

# Trabajo Fin de Grado

Diseño y desarrollo de un instrumento musical electrónico con  
fines educativos

Design and development of an electronic musical instrument  
with educational purposes

Autor

Sara Escota Faure

Directores

Luis Antonio Martín Nuez

Alberto Ciriano Sebastián

Grado en Ingeniería Electrónica y Automática

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de Zaragoza

Diciembre 2018



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D<sup>a</sup>. \_\_\_\_\_,

con nº de DNI \_\_\_\_\_ en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)  
\_\_\_\_\_, (Título del Trabajo)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, \_\_\_\_\_

Fdo: \_\_\_\_\_



## AGRADECIMIENTOS

Agradecer, principalmente, a Luis, Jorge y Esther, componentes de la empresa que me aceptó en prácticas y me ofreció este proyecto, siempre positivos, comprensivos, apoyando y ayudando a su elaboración.

También a la paciencia de mi tutor académico, Alberto, por haber estado hasta el último momento tratando de ayudarme en la realización del proyecto.

Agradecer a toda esa gente que aún sin apenas tener relación ha mostrado apoyo y confianza en la realización de este proyecto.

A mis amigos y compañeros, por su apoyo, y a Diana por su paciencia, ayuda y amenización del trabajo.

A Raquel, por su confianza incondicional y sus ánimos en cualquier momento del día.

Agradecer el enorme apoyo que me ha brindado mi familia, especialmente mi madre, Teresa, que es la que me ha tenido que aguantar en casa.

Y, finalmente, especial mención a mi padre, José Antonio, siempre con confianza plena en mis capacidades, siempre con las palabras adecuadas al momento, siempre apoyando mi desarrollo personal, siempre.



## **“DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INSTRUMENTO ELECTRÓNICO MUSICAL CON FINES EDUCATIVOS”**

### **RESUMEN**

La tecnología está ganando terreno en el campo musical, tanto es así que ya existe la categoría de instrumentos electrónicos. Será necesario pues encontrar la manera de acercar a los usuarios más jóvenes e inexpertos de forma sencilla a este mundo.

Para ello, se ha desarrollado el primer prototipo de un nuevo producto, barato y asequible, capaz de trabajar con tecnología MIDI y dispositivos de reproducción de sonido electrónicos, introduciendo a su vez al mundo de la soldadura electrónica a usuarios de temprana edad. Todo esto basado en un modelo de desarrollo Open Source hardware, apoyándose en proyectos ya desarrollados para conseguir la mayor satisfacción de los objetivos.

### **ABSTRACT**

New technologies are becoming more important in the Music world, so much so that there is already a category for the Electronic Instruments. It is going to be necessary to find an easy way to get the inexpert and young users into this world.

For this it has been developed the first prototype of a new brand product, cheap and affordable, which will be able to work with MIDI technology and other electronic audio player devices, introducing at the same time the youngest users to electronic welding world. All of this will be based on the Open Source software and hardware developing model, taking advantage of the projects that are already in the cloud to satisfy all of the main objectives.



**Índice de contenido**

**AGRADECIMIENTOS**

**RESUMEN**

<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>I. Marco de trabajo.....</b>	<b>1</b>
<b>II. Objetivos y alcance del proyecto.....</b>	<b>1</b>
<b>III. Contexto .....</b>	<b>1</b>
1) La música y sus beneficios.....	1
2) Tipos de instrumentos musicales .....	2
3) MIDI: La revolución en reproducción de audio .....	3
<b>IV. Estado del arte .....</b>	<b>3</b>
1) Dispositivos comercializados.....	3
2) Dispositivos desarrollados por la comunidad maker.....	4
<b>V. Métodos y herramientas.....</b>	<b>4</b>
<b>VI. Presentación de contenidos del documento .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Especificaciones funcionales.....</b>	<b>6</b>
<b>I. Estudio de posibilidades .....</b>	<b>6</b>
<b>II. Requisitos primarios .....</b>	<b>6</b>
<b>III. Requisitos secundarios .....</b>	<b>7</b>
<b>IV. Definición de producto a desarrollar .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Prototipado.....</b>	<b>10</b>
<b>I. Diagrama de bloques general.....</b>	<b>10</b>
<b>II. Bloque de Comunicaciones .....</b>	<b>10</b>
<b>III. Bloque de Actuadores.....</b>	<b>11</b>
<b>IV. Bloque de Sensores .....</b>	<b>11</b>
<b>V. Bloque de Control (Procesado y memoria).....</b>	<b>12</b>
<b>VI. Bloque de Alimentación.....</b>	<b>15</b>



<b>VII. Bloque de interfaz de usuario .....</b>	<b>15</b>
<b>4. Pruebas básicas .....</b>	<b>17</b>
<b>I. Pruebas de los sensores .....</b>	<b>17</b>
1) Sensores FSR.....	17
2) Sensores piezoeléctricos .....	17
<b>II. Pruebas de micrófono y altavoces .....</b>	<b>18</b>
<b>III. Pruebas del circuito integrado VS1053b .....</b>	<b>18</b>
1) Pruebas con placa de Sparkfun: Sparkfun MP3 player shield .....	19
2) Pruebas con placa de origen desconocido, similar a la de Sparkfun.....	19
<b>IV. Pruebas de comunicación MIDI del Pro Micro (Arduino) .....</b>	<b>20</b>
<b>V. Pruebas de módulos de comunicación inalámbrica: WiFi y Bluetooth.....</b>	<b>20</b>
<b>5. Diseño electrónico .....</b>	<b>22</b>
<b>I. Detalles de esquemático .....</b>	<b>22</b>
1) VS1053b.....	22
2) Bloque de alimentación.....	23
<b>II. Detalles de placa de circuito impreso .....</b>	<b>24</b>
Logos.....	24
<b>I. Tabla de componentes o BOM(Bill Of Materials) .....</b>	<b>24</b>
<b>6. Conclusiones y trabajo futuro.....</b>	<b>26</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>27</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>29</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>30</b>

