



*ugr* | Universidad  
de Granada

TRABAJO FIN DE GRADO  
INGENIERÍA INFORMÁTICA

# Diseño e implementación de un sistema para el aprendizaje ante la dislexia basado en Arduino

---

## Autor

Jorge Navarro Ordóñez

## Director

Fernando José Rojas Ruiz



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS INFORMÁTICA Y DE  
TELECOMUNICACIÓN

—  
Granada, julio de 2020









# Diseño e implementación de un sistema para el aprendizaje ante la dislexia basado en Arduino

---

## Autor

Jorge Navarro Ordóñez

## Director

Fernando José Rojas Ruiz



# **Diseño e implementación de un sistema para el aprendizaje ante la dislexia basado en Arduino**

Jorge Navarro Ordóñez

**Palabras clave:** Arduino, Hardware, Software, C++, dislexia, disgraxia, discalculia.

## **Resumen**

El objetivo de este proyecto es el diseño, creación e implementación de un sistema para ayudar a las personas en el tratamiento de los problemas asociados a la dislexia, mejorando habilidades como capacidad espacial, coordinación motora, memoria y razonamiento lógico. El interés principal de la realización de este proyecto reside en la oportunidad de construir un sistema que proporcione mejoras en su calidad de vida.

Este proyecto se compone de dos partes, hardware y software. Ambas han estado fuertemente relacionadas entre sí durante el desarrollo, para que el resultado final cumpla las expectativas propuestas. En la primera, se analizan los requisitos para los componentes, el montaje y el soporte del sistema, buscando la implementación que mejor se adapta a ellos y utilizando como eje principal el uso de un dispositivo Arduino. En la segunda, se desarrolla el código del programa, escrito en lenguaje C++, que gestiona la funcionalidad del sistema.



# **Design and implementation of a learning system against dyslexia based in Arduino**

Jorge Navarro Ordóñez

**Keywords:** Arduino, Hardware, Software, C++, dyslexia, dyspraxia, dyscalculia.

## **Abstract**

The aim of this project is the design, creation and implementation of a system to help people in the treatment of problems associated with dyslexia, improving some skills such as spatial capacity, coordination, memory and logical reasoning. The main interest in carrying out this project lies in the opportunity of building a system that improve their quality of life.

This project is made up of two parts, hardware and software. Both of them have been closely related to each other during development, so that the final result meets the proposed expectations. In the first one, the requirements for the components, the assembly and the support of the system are analyzed, looking for the implementation than best suits them, and using the Arduino device as the main axis. For the second one, the program code is developed and written in C++ language, which manages the functionality of the system.



---

Yo, **Jorge Navarro Ordóñez**, alumno de la titulación GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA de la **Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación de la Universidad de Granada**, con DNI 53745647Y, autorizo la ubicación de la siguiente copia de mi Trabajo Fin de Grado en la biblioteca del centro para que pueda ser consultada por las personas que lo deseen.

Fdo: Jorge Navarro Ordóñez

Granada a 07 de julio de 2020.



---

D. **Fernando José Rojas Ruiz**, Profesor del Departamento Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada.

**Informa:**

Que el presente trabajo, titulado *Diseño e implementación de un sistema para el aprendizaje ante la dislexia basado en Arduino*, ha sido realizado bajo su supervisión por **Jorge Navarro Ordóñez**, y autorizamos la defensa de dicho trabajo ante el tribunal que corresponda.

Y para que conste, expiden y firman el presente informe en Granada a 07 de julio de 2020.

**El director:**

**Fernando José Rojas Ruiz**



# Agradecimientos

Para mis padres Javier y María, mi hermana Patricia y mi familia, por enseñarme que esfuerzo, constancia y humildad son los valores esenciales para la vida.

Para Ana, por caminar conmigo en esta aventura que nos ha unido y creer en mí aún cuando todo parece imposible.

Para mis hermanos perros, Mario, Alex y Abel, que han sido fuente de inspiración y motivación en los días difíciles.

Para mis amigos del instituto, Álvaro, Jesús y Fernando. Por tantos momentos irrepetibles.

Para todas las personas con las que he tenido la suerte de estudiar o trabajar, que me han ayudado a crecer personal y profesionalmente.

Para mi tutor, por acogerme desde el principio y guiarme en este proyecto.



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>19</b>
1.1. Motivación . . . . .	20
1.2. Objetivos . . . . .	20
1.3. Estructura de la memoria . . . . .	21
<b>2. Conceptos y revisión de tecnologías</b>	<b>23</b>
2.1. Dislexia . . . . .	23
2.1.1. Causas . . . . .	24
2.1.2. Consecuencias . . . . .	24
2.1.3. Tipos . . . . .	24
2.2. Patologías asociadas . . . . .	25
2.2.1. Dispraxia . . . . .	25
2.2.2. Discalculia . . . . .	25
2.3. Antecedentes . . . . .	26
2.3.1. Aplicaciones móviles . . . . .	26
2.4. Propuesta de proyecto . . . . .	29
<b>3. Materiales y métodos</b>	<b>31</b>
3.1. Hardware . . . . .	31
3.2. Software . . . . .	34
<b>4. Desarrollo del proyecto</b>	<b>35</b>
4.1. Organización . . . . .	35
4.2. Control de versiones . . . . .	36
4.3. Documentación . . . . .	36
4.4. Hardware . . . . .	37
4.4.1. Diseño . . . . .	37
4.4.2. Simulación . . . . .	45
4.4.3. Montaje . . . . .	45
4.5. Software . . . . .	49
<b>5. Resultados</b>	<b>55</b>

<b>6. Planificación y recursos</b>	<b>63</b>
6.1. Etapas . . . . .	63
6.2. Costes . . . . .	65
<b>7. Conclusiones</b>	<b>67</b>
7.1. Ampliaciones y mejoras . . . . .	68
7.2. Valoración personal . . . . .	68

# Índice de figuras

2.1. iCuadernos . . . . .	27
2.2. Modmath . . . . .	28
3.1. HP Elitebook 8470p . . . . .	31
3.2. Arduino Mega . . . . .	32
3.3. LCD 1602 . . . . .	32
3.4. Teclado . . . . .	33
3.5. Joystick . . . . .	33
4.1. Trello . . . . .	35
4.2. GitHub . . . . .	36
4.3. Overleaf . . . . .	36
4.4. Conexión Pantalla LCD . . . . .	39
4.5. Conexión teclado . . . . .	41
4.6. Conexión Joystick . . . . .	43
4.7. Esquemático completo . . . . .	44
4.8. Caja de montaje: Interior . . . . .	45
4.9. Caja de montaje: Lateral inferior . . . . .	46
4.10. Caja de montaje: Lateral superior . . . . .	47
4.11. Caja de montaje: Frontal . . . . .	48
4.12. Arduino IDE . . . . .	49
4.13. Generación aleatoria . . . . .	50
5.1. Prototipo final . . . . .	55
5.2. Sistema: Menú principal . . . . .	56
5.3. Sistema: Juego direcciones (1) . . . . .	57
5.4. Sistema: Juego direcciones (2) . . . . .	58
5.5. Sistema: Juego operaciones (1) . . . . .	59
5.6. Sistema: Juego operaciones (2) . . . . .	60
5.7. Sistema: Respuesta correcta . . . . .	61
5.8. Sistema: Puntuación . . . . .	62
6.1. Planificación proyecto . . . . .	63
6.2. Diagrama de planificación . . . . .	64



# Índice de tablas

4.1. Conexiones LCD1602 - Arduino. . . . .	38
4.2. Conexiones Teclado - Arduino. . . . .	40
4.3. Conexiones Joystick - Arduino. . . . .	42
6.1. Costes materiales del proyecto. . . . .	65



# Capítulo 1

## Introducción

Desde el inicio de nuestra vida, el cerebro va adquiriendo pequeños conocimientos y forma para nosotros las nociones que necesitamos para sobrevivir en el mundo que nos rodea. A medida que vamos creciendo, el sistema educativo hace que en cada curso tengamos que cumplir unos objetivos formativos, que aumentan progresivamente su dificultad. En cada uno de nosotros se plantean una serie de retos y dificultades propias que pueden darse en mayor o menor medida, y ser semajantes a las que sufren personas de la misma condición.

El proyecto que se plantea para este trabajo parte de un propósito principal, desarrollar un sistema para la ayuda en la enseñanza de personas que se ven afectadas por trastornos del aprendizaje, más concretamente, la dislexia. Durante la realización del proyecto, se han aplicado la base de algunos conocimientos estudiados en los años de Universidad, siendo necesario la adquisición de nuevos conceptos y estudio de tecnologías diferentes a las vistas anteriormente, en especial, en lo referente a la rama de diseño electrónico y programación.

Una de las ideas principales de este sistema es la de poder ser fácilmente utilizado con cualquier persona que sufra patologías asociadas al trastorno de la dislexia, sin exigir una alta capacidad física o motora, con el fin de ser aplicado para ayudar y mejorar la vida diaria de las personas. Al mismo tiempo, el sistema debe ser portátil y económico, teniendo en cuenta que no todo el mundo tiene acceso a medicinas o tratamientos especiales, ni tampoco a tecnologías avanzadas que puedan servir de apoyo.

## 1.1. Motivación

Durante los años previos a la realización de este proyecto, he tenido la oportunidad de trabajar en la formación deportiva de muchas personas, en un rango de edad muy amplio que, en algunos casos, mostraban dificultades en el momento de procesar la información proporcionada, para adquirir conocimientos, o para realizar movimientos físicos coordinados. En muchas ocasiones, esto causa un sentimiento de impotencia y frustración en quienes desean participar en una actividad y su cerebro crea un desorden que no les permite realizar acciones con soltura y rapidez. De igual forma, también sucede en la vida diaria de muchas personas que se ven afectadas en tareas como leer una noticia, orientarse en un mapa o conducir un automóvil siguiendo las indicaciones del navegador. Por ello, poder realizar una unión entre la solución a este problema y mis estudios para poder ayudar a la evolución de quién padece este tipo de trastornos, ofrece una oportunidad desafiante.

## 1.2. Objetivos

Los objetivos de este proyecto reunen diversos conocimientos y se dirigen al desarrollo del sistema final, con el fin de tener una herramienta que permita ayudar y mejorar la vida cotidiana de las personas. De esta forma, se pretenden alcanzar los siguientes puntos:

- Implementar un sistema portátil, económico y fácil de utilizar.
- Aprovechar la tecnología que Arduino ofrece como herramienta de desarrollo e interacción, así como su facilidad de adaptación como sistema empotrado para cualquier fin aplicable a trastornos similares.
- Diseño del esquema electrónico y creación del prototipo.
- Desarrollo de algoritmos que permitan el funcionamiento del sistema.
- Anticipar la detección de trastornos del aprendizaje en temprana edad, como también apoyo y ayuda en las etapas más avanzadas.
- Ofrecer la oportunidad de mejorar la calidad de vida de los posibles usuarios futuros del sistema, mediante una serie de actividades que permitan corregir los problemas más comunes asociados a la dislexia: dispraxia y discalculia.
- Probar en entornos reales con potenciales usuarios, para verificar la eficacia y usabilidad del sistema.

