/Project_Spring_1415/Reports/Verma_Harris.pdf)
- Hassan, M. (2011). Conversion of English Characters into Braille using Neural Network.
- Herrera, R. (2010). La musicografía Braille y el aprendizaje de la música. *IX Reunión de la Sociedad Argentina para las Ciencias Cognitivas de la Música*, (pág. 1). La Plata. Recuperado el 5 de Agosto de 2019, de <https://files.romina-suarez.webnode.es/200000028-c46b0c5645/Musicografia%20braille.pdf>
- Hong, R. (2000). *Tokyo Patente n° 6086273*. Obtenido de <https://patents.google.com/patent/US6086273>
- Index Everest-D V5. (2018). *Compartolid*. Obtenido de <https://www.compartolid.es/index-everest-d-v5/>
- INEI. (2012). *Primera Encuesta Nacional Especializada Sobre Discapacidad*. Lima. Obtenido de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1171/ENEDIS%202012%20-%20COMPLETO.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1171/ENEDIS%202012%20-%20COMPLETO.pdf)

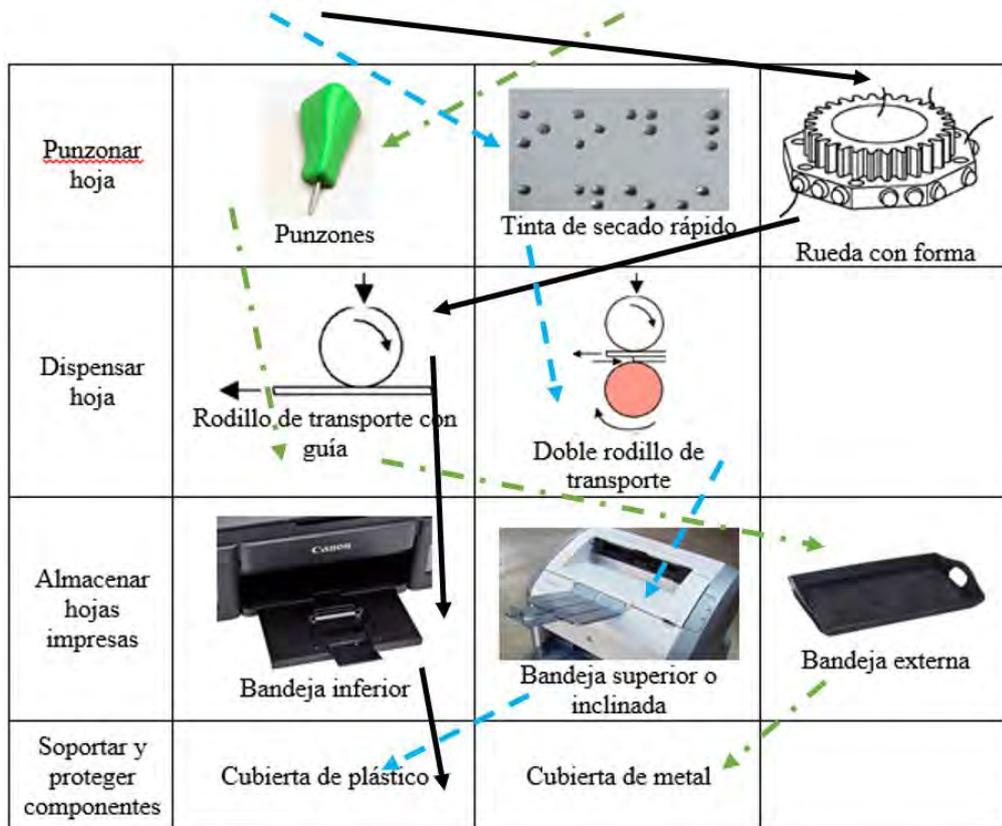
- Johnson, J. (2017). Obtenido de Quora: <https://www.quora.com/What-mechanism-inside-printers-makes-it-pick-the-paper-sheet-on-the-top-correctly-from-a-stack-of-papers>
- Matsumoto, M. (2015). *Japón Patente n° 2015025884A*.
- OMS. (2018). Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
- ONCE. (2001). *Manual simplificado de musicografía Braille*. Obtenido de <https://bit.ly/2vecWrY>
- ONCE. (2006). *Características de la rotulación para personas con discapacidad visual*. Obtenido de [http://riberdis.cedd.net/bitstream/handle/11181/3240/Caracteristicas\\_rotulacion\\_para\\_personas\\_con\\_discapacidad\\_visual.pdf?sequence=1](http://riberdis.cedd.net/bitstream/handle/11181/3240/Caracteristicas_rotulacion_para_personas_con_discapacidad_visual.pdf?sequence=1)
- Ouellette, D. (2011). Low Cost, Compact Braille Printing Head For Use in a Handheld Braille Transcribing Device. Massachusetts. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/182f/dc78c459f703dab81e275a3de41e02670d0c.pdf>
- Pastoriza, J., & Martínez, M. (2015). Música, ceguera y escuela. Por una alfabetización musical total. *La terapia del arte*. (M. Gutiérrez, Entrevistador) Obtenido de <http://laterapiadelarte.com/numero-5/entrevistas/musica-ceguera-y-escuela-por-una-alfabetizacion-musical-total/>
- Pillischer, D., Robertson, J., & Onderdonk, L. (2012). *US Patente n° 20120304875A1*.
- Pino, A. (2014). Musicografía Braille: una apuesta por la inclusión. *Viajeros del pentagrama del Ministerio de Cultura de Colombia*. Obtenido de <http://www.viajerosdelpentagrama.gov.co/Joomla/index.php/14-comunidad/contenido-valioso/115-musicografia-braille-una-apuesta-por-la-inclusion-vp>
- Piña, M. (2015). Obtenido de Radio Francia Internacional: <http://www.rfi.fr/es/cultura/20150406-el-braille-en-la-escritura-musical>
- Thompson, W. (2016). *JWT*. Obtenido de <https://www.jwt.com/en/work/touchableink>
- Widmer, G. (2010). The Magaloff Project: An Interim Report. Obtenido de [https://www.researchgate.net/figure/The-SharpEye-OMR-software-showing-the-printed-score-lower-panel-and-the-result-of-the\\_fig1\\_233161075](https://www.researchgate.net/figure/The-SharpEye-OMR-software-showing-the-printed-score-lower-panel-and-the-result-of-the_fig1_233161075)