### 1.3. Estructura de la memoria

Esta memoria que describe el proyecto, se estructura en los capítulos que se exponen a continuación, junto a un breve resumen del contenido en cada uno de ellos.

En este primer capítulo, **Introducción**, se ha realizado una presentación del proyecto. Incluye una explicación dónde se exponen las motivaciones que han dado lugar a realizar el mismo. También se muestran los objetivos perseguidos y los pasos a realizar para conseguirlos. Por último, se hace una organización de la memoria del proyecto en los diferentes capítulos.

El segundo capítulo, **Conceptos y revisión de tecnologías**, realiza una introducción a los trastornos del aprendizaje que permite comprender el contexto de aplicación del proyecto. Por otra parte, se encuentra una descripción sobre técnicas y sistemas actuales existentes en la ayuda a la dislexia, así como la propuesta que se expone en el presente proyecto.

El tercer capítulo, **Materiales y métodos**, comienza con una descripción de los componentes del módulo hardware y las herramientas que permiten su diseño y simulación. En la segunda parte, se muestra el software utilizado para la realización del proyecto.

El cuarto capítulo, **Desarrollo**, muestra la descripción del proceso de diseño y desarrollo del proyecto en las partes hardware y software.

El quinto capítulo, **Resultados**, ofrece el resultado final obtenido, con imágenes del prototipo construido y en funcionamiento.

El sexto capítulo, **Planificación y recursos**, muestra la organización llevada a cabo para el desarrollo completo del proyecto, sus etapas y se muestran los costes de los recursos utilizados.

El séptimo capítulo, **Conclusiones**, emite unas líneas futuras de cara a posibles ampliaciones y actualizaciones que puedan mejorar su calidad, eficacia y competitividad, así como las ideas adquiridas durante la realización del proyecto y una valoración personal del mismo.



## Capítulo 2

# Conceptos y revisión de tecnologías

En este capítulo trataremos de comprender los trastornos relacionados con el aprendizaje, entre ellos la dislexia, analizando sus causas, consecuencias y tipologías. También se realizará un estudio de los sistemas actuales que permiten ayudar en el tratamiento de las personas que lo sufren.

### 2.1. Dislexia

La Organización Mundial de la Salud define la dislexia como un trastorno específico de la lectura cuyo rasgo principal es una dificultad específica y significativa en el desarrollo de las habilidades para la lectura que no puede explicarse únicamente por la edad mental, problemas de precisión visual o una escolarización inadecuada. Varias capacidades se ven afectadas: comprensión lectora, reconocimiento de palabras escritas, la lectura oral y la realización de tareas.

La dislexia [1] constituye el 80 % de los diagnósticos relacionados con trastornos del aprendizaje, teniendo una incidencia entre el 2-8 % de los niños escolarizados. Existe un porcentaje mayor entre el género masculino y es habitual que los casos cuenten con antecedentes familiares, aún no habiendo sido identificados. Por otra parte, también supone un importante factor de abandono escolar y se sitúa como la más frecuente entre las dificultades en la lectura y aprendizaje. Suele estar asociada al trastorno del cálculo y la expresión escrita y es habitual que las personas afectadas padezcan de problemas de atención e impulsividad. La identificación de la dislexia, ha provocado debates durante las últimas décadas, dónde se han expuesto numerosas causas para su justificación e incluso se ha llegado a dudar de su existencia.

### 2.1.1. Causas

Los estudios de neuroimagen [2] han aportado la creencia de que la dislexia tiene una base neurobiológica. En el cerebro de un disléxico, se produce una alteración durante la formación neuronal, concretamente en el periodo del desarrollo embrionario. Se forman entonces unos cúmulos llamados ectopias, que desorganizan las conexiones implicadas en los procesos de lectoescritura situados en el interior de la corteza.

Gracias a la ayuda recibida por los estudios en pacientes fallecidos, se conocen que ciertas áreas del hemisferio izquierdo muestran actividad reducida en las áreas implicadas en el procesamiento de la lectura. Con estos datos, podríamos afirmar entonces que la dislexia tiene un origen neurobiológico, con carga hereditaria y déficit fonológico como causas principales.

### 2.1.2. Consecuencias

Los efectos derivados de la dislexia son múltiples y, dependiendo del individuo, pueden darse en mayor o menor medida, siendo posible observar algunos de los siguientes:

- Desinterés por el estudio y caída del rendimiento escolar.
- Rechazo grupal. Llegan a ser personas consideradas con retraso intelectual, pudiendo tener como consecuencia una depresión.
- Inadaptación personal, sentimiento de inseguridad y terquedad para someterse a los tratamientos.
- En el caso de los niños, sufren de una sobreprotección paterna para salvaguardar sus problemas.

### 2.1.3. Tipos

Existen diversos tipos de dislexia, en los cuales es importante distinguir entre dislexia adquirida, que aparece a causa de una lesión cerebral, y la dislexia evolutiva donde el individuo presenta las dificultades asociadas sin una causa concreta que la explique. En ambas se pueden diferenciar otros tipos [3] en función de los síntomas predominantes:

- **Fonológica:** dificultad al realizar lecturas globales, deduciendo las palabras conocidas. Se comenten fallos visuales, por ejemplo, entre “lobo” y “lodo”, y errores de lexicalización. Esto puede dar lugar a problemas para comprender textos y hace prácticamente imposible leer palabras desconocidas. Un ejemplo visual de esta afección puede verse en [4].

- **Superficial:** dificultad al leer palabras cuya lectura y pronunciación no se corresponden. Afecta de forma más habitual a los niños y tiene una incidencia notable en los países angloparlantes, debido a que el inglés es un idioma donde las letras no tienen un único sonido.
- **Profunda o mixta:** en este caso, los dos procesos de lectura, fonológico y visual, se encuentran dañados. Únicamente los casos de dislexia evolutiva se ven afectados. Esto supone una dificultad para descifrar el significado de palabras, además de errores visuales y semánticos.

## 2.2. Patologías asociadas

Este proyecto pretende centrarse con especial interés sobre dos de las patologías asociadas a la dislexia, focalizando el uso del sistema al tratamiento y ayuda en estos casos: dispraxia y discalculia. En los siguientes puntos se analizan cada una de las patologías con mayor detalle.

### 2.2.1. Dispraxia

La dispraxia [5] es un trastorno del neurodesarrollo que afecta al movimiento y la coordinación. Las habilidades verbales, orales y motoras pueden verse afectadas y quien lo sufre, tiene dificultades para realizar actividades y movimientos coordinados. La razón principal es que los mensajes que el cerebro envía a los músculos son interrumpidos.

El sistema a desarrollar en este proyecto propone una herramienta de ayuda a personas con dispraxia motora, en concreto, a quienes tienen problemas para diferenciar entre los cuatro puntos cardinales en el espacio: arriba, abajo, izquierda y derecha. En la propuesta de proyecto puede verse en detalle como se desarrolla esta herramienta.

### 2.2.2. Discalculia

La discalculia [6] es un trastorno específico del desarrollo, con base biológica, que afecta al aprendizaje de las capacidades matemáticas y problemas aritméticos. La razón principal es una disfunción en las conexiones neuronales que procesan el lenguaje numérico. Se ven afectadas las capacidades para interpretar los símbolos numéricos y los conocimientos aritméticos en las operaciones de suma, resta, multiplicación y división.

El sistema a desarrollar en este proyecto propone una herramienta de ayuda a personas con discalculia, que tienen problemas para realizar operaciones aritméticas básicas. En la propuesta de proyecto puede verse en detalle como se desarrolla esta herramienta.

### 2.3. Antecedentes

El mercado tecnológico actual está repleto de sistemas y aplicaciones hechas para simplificar la vida de las personas. Desde realizar una compra o una simple consulta en la web, hasta juegos que permitan desarrollar la capacidad intelectual y creativa de cada individuo.

Por otra parte, el sistema educativo pretende ser inclusivo con una sociedad donde cada uno es diferente y cada vez más, se descubren trastornos y comportamientos no identificados anteriormente. No siempre se consigue este objetivo, y ante la posibilidad de dejar a alguien atrasado con respecto al resto, se plantean ayudas para evitar que puedan perder el ritmo normal de seguimiento de una clase o una actividad. Ante el reto que supone ayudar a tantas personas que sufren de algún síntoma relacionado con la dislexia, se realizan múltiples implementaciones de distintos sistemas, tanto haciendo uso de herramientas tecnológicas como diferentes metodologías docentes.

En este proyecto nos centraremos en estudiar los sistemas que tratan este trastorno mediante aplicaciones existentes en el mercado u otras propuestas recogidas por diversos órganos de estudio. Gracias a ello, podremos comparar en qué estado se encuentra nuestro objetivo y qué podemos aportar para sumar al beneficio común de esta causa.

#### 2.3.1. Aplicaciones móviles

El mercado actual de Apps interactivas [7], tiene una gran cantidad de aplicaciones creadas para ayudar y mejorar en la vida de las personas. Antes de comenzar a desarrollar este proyecto, se ha investigado y analizado acerca de las aplicaciones existentes creadas para los sistemas operativos más populares en el mercado, como son Android e iOS.

Este estudio se inicia realizando una búsqueda en las tiendas de Google Play y App Store con el término clave “dislexia”. Dado que el idioma que nos resulta interesante para nuestra búsqueda es el español, los resultados son filtrados para cumplir con el criterio especificado. Las aplicaciones seleccionadas han sido descargadas y probadas para observar de primera mano su funcionamiento, usabilidad y alcance.

### App iCuadernos by Rubio

En la tienda de Google, Play Store, se ofrecen más de 300 aplicaciones relacionadas con la dislexia, de las cuales la décima parte son en español. En varias de ellas, se cubren objetivos de aprendizaje matemático y las habilidades motoras de pequeños movimientos musculares. En este estudio analizaremos la aplicación “iCuadernos by Rubio”.

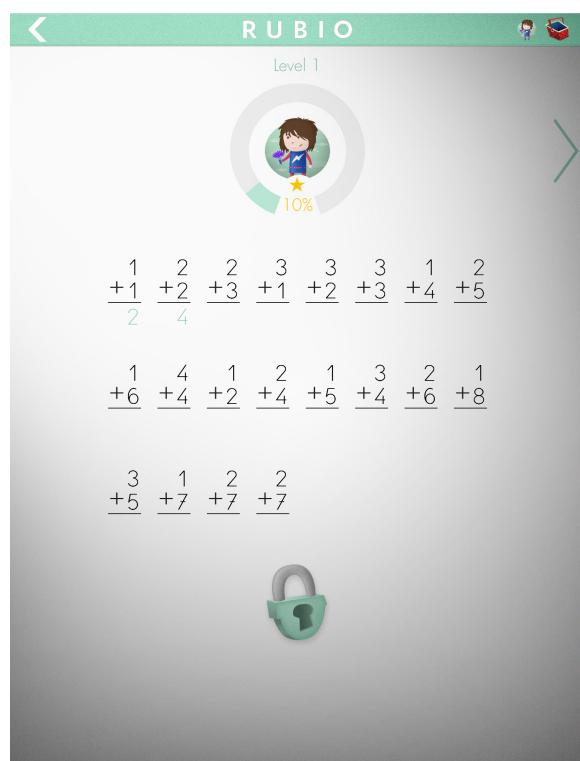


Figura 2.1: App iCuadernos by Rubio.

La App “iCuadernos by Rubio” [8] es una aplicación educativa infantil para niños de Cuadernos Rubio. Es multiplataforma y se puede descargar tanto en Android como iOS de forma gratuita, aunque se ofrecen compras dentro de la aplicación que permiten acceder a más funcionalidades. La edad recomendada de uso es entre los 6 y 12 años.

Al iniciar la aplicación, se requiere el registro de un perfil de usuario y la creación de un avatar representativo. Dentro de la tienda, se ofrecen diversos cuadernillos donde se pueden reforzar conocimientos: operaciones, problemas, colorear, desarrollo motriz y lectura. Cada cuaderno se compra utilizando tokens llamados “Rubis”, que a su vez se consiguen pagando con dinero real.

Una vez probados diversos tipos de cuadernos, vemos que la aplicación se muestra lenta, poco intuitiva, con dimensiones de tamaño de letra pequeños y baja luminosidad, como puede verse en la Figura 2.1, dificultando las tareas de manejo con el dispositivo electrónico a los niños, que son el principal usuario. La valoración de los usuarios le otorga una puntuación de 2,2 sobre 5 puntos. Por otra parte, podría ser utilizada para tratar la dislexia pero parece más una aplicación educacional de tipo general, en consecuencia, no ofrece nada específico.

### App Math Learner

En la tienda de Apple, App Store, se ofrece una cantidad más reducida de aplicaciones, de las cuales hay aún menos en español. Nos hemos centrado en el estudio de una de ellas que plantea objetivos de resolución de problemas matemáticos. Esta aplicación es “Math Learner”, que se analizará con detalles a continuación.

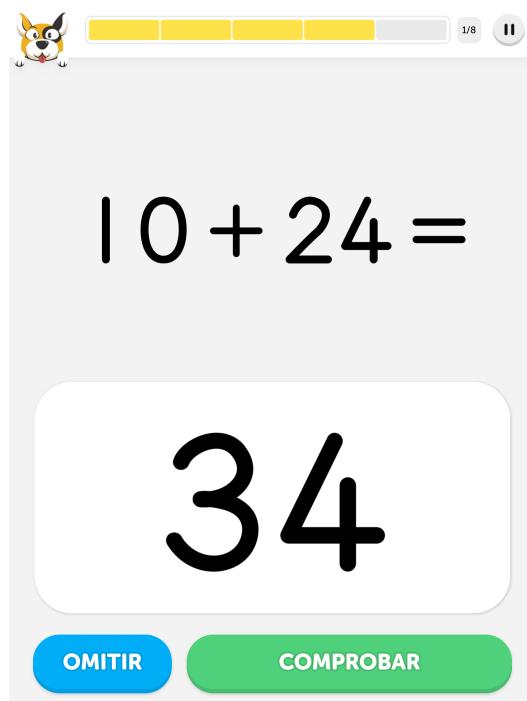


Figura 2.2: App Mat Learner.

La App “Math Learner” [9] es una aplicación para ayudar en el ámbito de las matemáticas a niños con dislexia y disgrafía. Únicamente se encuentra disponible para sistemas iOS de forma gratuita y ofrece múltiples funcionalidades, incluyendo algunas de pago.

Al instalar la aplicación se pide al usuario crear un perfil e introducir su edad para adaptar la dificultad inicial. Una vez dentro, se disponen de diferentes cuadernos de operaciones, que aumentan en complejidad conforme se van superando. Como puede verse en la Figura 2.2, la interfaz de cálculo se compone de la operación mostrada en la parte superior y un espacio en blanco en la parte inferior, dónde se escribe mediante la entrada táctil el resultado.

Una vez probada, concluimos que esta aplicación supera con creces a la anterior. Se muestra más accesible e intuitiva de cara a los potenciales usuarios que sufren de dislexia, ayudando a corregir errores tanto en el cálculo mental como en la caligrafía. La valoración de los usuarios le otorga una puntuación de 4,5 sobre 5 puntos, por lo que puede considerarse una aplicación a tener en cuenta.

## 2.4. Propuesta de proyecto

Este proyecto propone el desarrollo de un sistema autónomo, independiente y portátil, basado en Arduino, que ofrece un tratamiento para el apoyo en el aprendizaje ante el trastorno de la dislexia.

Tras haber repasado las aplicaciones actuales ofrecidas en el mercado, llegamos a la conclusión de la falta de materiales que se ofrecen en lengua española. La mayoría de Apps proponen diversos métodos para el tratamiento de la dislexia, con un enfoque especial hacia las habilidades lectoras, dejando de lado el cálculo numérico o las capacidades motoras. Por otra parte, es importante añadir que las dificultades de aprendizaje pueden surgir en diferentes situaciones sociales, por lo que no todo el mundo tiene acceso a los medios materiales tecnológicos suficientes para poder hacer frente a este trastorno, bien sea por elevado coste económico, o por la imposibilidad de tener una conexión de red a internet que permita sus descargas y actualizaciones. En este sentido, el proyecto intenta ser lo más accesible posible para cualquier usuario que necesite de su uso. El sistema a desarrollar en este proyecto, busca la creación de una aplicación de juegos en español, que ayude ante dos de las patologías asociadas a la dislexia no cubiertas de forma concreta por las aplicaciones existentes. Dentro de la aplicación, se ofrecen dos tipos distintos de juegos, explicados a continuación.

El primero consiste en elegir la dirección correcta ante una instrucción recibida en pantalla. El usuario debe mover el joystick hasta la posición indicada. De esta forma, se apoya al tratamiento de la disgraxia reforzando las habilidades motoras y de concentración, mejorando su capacidad de orientación espacial.

En el segundo, se proponen la realización de cálculos matemáticos. En la pantalla se muestran operaciones sencillas de suma, resta o multiplicación, que el usuario debe resolver correctamente introduciendo el resultado por el teclado del sistema. De esta forma, se apoya al tratamiento de la discalculia, reforzando los procesos de razonamiento, las capacidades de memoria y las relaciones entre los símbolos numéricos.

## Capítulo 3

# Materiales y métodos

En el presente capítulo se describen los materiales y métodos utilizados para el desarrollo, implementación y realización del proyecto. Se muestran por separado la parte hardware y la parte software.

### 3.1. Hardware

En esta sección **Hardware**, se describen los componentes hardware necesarios para la realización del proyecto, tanto los utilizados para el diseño y desarrollo, como los correspondientes al dispositivo, que serán conectados en la tarjeta principal y hacen posible que se cumplan las funciones que aporta cada uno de ellos al proyecto. Los elementos utilizados se muestran a continuación.

#### HP Elitebook

HP Elitebook 8470p [10] es el equipo utilizado para la realización del proyecto, diseño y simulación hardware y desarrollo del software. Cuenta con un procesador Intel Core i5-3320 a 2.60GHz y 4.00 GB de memoria RAM. El sistema operativo utilizado durante el desarrollo es Windows 7 Professional.



Figura 3.1: Ordenador portátil HP Elitebook 8470p.

### Arduino Mega

La tarjeta Arduino Mega 2560 [11] es un microcontrolador que actúa como componente central del proyecto, se encarga de controlar al resto de elementos hardware que forman el sistema, así como de la ejecución del software. En este proyecto se utiliza la placa fabricada por Elegoo, compatible con el resto de componentes y el software de Arduino, siendo más económica que la original.



Figura 3.2: Tarjeta Arduino Mega 2560.

### Pantalla LCD 1602

La pantalla LCD de 2 filas y 16 caracteres en cada una, es el componente encargado de mostrar la visualización de la ejecución del programa principal, permitiendo de esta forma al usuario ser consciente en cada momento de las acciones que se están llevando a cabo en el sistema.



Figura 3.3: Pantalla LCD 1602.

### Teclado matricial

Teclado matricial de 4 filas y 4 columnas que actúa como interfaz para ofrecer al usuario la capacidad de interactuar con la aplicación, en los juegos en dónde sea preciso su uso.



Figura 3.4: Teclado matricial 4x4.

### Joystick analógico

Actúa como controlador direccional para ofrecer la interacción entre el usuario y la aplicación, en los juegos donde se precise su uso.



Figura 3.5: Joystick analógico.

### Resistencias y potenciómetro

Las resistencias son utilizadas para proteger diversos componentes del circuito y filtrar la corriente que circula por los elementos, evitando alteraciones o roturas por posibles subidas de tensión. El potenciómetro es necesario para controlar la tensión en la pantalla LCD y de esta forma conseguir el contraste óptimo para visualizar el contenido.

### 3.2. Software

En esta sección se muestran y describen el entorno de programación utilizado para el desarrollo del código de la aplicación y las librerías necesarias para brindar las funcionalidades deseadas al sistema, para hacerlo útil y usable. Para esto, se ha necesitado lo siguiente:

- **Arduino IDE 1.8.12** [12]

El framework de Arduino provee un entorno de código abierto, libre y gratuito para desarrollar el software, y es compatible para ser cargado en la memoria de cualquier tarjeta Arduino.

En este proyecto, permite el desarrollo del código C++ del programa principal del sistema. La versión elegida es la 1.8.12 por ser la más actual en el momento de inicio de la etapa de desarrollo del software.

- **Fritzing 0.9.4** [13]

Fritzing es una iniciativa de hardware, de código abierto, que ofrece una herramienta software accesible a cualquier persona para diseños de electrónica y fabricación de PCBs profesionales.

En este proyecto, permite el diseño del esquemático para el circuito del sistema y las conexiones entre los módulos, así como la simulación del funcionamiento previo al montaje definitivo.

- **Librería LyquidCristal 1.0.7** [14]

La librería LyquidCristal permite a la tarjeta Arduino controlar un display LCD compatible con la mayoría de los disponibles en el mercado, ofreciendo las funcionalidades necesarias para el uso del componente.

En este proyecto, permite el intercambio de la información que la pantalla LCD debe mostrar al usuario.

- **Librería KeyPad 3.1.1** [15]

La librería KeyPad permite a la tarjeta Arduino controlar y leer un teclado matricial en diferentes configuraciones.

En este proyecto, esta librería implementa la interfaz entre el usuario y el software del sistema para comprobar el estado del teclado. La versión más actual soporta múltiples pulsaciones, lo que facilita la integración del componente.

## Capítulo 4

# Desarrollo del proyecto

El presente capítulo expone todo lo relacionado con el desarrollo de este proyecto, las herramientas utilizadas para su organización y planificación, la gestión del control de versiones del código, la escritura de una documentación de soporte, el diseño y montaje en la parte hardware y finalmente, la parte software.

Para la parte hardware se muestran los componentes que constituyen el dispositivo prototipo, y razonando el uso de cada uno de ellos en las diferentes partes. También el diseño, simulación, y pruebas para el correcto funcionamiento del mismo.