## ANEXO A: Matriz morfológica con conexiones

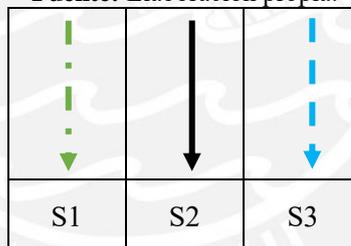
### A.1 Matriz del dominio mecánico

Tabla A.1: Matriz con conexiones del dominio mecánico.

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Almacenar hojas	 Bandeja superior	 Bandeja superior	 Bandeja horizontal inferior
Seleccionar una hoja	 Rodillos de alimentación y separación	 Alzador y rodillo de alimentación	 Alzador con rodillos de alimentación y separación
Transportar una hoja	 Un rodillo de transporte con guía para el papel	 Doble rodillo de transporte	
Cambiar posición de hoja	 Un rodillo	 Mover el cabezal en dos dimensiones con la hoja fija	



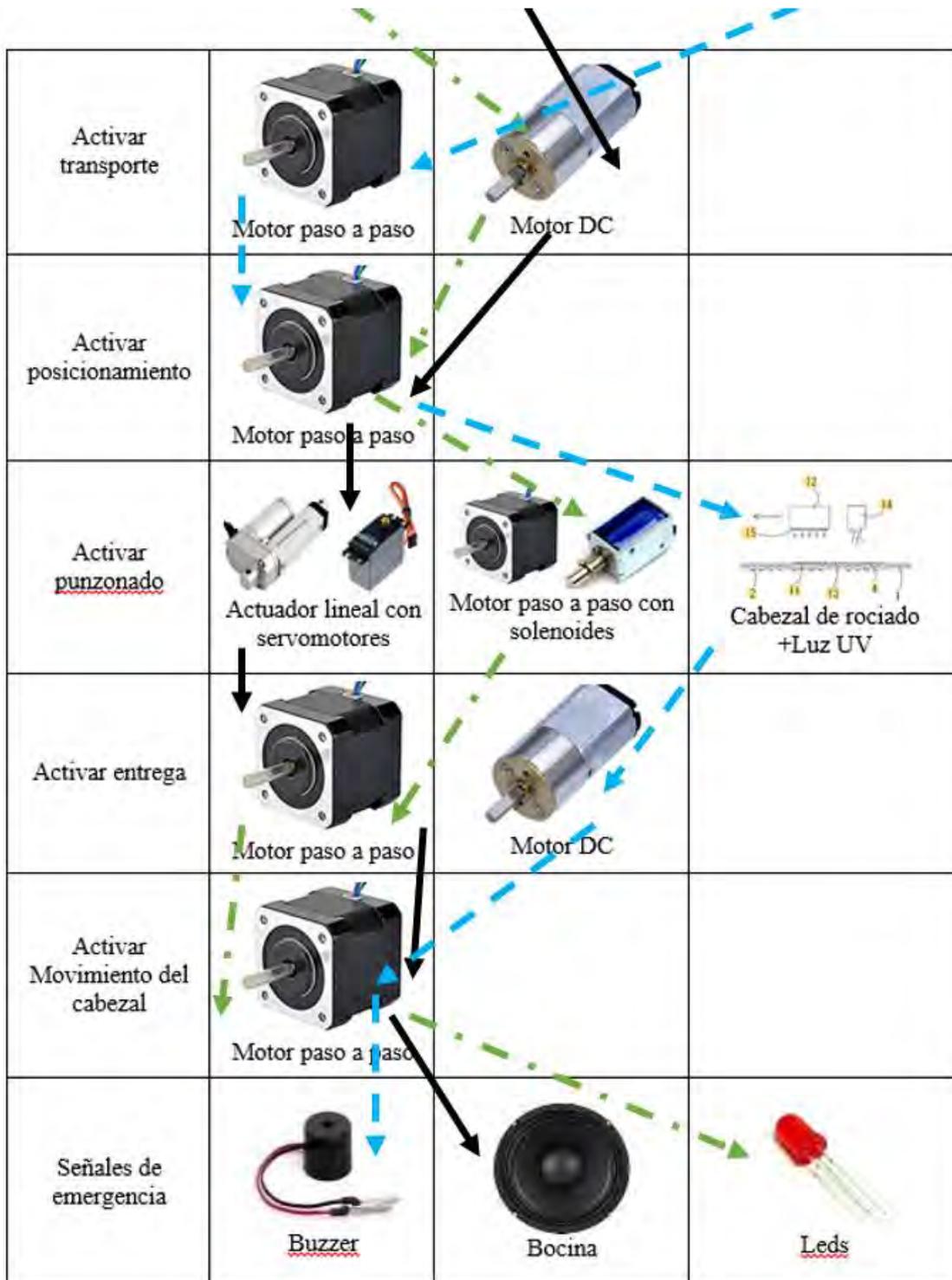
Fuente: Elaboración propia.



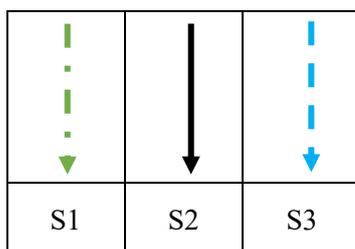
## A.2 Matriz del subsistema de actuadores

Tabla A.2: Matriz con conexiones del subsistema de actuadores.

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Activar selección de hoja	 Motor DC	 Motor DC con solenoide	 Motor paso a paso con solenoide

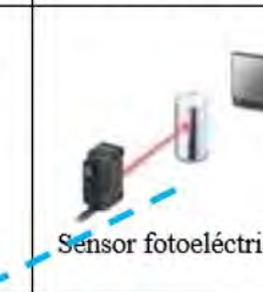
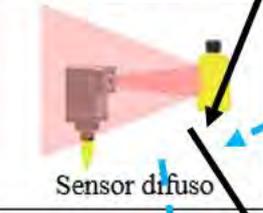
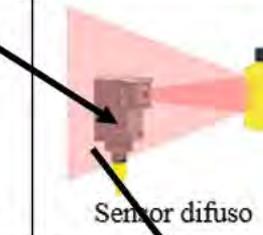


Fuente: Elaboración propia.

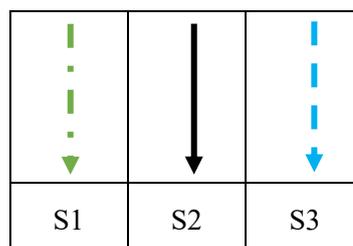


A.3 Matriz del subsistema de sensores

Tabla A.3: Matriz con conexiones del subsistema de sensores.