En la parte de software se explicará la estructura del programa desarrollado, explicando los algoritmos e implementación que permiten completar el diseño final.

### 4.1. Organización

En el desarrollo de un proyecto, la organización del mismo es un punto de vital importancia si se quiere completar con éxito. De esta forma, podemos fijar los objetivos que se pretenden cumplir y los niveles de prioridad de cada uno. También permiten localizar defectos que suceden durante el periodo de pruebas.



Figura 4.1: Herramienta Trello para organización de tareas.

La gestión de las diferentes tareas a cumplir durante el desarrollo de un proyecto requiere de herramientas que nos permitan ver si los objetivos se cumplen. En este proyecto, se ha utilizado la plataforma Trello [16], que permite crear tableros de trabajo donde se añaden tareas, que se pueden mover entre listas que determinan si una tarea ya está realizada, se está realizando o aún está pendiente de realizar. De esta forma se facilita la organización del proyecto, tanto de forma individual como si se trabaja en equipo.

## 4.2. Control de versiones

Para el desarrollo del software, es fundamental utilizar herramientas que permitan anotar cambios y llevar un control de desarrollo para poder realizar un diseño incremental. En este proyecto se ha utilizado Git, aprovechando el almacenamiento online que ofrece la plataforma GitHub. En el enlace [18] se encuentra la dirección asociada al repositorio de este proyecto.



Figura 4.2: Plataforma GitHub para control de versiones.

## 4.3. Documentación

La escritura de un informe final dónde se detallan los aspectos más relevantes del proyecto, es un punto de alta importancia para recoger la información e ideas desarrolladas. En ese aspecto, esta memoria ha sido redactada mediante el sistema de composición de textos LaTeX con la plataforma Overleaf [17], que ofrece las herramientas para gestionar y ver el estado del documento de forma online, instantánea y gratuita.



Figura 4.3: Editor online Overleaf para documentación LaTeX.

## 4.4. Hardware

En esta sección se expone todo el contenido referente a la parte hardware del proyecto. En ella, se plantean los problemas derivados del desarrollo y las soluciones aportadas para resolver cada uno de ellos. Se muestra el diseño para cada componente del sistema y la razón por la cual se decide hacer de la forma elegida.

En primer lugar, nos centraremos en conocer y explicar la tarjeta Arduino, qué características contiene y que rendimiento ofrece, así como las conexiones que soporta. A continuación, se analizarán con detalle los múltiples componentes del sistema.

### 4.4.1. Diseño

El diseño de las partes hardware en este proyecto, se ha realizado utilizando la herramienta Fritzing que, cómo hemos mencionado anteriormente, es una herramienta de software accesible que permite el diseño y simulación de circuitos. Esta herramienta ha sido fundamental para poder llevar a cabo las primeras ideas en dónde aún no se disponía de los componentes físicos. Por otra parte, permite realizar pruebas y simulación para detectar errores en el diseño previos al montaje definitivo, minimizando la posibilidad de fallos y roturas de materiales por conexiones mal resueltas.

#### Arduino general

Arduino Mega 2560 es un microcontrolador de la familia Arduino, que se compone de 16 entradas analógicas, 54 pines digitales de los cuales 15 tienen salida PWM, un reloj de frecuencia 16 MHz, conexión USB serie, función de reset y entrada de alimentación. Dispone también de una memoria flash de 256 KB. La alimentación puede ser efectuada mediante la conexión USB, o una fuente externa, que puede estar conectada a la red eléctrica o a una batería externa.

En este proyecto, aprovecharemos los pines digitales para la lectura del teclado y los que disponen de salida PWM para el control de datos con la pantalla LCD y el pulsador del joystick. Por otra parte, las entradas analógicas nos proporcionan la capacidad de controlar la posición del joystick. El software del programa del sistema es cargado mediante el puerto serie y la alimentación se conecta una batería externa de 9V, con un adaptador para facilitar el montaje.

### Conección con pantalla LCD

El LCD1602 es una pantalla alfanumérica de tamaño 16x2 dónde se pueden mostrar 16 caracteres en 2 líneas diferentes. Conectado al potenciómetro, permite regular la retroiluminación para lograr un contraste acorde a cada situación de uso. Dispone de 16 pines de conexión, aunque en este diseño sólo han sido necesarios utilizar 12. A continuación, se muestra la relación de conexión entre el LCD1602 y la tarjeta Arduino, mientras en la Figura 4.4 se puede ver el esquemático correspondiente.

Analizando en detalle la Tabla 4.1 vemos que:

- Los pines VSS, R/W y LED- se conectan a tierra.
- Los pines VDD y LED+ se conectan a la corriente de 5V, suministrando energía a la pantalla.
- El pin V0 se conecta al potenciómetro, proporcionando una salida de tensión variable que permite regular la iluminación de la pantalla.
- Los pines RS y E, que tienen función de control, se conectan a los pines digitales D6 y D7.
- Los pines DB4, DB5, DB6 y DB7, que tienen función de datos, se conectan a los pines digitales D8, D9, D10 y D11.

LCD 1602	Arduino Mega 2560
Pin 1: VSS	GND
Pin 2: VDD	5V
Pin 3: V0	Potenciómetro
Pin 4: RS	Pin Digital: D6
Pin 5: R/W	GND
Pin 6: E	Pin Digital: D7
Pin 11: DB4	Pin Digital: D8
Pin 12: DB5	Pin Digital: D9
Pin 13: DB6	Pin Digital: D10
Pin 14: DB7	Pin Digital: D11
Pin 15: LED+	5V
Pin 16: LED-	GND

Tabla 4.1: Conexiones LCD1602 - Arduino.

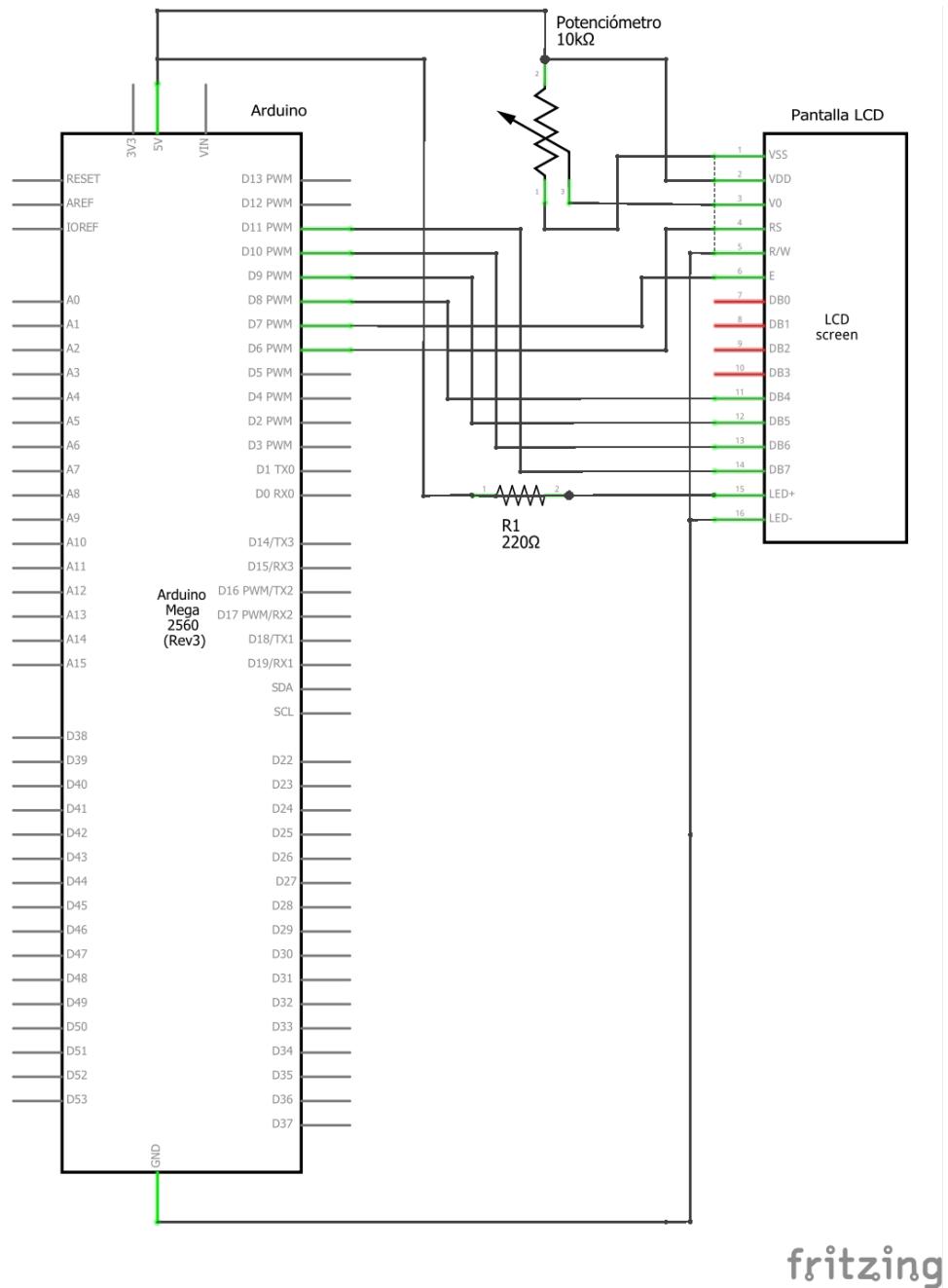


Figura 4.4: Conexión de la tarjeta Arduino con la pantalla LCD.

### Conección con teclado matricial

El teclado matricial es un dispositivo que agrupa varios pulsadores y permite controlarlos de forma más sencilla e intuitiva que si se dispusieran individualmente. Se compone de 16 pulsadores alfanuméricos situados en forma de matriz cuadrada de cuatro filas por cuatro columnas. Por tanto, se necesitan 8 pines para realizar las lecturas del teclado. A continuación, se muestra la relación de conexión entre el LCD1602 y la tarjeta Arduino, mientras en la Figura 4.5 se puede ver el esquemático correspondiente.

Analizando en detalle la Tabla 4.2 vemos que:

- Los pines 1f, 2f, 3f y 4f, correspondientes a las filas, se conectan a los pines digitales 46, 47, 48 y 49 de la tarjeta Arduino.
- Los pines 5c, 6c, 7c y 8c, correspondientes a las columnas, se conectan a los pines digitales 50, 51, 52 y 53 de la tarjeta Arduino.
- Su funcionamiento se basa principalmente en conectar un extremo del pulsador a una entrada digital y el otro a la tierra.

Teclado	Arduino Mega 2560
Pin Fila 1: 1f	Pin Digital: D46
Pin Fila 2: 2f	Pin Digital: D47
Pin Fila 3: 3f	Pin Digital: D48
Pin Fila 4: 4f	Pin Digital: D49
Pin Columna 1: 1c	Pin Digital: D50
Pin Columna 2: 2c	Pin Digital: D51
Pin Columna 3: 3c	Pin Digital: D52
Pin Columna 4: 4c	Pin Digital: D53

Tabla 4.2: Conexiones Teclado - Arduino.

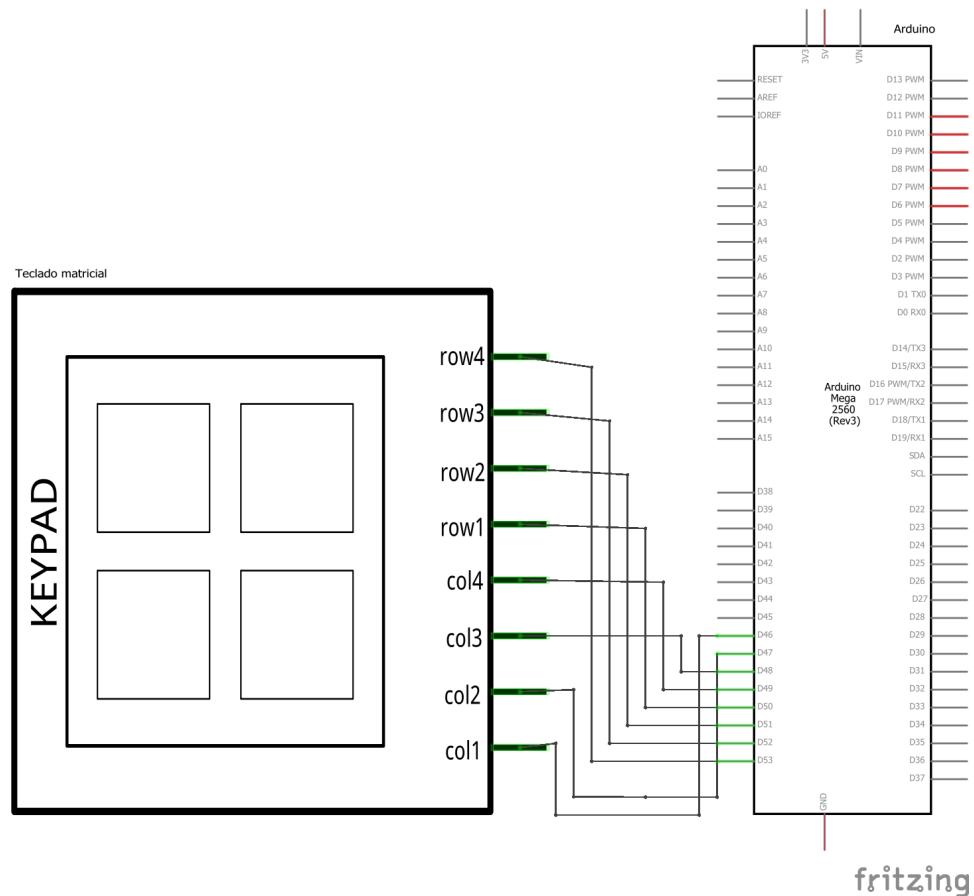


Figura 4.5: Conexión de la tarjeta Arduino con el teclado matricial.

### Conección con joystick analógico

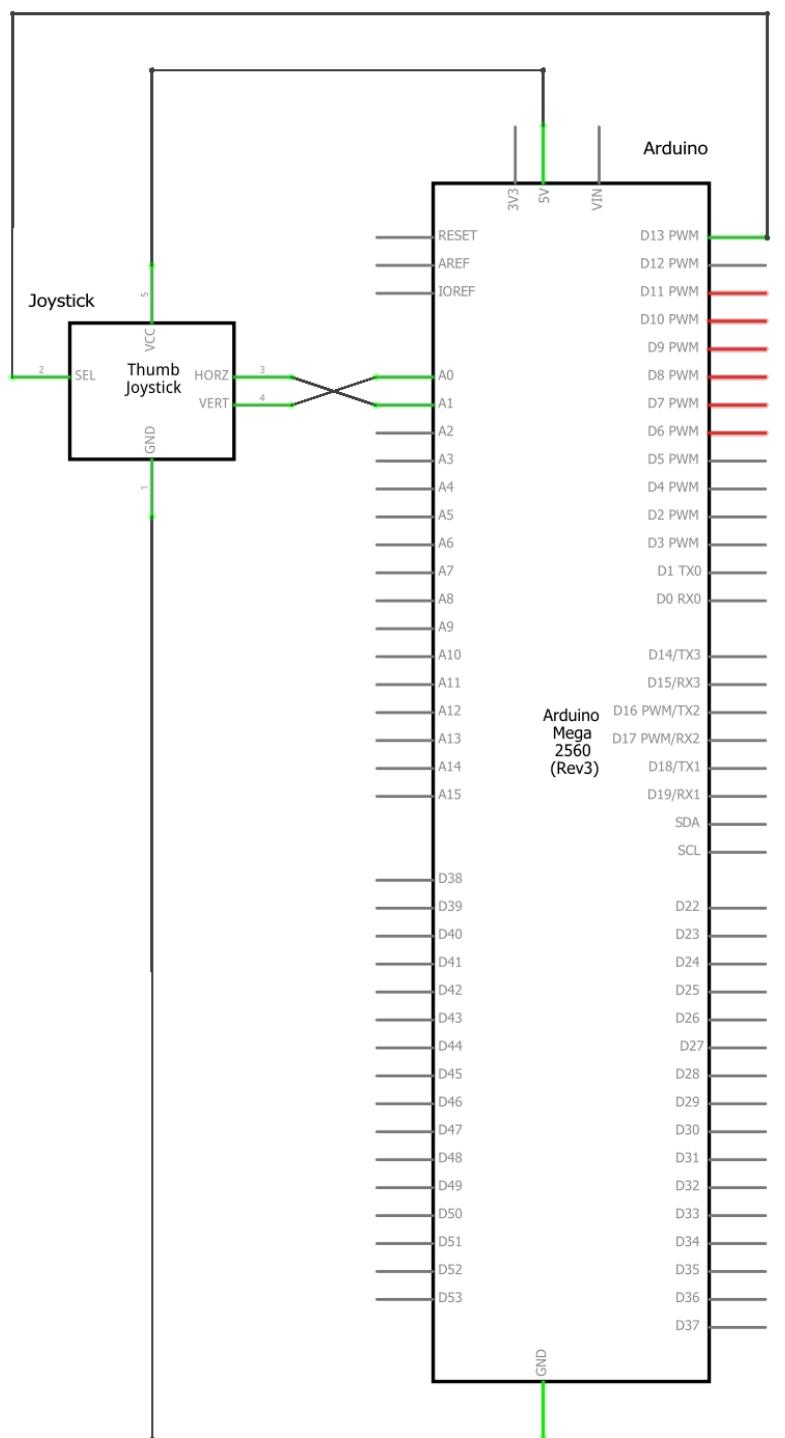
El joystick analógico proporciona un controlador direccional que nos permite leer de forma precisa la posición a dónde se mueve. También dispone de un pulsador que se activa al ser empujado hacia adentro. El módulo se compone de 5 pines para poder realizar las lecturas que permiten conocer la situación del movimiento en el joystick. A continuación, se muestra la relación de conexión entre el joystick y la tarjeta Arduino, mientras en la Figura 4.6 se puede ver el esquemático correspondiente.

Analizando en detalle la Tabla 4.3 vemos que:

- El pin VCC se conecta a la corriente de 5 voltios.
- El pin GND se conecta a la tierra.
- Los pines VRx y VRy se conectan a los pines analógicos A0 y A1. Con ellos, se realiza la lectura de la posición del joystick en cada uno de los ejes.
- El pin Switch se conecta al pin digital D13 para detectar la pulsación del joystick.

Joystick	Arduino Mega 2560
GND	GND
VCC	5V
VRx	Pin Analógico: A0
VRy	Pin Analógico: A1
Switch	Pin Digital: D13

Tabla 4.3: Conecciones Joystick - Arduino.



fritzing

Figura 4.6: Conexión de la tarjeta Arduino con el joystick analógico.

### Esquemático final

Tras analizar el diseño de cada uno de los componentes hardware por separado, podemos obtener el ruteado completo del circuito final, en dónde todos los componentes se conectan a la tarjeta Arduino, y esta a su vez, se encuentra conectada a una fuente de alimentación compuesta por una batería externa de 9 voltios. En la Figura 4.5 puede verse el esquemático final del circuito.

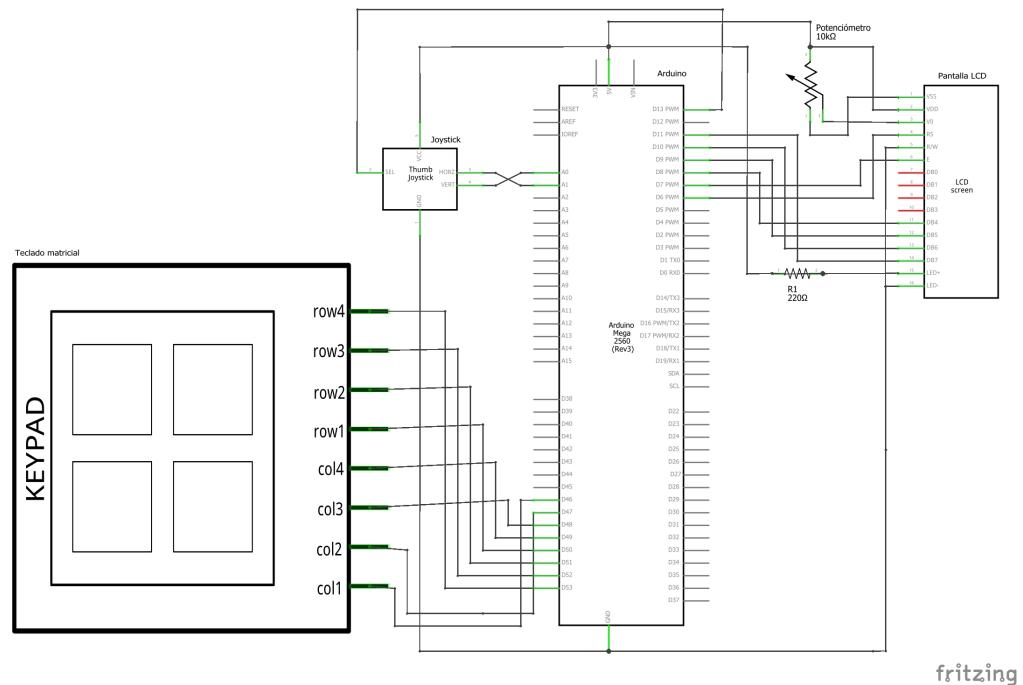


Figura 4.7: Esquema ruteado completo.

#### 4.4.2. Simulación

La simulación del funcionamiento del circuito es uno de los puntos vitales en el desarrollo de un proyecto hardware. Este procedimiento resulta necesario para prevenir errores en la etapa de diseño que, al ser trasladados al montaje, hacen que este funcione de forma no deseada e incluso se puedan provocar daños en los materiales.

En este proyecto, la simulación ha sido realizada también con la herramienta Fritzing, que permite utilizar el código software para probar cada uno de los componentes. De esta forma, se consigue verificar que el hardware cumple con la funcionalidad requerida.