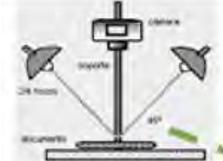
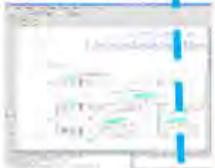
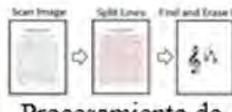
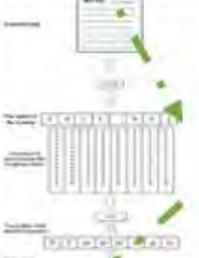
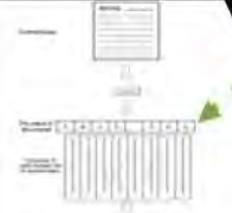
Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Detectar posición del papel	 <p>Sensor de ultrasonido + sensor de contacto</p>	 <p>Sensor fotoeléctrico</p>	 <p>Sensor fotoeléctrico</p>
Detectar hojas en el almacén de entrada	 <p>Sensor difuso</p>	 <p>Sensor de fin de carrera</p>	
Sensar dispensado	 <p>Sensor fotoeléctrico</p>	 <p>Sensor de fin de carrera</p>	 <p>Sensor de ultrasonido</p>
Detectar apertura del sistema	 <p>Sensor de fin de carrera</p>	 <p>Sensor fotoeléctrico</p>	 <p>Sensor difuso</p>
Sensar posición del cabezal	 <p>Sensor láser</p>	 <p>Sensor láser con sensor de fin de carrera</p>	 <p>Sensor ultrasónico con sensor de fin de carrera</p>

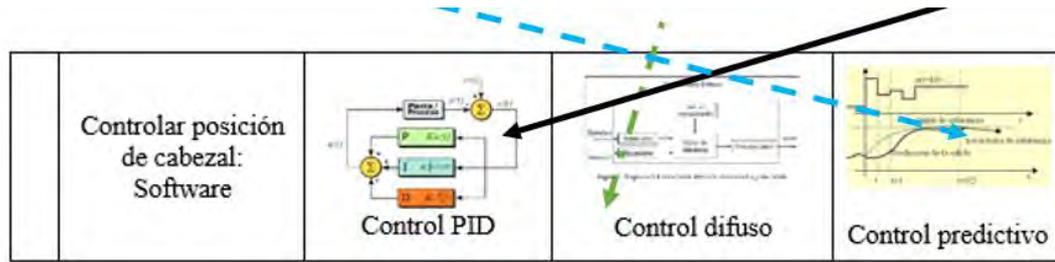
Fuente: Elaboración propia.



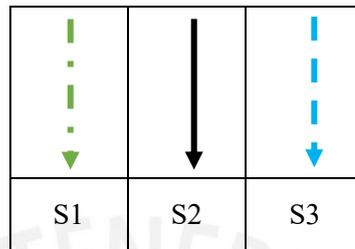
### A.4 Matriz del dominio de procesamiento y control

Tabla A.4: Matriz con conexiones del dominio de procesamiento y control.

Funciones parciales		Portadores de funciones		
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
HARDWARE	Escanear	 Cámara con iluminación externa	 Escáner de sobremesa	 Escáner tipo planetario
	Digitalizar Partitura	 PC	 <u>Raspberry Pi</u>	 <u>Beaglebone Black</u>
	Traducir			
	Calcular número de hojas impresas	 Microcontrolador	 <u>Raspberry Pi</u>	 <u>Beaglebone Black</u>
	Procesar datos de sensores			
	Validar datos			
	Verificar impresión completa			
	Controlar posición de papel			
Controlar posición del cabezal				
SOFTWARE	Digitalizar partitura	 Audiveris o Musecore (softwares gratuitos)	 Procesamiento de imágenes	 Redes neuronales
	Traducir	 Software free Dots	 Redes Neuronales	 Elaboración de algoritmo propio



Fuente: Elaboración propia.



### A.5 Matriz del subsistema de interfaz de usuario

Tabla A.5: Matriz con conexiones de la interfaz de usuario.

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Interfaz de usuario	 Pantalla táctil	 Panel de control con botones	 PC

Fuente: Elaboración propia.

### A.6 Matriz del dominio de energía

Tabla A.6: Matriz con conexiones del dominio de energía.

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Acondicionar voltaje de alimentación	 Fuente conmutada	 Fuente conmutada	 Fuente lineal
Regular energía al controlador	 Regulador de voltaje lineal	 Regulador de voltaje conmutado	



Fuente: Elaboración propia.