Cada componente necesario para la construcción de este sistema, primero ha sido testeado de forma individual para, una vez comprobado, ser añadido al circuito final. Al unir todos, de nuevo, se vuelve a probar para certificar que el sistema general funciona de forma idónea.

#### 4.4.3. Montaje

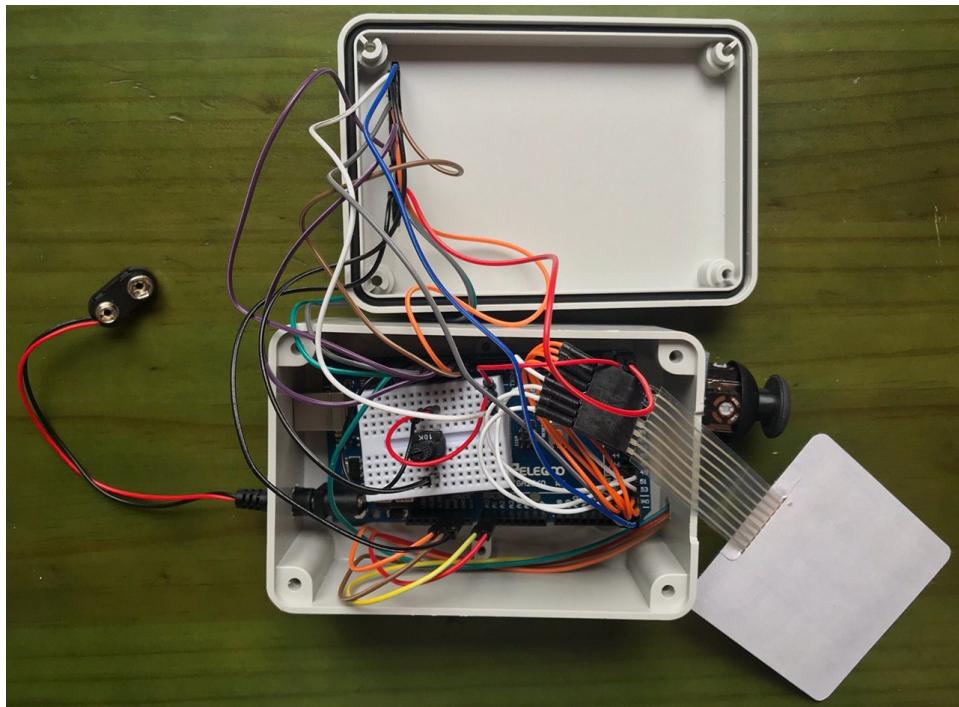


Figura 4.8: Interior de la caja y enrulado del sistema.

El montaje del prototipo del proyecto se ha realizado mediante una caja de montaje electrónico, tal y como se muestra en la Figura 4.8, dónde se pueden situar los componentes y establecer las conexiones, de forma que el sistema quede situado en un aparato físico manejable y dónde el usuario únicamente está en contacto con las interfaces propuestas: pantalla, teclado y joystick.

En la Figura 4.9 se muestra la parte lateral inferior, en dónde se sitúan el joystick y una pequeña entrada para introducir sus conexiones al interior de la caja de montaje.



Figura 4.9: Lateral inferior y joystick analógico.

Por otra parte, en la Figura 4.10 se muestra la parte lateral superior, que contiene la abertura para conectar la tarjeta Arduino a una fuente de alimentación, bien sea una batería o un adaptador con enchufe a la red.



Figura 4.10: Lateral superior y clip de la pila de 9V.

En último lugar, en la Figura 4.11 se muestra la parte frontal, dónde se sitúan la pantalla del sistema y el teclado.

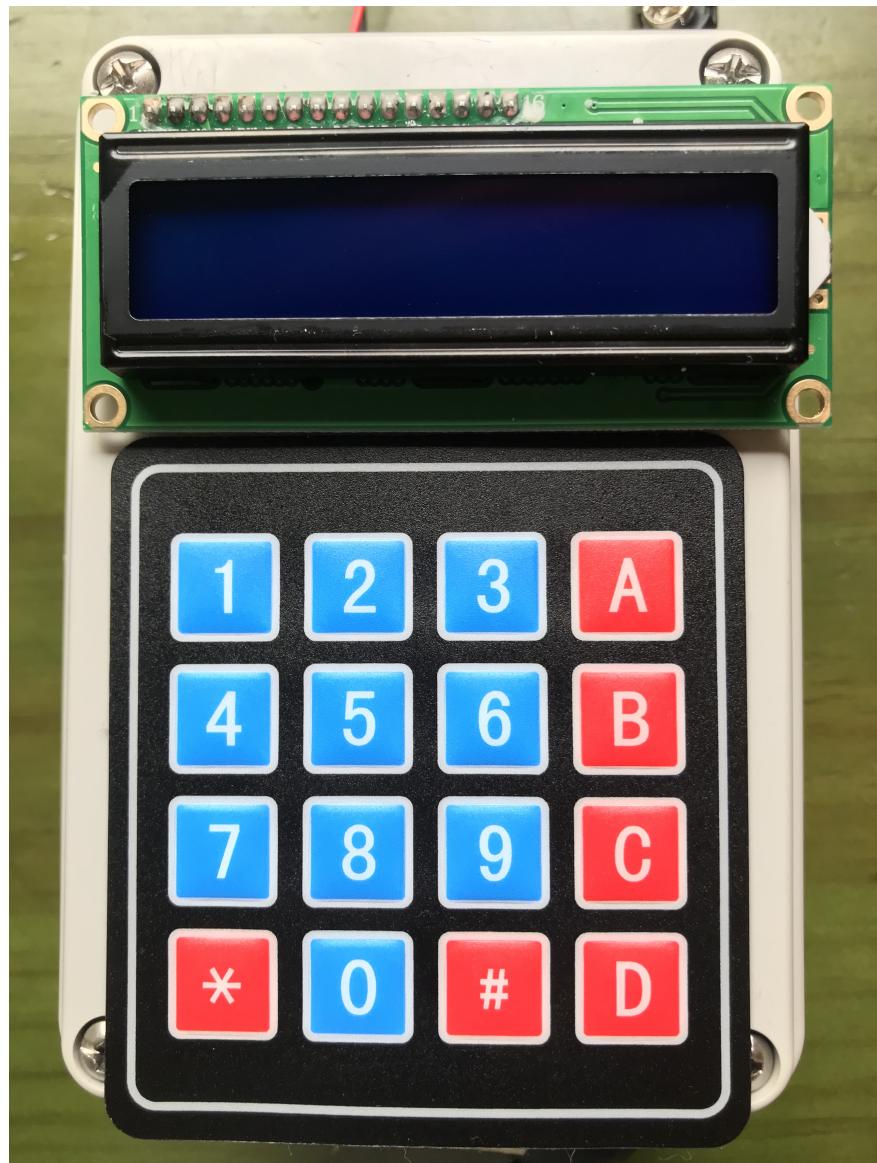


Figura 4.11: Frontal con pantalla y teclado.

## 4.5. Software

En esta sección se expone todo el contenido referente a la parte software del proyecto. En ella, se muestra la instalación del software y librerías necesarias para el desarrollo del código del programa principal. Se plantean los problemas derivados y las soluciones aportadas para resolver cada uno de ellos.

En primer lugar, nos centraremos en conocer y explicar el entorno de programación Arduino, qué características contiene, y las librerías incluidas para el manejo de los componentes. A continuación, se analizará con detalle el código desarrollado.

### Arduino IDE

Arduino IDE es el entorno de desarrollo integrado de software libre utilizado para la escritura del código y la carga del programa implementado en la tarjeta Arduino. El software de este sistema está programado en lenguaje C++, junto al uso de las diferentes bibliotecas para la utilización de los componentes hardware.

Dentro de las herramientas, se dispone de medios para la visualización de monitor y puerto serie, así como para la conexión con la tarjeta Arduino por el puerto COM.

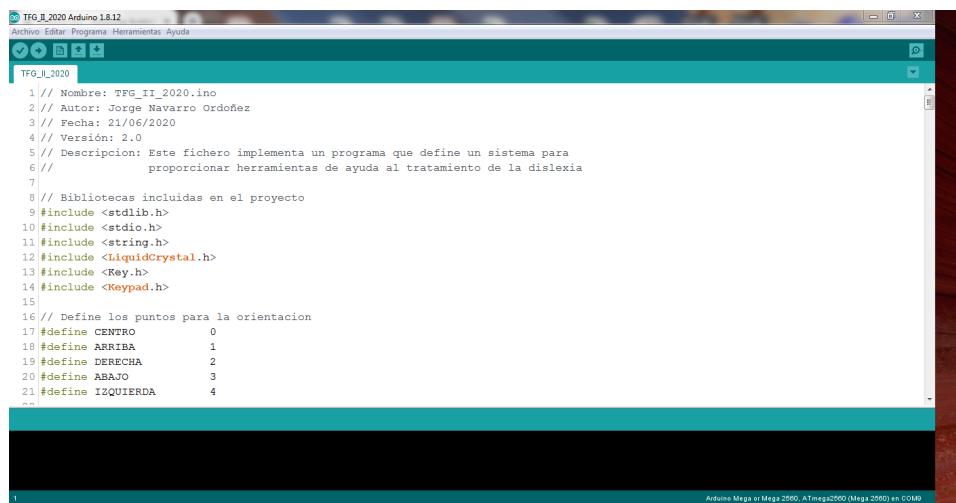


Figura 4.12: Entorno de desarrollo Arduino.

### Generación aleatoria

Para la realización de los juegos propuestos en este proyecto, es necesario la generación de números aleatorios, que provean de datos a las funciones que los requieran, dotando al sistema de aleatoriedad en los diversos juegos.

Esta aleatoriedad se consigue mediante la implementación de la función **generarNumAleatorio**. Esta función recibe como parámetros dos números de tipo entero, que marcan unos límites inferior y superior. La siguiente sentencia permite generar numeros aleatorios:

```
1 num = Inf + (int)((Sup - Inf + 1.0) * rand()) / (RAND_MAX + 1.0);
```

Como se muestra en la Figura 4.13, la gráfica Gnuplot muestra que los números aleatorios realmente se generan de forma equiprobable:

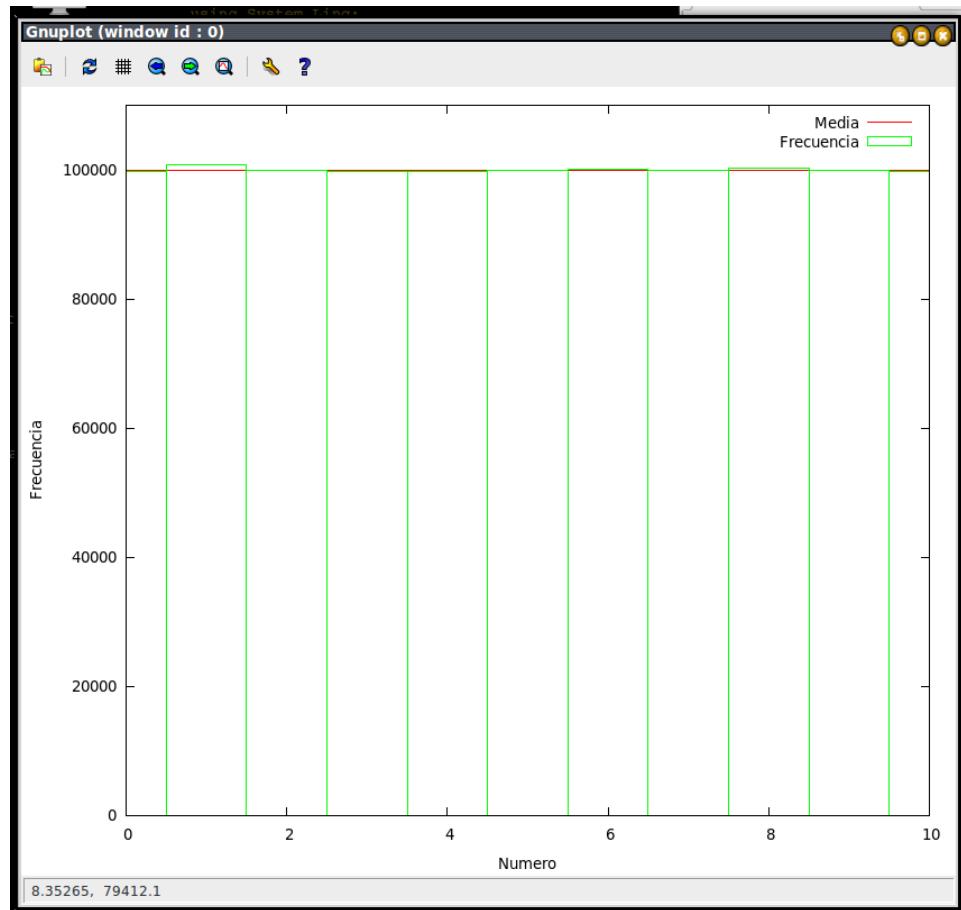


Figura 4.13: Generación aleatoria de números entre 1 y 10

### Calibración del joystick

La calibración del joystick supone una gran importancia para la consecución del control y manejo del juego direccional. El módulo que controla este componente, permite conocer su situación mediante una lectura analógica, dónde se recogen los datos de la posición en los ejes axiales 'X' e 'Y'. Por otra parte, el switch permite detectar de forma digital si se produce una pulsación sobre el botón.

Para gestionar este control posicional sobre el joystick, se ha implementado la función **obtenerDireccion**, que no recibe parámetros, y que se encarga de realizar las lecturas y comprobaciones pertinentes para devolver la posición en la que se encuentra el joystick.

En el siguiente código mostrado a continuación se realizan las lecturas analógicas en cada pin asignado a la tarjeta Arduino, obteniendo el valor en el eje 'X', en el eje 'Y', y comprobando si se produce la pulsación del botón. Durante este periodo, es necesario una breve pausa entre las lecturas de los valores analógicos para evitar problemas que desemboquen en datos inválidos.

```
1 Xvalue = analogRead(pinJoyX);
2 delay(100); // Pausa entre lecturas
3 Yvalue = analogRead(pinJoyY);
4 pulsado = digitalRead(buttonJoy);
```

Al realizar la lectura, se guarda en variables de tipo entero el valor para cada eje. Arduino toma una lectura analógica con valores desde 0 a 1023. De esta forma, se calculan las siguientes direcciones mediante la posición del joystick:

- **Eje X:** mediante la lectura del valor en el eje de abscisas, se determina si el joystick apunta hacia la izquierda o la derecha.
- **Eje Y:** mediante la lectura del valor en el eje de ordenadas, se determina si el joystick apunta hacia arriba o abajo.
- **Pulsador:** mediante la lectura del pulsador, y la comprobación de la posición, con valores cercanos al cruce de ambos ejes, se determina que el joystick marca la posición central.

El siguiente código muestra las comprobaciones que se llevan a cabo para determinar cada uno de los casos expuestos anteriormente.

```

1 // Determina si el joystick apunta hacia arriba
2 if(Yvalue == 0 && Xvalue < 750 && Xvalue > 250){
3     return ARRIBA;
4 }
5 // Determina si el joystick apunta hacia abajo
6 else if(Yvalue == 1023 && Xvalue < 750 && Xvalue > 250){
7     return ABAJO;
8 }
9 // Determina si el joystick apunta hacia el lado derecho
10 else if(Xvalue == 0 && Yvalue < 750 && Yvalue > 250){
11     return DERECHA;
12 }
13 // Determina si el joystick apunta hacia el lado izquierdo
14 else if(Xvalue == 1023 && Yvalue < 750 && Yvalue > 250){
15     return IZQUIERDA;
16 }
17 // Determina si el joystick esta centrado y pulsado
18 else if(Xvalue < 520 && Xvalue > 500 && Yvalue < 520 && Yvalue >
19     500 && !pulsado){
20     return CENTRO;
21 }
22 // En otro caso devuelve -1
23 else{
24     return -1;
}

```

### Instanciación de componentes

En esta penúltima sección, se va a mostrar el código empleado para la instanciación de los componentes que actuan como interfaces entre el sistema y los usuarios: pantalla, teclado y joystick.

Para el soporte con el teclado, se incluye en el proyecto la biblioteca Keypad, mediante la cual, se configura la distribución de los caracteres del teclado en forma de matriz y, se asigna un pin para cada fila o columna:

```

1 #include <Keypad.h>
2 // Inicializacion del teclado matricial 4x4
3 const byte COLUMNAS = 4; // Cuatro columnas
4 const byte FILAS = 4; // Cuatro filas
5 // Distribucion de caracteres en las teclas
6 char teclas[FILAS][COLUMNAS] = {
7     {'1','2','3','A'},
8     {'4','5','6','B'},
9     {'7','8','9','C'},
10    {'*','0','#','D'}
11 };
12 // Inicializacion de pines para Filas y Columnas
13 byte pinesFila[FILAS] = {46, 47, 48, 49};
14 byte pinesColumna[COLUMNAS] = {50, 51, 52, 53};

```

Para el soporte con la pantalla, se ha incluido en el proyecto la biblioteca LiquidCrystal, mediante la cual se puede crear un objeto lcd asignando los pines de conexión de datos:

```
1 #include <LiquidCrystal.h>
2 // Inicializacion de la pantalla LCD con los pines asignados
3 LiquidCrystal lcd(6, 7, 8, 9, 10, 11);
```

Por último, el joystick no utiliza ninguna biblioteca concreta. Sus conexiones se establecen mediante asignaciones entre variables del programa y los pines de la tarjeta:

```
1 // Inicializacion del joystick direccionable
2 const int pinJoyX = A0;
3 const int pinJoyY = A1;
4 const int buttonJoy = 13;
```

### Sistema de puntuación

Para finalizar, el juego implementa un sistema de puntos para premiar al usuario y motivar su avance en el juego. Al acertar la respuesta de una pregunta, se añaden 10 puntos a su marcador. Además, en el juego de cálculo mental, por cada intento resuelto incorrectamente, se restan 5 puntos.



## Capítulo 5

# Resultados

En este capítulo mostraremos los resultados obtenidos de este sistema basado en Arduino, la visualización del mismo y el funcionamiento sobre personas que sufren trastornos asociados a la dislexia.



Figura 5.1: Prototipo final del sistema.

Como se ha mostrado en el capítulo anterior, el montaje ha sido realizado utilizando una caja de montaje, que ha sido adaptada para cumplir el diseño pensado. Por motivos obvios, el montaje definitivo no debe dejar al alcance del usuario las conexiones del sistema, por tanto, el último paso es cerrar la caja mediante los tornillos situados en los laterales, quedando completo el sistema.

A continuación, se muestran algunas imágenes del sistema en funcionamiento.



Figura 5.2: Menú principal del sistema.



Figura 5.3: Juego de las direcciones.



Figura 5.4: Juego de las direcciones.

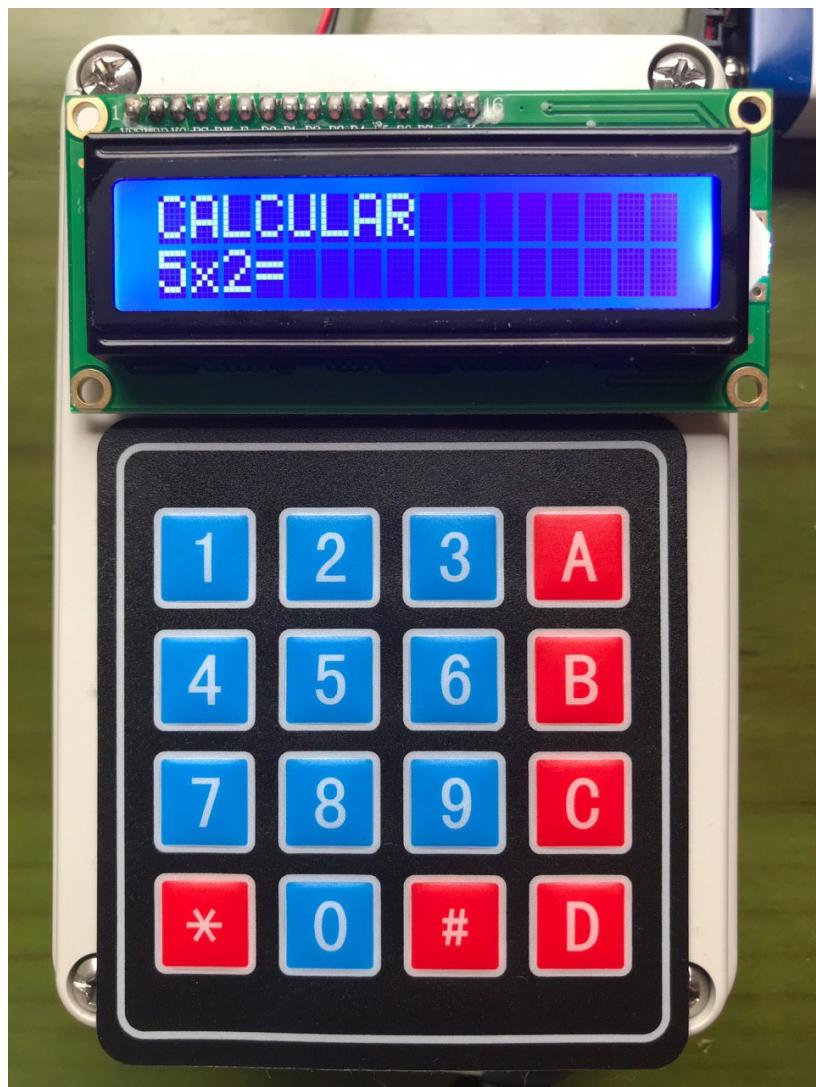


Figura 5.5: Juego de cálculo mental.



Figura 5.6: Juego de cálculo mental.



Figura 5.7: Respuesta correcta.



Figura 5.8: Puntuación acumulada.

## Capítulo 6

# Planificación y recursos

En el presente capítulo, se muestra la planificación realizada para el desarrollo de este proyecto, mostrando las diferentes etapas con las que transcurre y los costes materiales y humanos necesarios durante el diseño e implementación para lograr cumplir el objetivo final.

### 6.1. Etapas

NOMBRE DEL PROYECTO	ADMINISTRADOR DEL PROYECTO	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINALIZACIÓN	PROGRESO GENERAL
Trabajo Final de Grado	Jorge Navarro	15-mar	03-jul	100%

TAREAS	RESPONSABLE	INICIO	FINALIZACIÓN	DÍAS	ESTADO
Definir el proyecto	Jorge Navarro	15-Mar	19-Mar	5	Completo
Acordar los objetivos	Jorge Navarro	20-Mar	23-Mar	4	Completo
Análisis de requisitos	Jorge Navarro	24-Mar	30-Mar	7	Completo
Plan definitivo de recursos	Jorge Navarro	31-Mar	3-Apr	4	Completo
Desarrollo del software	Jorge Navarro	4-Apr	15-Jun	73	Completo
Desarrollo del montaje hardware	Jorge Navarro	10-May	22-Jun	44	Completo
Desarrollo de la documentación	Jorge Navarro	31-Mar	1-Jul	93	Completo
Pruebas unitarias	Jorge Navarro	10-May	24-May	15	Completo
Desarrollo completo	Jorge Navarro	25-May	22-Jun	29	Completo
Pruebas del sistema	Jorge Navarro	22-Jun	1-Jul	10	Completo
<b>Total del proyecto</b>		15-Mar	3-Jul	111	

Figura 6.1: Planificación del proyecto.

En la Figura 6.1 se muestra una tabla con las etapas y los tiempos empleados en el desarrollo de los objetivos del proyecto.

En el orden pueden verse diferenciadas las primeras etapas de análisis, dónde se definen los objetivos y requisitos del proyecto, las etapas de desarrollo, dónde se han ido implementando de forma progresiva y escalada las partes hardware, software y de documentación, por último, la etapa final de pruebas y montaje definitivo del prototipo.

Por otro lado, en la Figura 6.2 se muestra una línea de desarrollo del proyecto a lo largo del tiempo, dónde puede verse de forma gráfica los días empleados en cada una de las tareas y la duración total. Algunas de ellas aparecen solapadas porque se pudieron desarrollar de forma paralela aumentando la productividad.

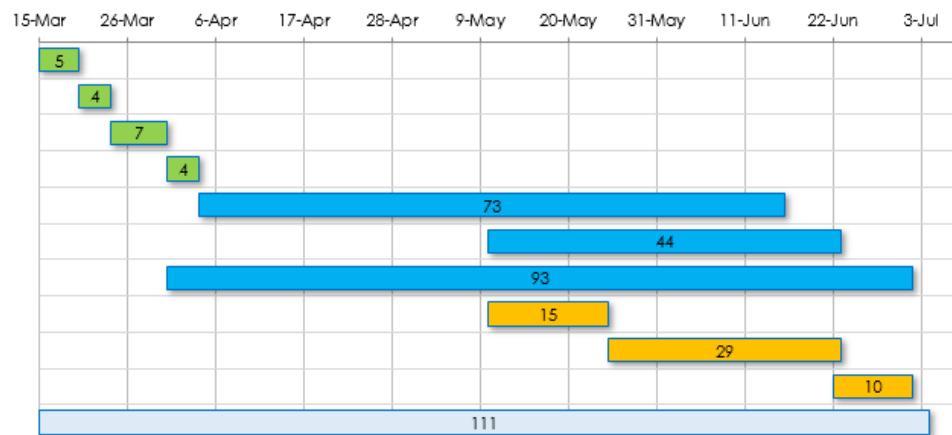


Figura 6.2: Diagrama de planificación del proyecto.

## 6.2. Costes

En la Tabla 6.1 se indican desglosados los costes del material asociados al proyecto y que han sido necesarios adquirir para completar el objetivo con éxito.

Componente	Ud.(€)	Uds.	Total(€)
Notebook HP Elitebook 8470p	359,00	1	359,00
Elegoo Mega 2560 R3	13,99	1	13,99
Módulo pantalla LCD 1602	2,74	1	2,74
Teclado de membrana 4x4	2,48	1	2,48
Joystick Analógico	3,48	1	3,48
Elegoo Kit de Componentes	13,99	1	13,99
Duracell Plus Power 6LR61 9V	3,48	1	3,48
Conecotor clip pila 9V Arduino	0,95	1	0,95
Caja Montaje Electrónico 120X85X55MM	5,99	1	5,99
Cinta de doble cara industrial 2PCS	0,75	1	0,75

Tabla 6.1: Costes materiales del proyecto.

Sumando los valores anteriores, se obtiene que el coste total del material asciende a **406,85€**, incluyendo el IVA y los gastos de envío en cada uno de los componentes.

Por otra parte, hay que añadir los costes humanos, relacionados con el tiempo de análisis, diseño y desarrollo del proyecto. Teniendo en cuenta que el desarrollo del proyecto se realiza durante 111 días, de los cuales 77 son laborables, se corresponden a 616 horas de trabajo a un precio de 12€/hora, lo que hace un coste de **7392,00€**.

Una vez mostrado el desglose de todos los costes del proyecto, concluimos que el **coste final** es de **7798,85€**. Hay que añadir que, teniendo en cuenta que el software es reutilizable para tantos modelos como puedan ser construidos, el coste por **única unidad** sería de **33,11€**, que es el coste de los materiales para cada uno de los sistemas.



## Capítulo 7

# Conclusiones

En este capítulo se emiten las conclusiones obtenidas acerca del proyecto desarrollado, exponiendo también una valoración personal sobre la experiencia al realizar este trabajo.

La idea principal de este proyecto era la de presentar un sistema que cubre una serie de necesidades específicas ante el tratamiento de la dislexia, centrándonos en dos de sus principales patologías. En este sentido, se han intentado buscar soluciones ingeniosas con diferentes componentes, siendo laborioso comprender su uso y posibilidades.

Gran parte de los objetivos previstos inicialmente se han cubierto, como:

- Implementación de un sistema portátil, económico y fácil de utilizar.
- Creación de un sistema utilizando Arduino, aprovechando las facilidades de adaptación e integración.
- Diseño del esquema electrónico del sistema.
- Construcción de un prototipo.
- Desarrollo del código software que controla la aplicación principal del sistema.
- Mejorar el aprendizaje de los usuarios en las patologías asociadas a la dispraxia y la discalculia.

Por desgracia, durante el desarrollo de este proyecto se ha producido la crisis sanitaria por el Covid-19, lo que ha impedido la posibilidad de probar el sistema en entornos reales con potenciales usuarios debido a las recomendaciones emitidas por el gobierno de España.

## **7.1. Ampliaciones y mejoras**

Este proyecto ofrece numerosas posibilidades de ampliación y mejora, debido a la variedad de patologías y problemas asociados a la dislexia, así como considerables mejoras que podrían conseguirse desarrollando software que permita la reutilización de los componentes hardware del sistema.

Por ello, las principales mejoras que se puede incluir en futuras versiones son las siguientes:

- Añadir nuevas funcionalidades a los juegos desarrollados.
- Establecer niveles de aprendizaje en cada uno de los juegos, para ir haciendo un tratamiento más progresivo de la patología concreta.
- Añadir nuevas variedades de juegos que permitan ser controlados con los componentes integrados en el sistema.

## **7.2. Valoración personal**

A nivel personal, me siento muy satisfecho por el trabajo realizado en el desarrollo de este proyecto, al que he dedicado esfuerzo e ilusión por conseguir un resultado atractivo y útil.

Al llegar a Granada como estudiante de un programa de movilidad nacional, mi principal preocupación era encontrar un proyecto novedoso relacionado con la Ingeniería de Computadores. Desde el primer momento recibí la ayuda de mi tutor, Fernando Rojas Ruiz, que me aceptó la oportunidad de desarrollar este proyecto. En un inicio, la idea era diseñar un sistema con Arduino que permitiera mejorar y ayudar en la vida de las personas, pero no tenía muy claro el enfoque. Después de varias reuniones con mi tutor, me ayudó a encontrar una salida a mis ideas y la motivación que tenía. Conforme el proyecto iba avanzando de fases ibamos añadiendo nuevos objetivos que han hecho que el proyecto vaya adquiriendo mayor relevancia. También supone una gran motivación la oportunidad de defender y exhibir este trabajo ante los miembros del tribunal de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación de la Universidad de Granada.

Recojo de esta experiencia la importancia de las diferentes fases en el desarrollo de un proyecto, así como la toma de decisiones en los momentos claves. Por otro lado, me ha hecho comprender la importancia de las posibilidades que nos ofrece la informática y la electrónica de diseñar dispositivos que mejoren e influyan en la vida cotidiana de muchas personas.

# Bibliografía

- [1] Asociación Andaluza de Dislexia. Guía general sobre dislexia (2010).
- [2] Causas de la dislexia. [Online]. <http://www.ladislexia.net/causas-etologia/>
- [3] Tipos de dislexia. [Online]. <https://www.webconsultas.com/dislexia/tipos-de-dislexia-752>
- [4] Repositorio GitHub Victor Widell Dsxyliea. [Online]. <https://geon.github.io/programming/2016/03/03/dsxyliea>
- [5] Diagnóstico y tratamiento de la disgraxia. [Online]. <https://neural.es/diagnostico-y-tratamiento-de-la-dispraxia/>
- [6] Discalculia infantil. [Online]. <https://www.cognifit.com/es/patologias/discalculia>
- [7] Manzano León, Ana Bernal, César Fernández, Antonia. (2017). Review of Android and iOS Tablet Apps in Spanish to Improve Reading and Writing skills of Children with Dyslexia. Procedia - Social and Behavioral Sciences. 237. 1383-1389. 10.1016/j.sbspro.2017.02.200.
- [8] iCuadernos. [Online]. <http://www.icuadernos.com/>
- [9] Math Learner. [Online]. <https://apps.apple.com/es/app/math-learner-matematica-facil/id1148728253>
- [10] HP Elitebook 8470p Notebook. [Online]. <https://support.hp.com/es-es/product/hp-elitebook-8470p-notebook-pc/5212907/manuals>
- [11] Controlador Elegoo Arduino Mega 2560 R3. [Online]. <https://www.elegoo.com/product/elegoo-mega-2560-r3-board-blue-atmega2560-atmega16u2-usb-cable/>
- [12] Software Arduino IDE. [Online]. <https://www.arduino.cc/en/main/software>
- [13] Editor open-source de diseño hardware electrónico Fritzing. [Online]. <https://fritzing.org/>
- [14] Librería LyquidCrystal. [Online]. <https://www.arduino.cc/en/Reference/LiquidCrystal>

- [15] Librería Keypad. [Online]. <https://playground.arduino.cc/Code/Keypad/>
- [16] Plataforma Trello. [Online]. <https://www.trello.com/>
- [17] Editor Online LaTeX Overleaf. [Online]. <https://www.overleaf.com/>
- [18] Repositorio GitHub Trabajo Fin de Grado Universidad de Granada 2019/2020. [Online]. <https://github.com/jnavarro1412/TFG-II-2020>