## 1. Introducción

### I. Marco de trabajo

El presente Trabajo de Fin de Grado se ha realizado para el curso 2017-2018 en la empresa Innovart S.C. bajo la dirección de Luis Martín, CEO de la misma, así como bajo la supervisión de Alberto Ciriano Sebastián, profesor de la Universidad de Zaragoza. El proyecto ha sido llevado a cabo íntegramente en las instalaciones de Innovart, habiendo iniciado en febrero de 2018 bajo el formato de Prácticas/TFG en empresa de Universa, y con la idea de aportar en el ámbito educativo en el que se están desarrollando parte de las actividades de la empresa.

### II. Objetivos y alcance del proyecto

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es el diseño y desarrollo de un dispositivo electrónico que sea capaz de cumplir la tarea de un instrumento musical tradicional, así como ofrecer otras funcionalidades demostrando la utilidad de los avances tecnológicos en las tareas educativas, basándose en plataformas Open-Source y de bajo coste, como lo son Arduino, Sparkfun o Adafruit.

Para llevarlo a cabo, se abordará el diseño del hardware tratando de seguir la forma del instrumento tradicional a la vez que una fácil reproducción adecuada a un rango de edad colegial. Se estudiará la amplia oferta de documentación Open-Source de que dispone la comunidad de Arduino en la red.

### III. Contexto

#### 1) La música y sus beneficios

Un hecho estudiado por aquellos dedicados al fenómeno de la escucha ambiental es que hay música en todas partes. No somos conscientes de ello, pero continuamente escuchamos en tiendas, transportes, espacios públicos, medios audiovisuales, cinematográfica, móviles... música que ha estado y sigue estando presente a lo largo de la historia del ser humano.

Mucha de esta música fue creada hace años, pero se repite siendo la base de muchas melodías actuales a las que no llegamos a prestar atención debido a tal invasión de sonidos, (López Rodríguez, 2011, págs. 11-15) como por ejemplo los compases 13 a 16 del Gran Vals de Francisco Tárrega<sup>1</sup>, escrito en 1902, que se convirtió en tono de llamada básico y eslogan de Nokia en 1994. (Wikipedia, Melodía Nokia)

Este mismo tuvo en su infancia un accidente en el que se dañó su vista, por lo cual su padre, temiendo que Francisco quedase ciego, decidió llevarle a la ciudad de Castellón para que

---

<sup>1</sup> Francisco de Asís Tárrega y Eixea, guitarrista y compositor español (1852-1909)



asistiera a clases de música y pudiese ganarse la vida como músico. (Wikipedia, Francisco de Asís Tárrega)

La educación musical es de por sí un producto cultural resultante de la capacidad creativa del ser humano (Tourriñán, 2017, pág. 4) y contribuye al desarrollo de valores como la integración personal, la determinación de la identidad cultural de los individuos y la comprensión de la diversidad cultural desde una perspectiva de globalidad, cooperación y paz (Tourriñán, 2006; ISME, 2006); también constituye una herramienta fundamental para activar los circuitos emocionales que actúan en procesos como la atención, el aprendizaje y la memoria (García, Del Olmo y Gutiérrez, 2014); y contribuye al desarrollo de destrezas, hábitos, actitudes y conocimientos, tales como la concentración, la autonomía e iniciativa personal, el orden, la comunicación lingüística –inglés- (Bernal, Epelde, Gallardo y Rodríguez, 2014), la relajación y el equilibrio (Medina, 2002; Vázquez, 2010), la competencia digital y el tratamiento de la información (Longueira, 2009).

Más allá de nuestras fronteras territoriales físicas, los medios virtuales, audiovisuales y de comunicación de masas son medios de socialización fundamentales que definen el mundo en el que vivimos hoy y, debido a su carácter de mediación tecnológica, se han convertido en condicionantes y conformadores de la comunicación educativa (Tourriñán, 2016, pág. 757). Dado que la educación y la Pedagogía no son ajenas a estos cambios, en lo que respecta a la educación musical desde esta disciplina se trabaja en el desarrollo de capacidades, competencias y valores para poder adaptarnos e integrarnos en un mundo en permanente cambio y en el que cada vez más es mayor el grado de información, las posibilidades de acceso a dicha información y las opciones de autoselección “a la carta” de la información a la que tenemos acceso, cobran un significado especial (Tourriñán, 2018).

## 2) Tipos de instrumentos musicales

Existen muchos instrumentos musicales, todos ellos comúnmente clasificados en familias según el medio en que se produce el sonido:

- Instrumentos de cuerda, en los cuales se produce sonido mediante la vibración de cuerdas. A su vez, según sea el gesto que hace suceder esto se clasifican en:
  - Cuerda frotada
  - Cuerda percutida
  - Cuerda pulsada
- Instrumentos viento, que producen el sonido por la vibración del aire que entra en el instrumento cuando el intérprete sopla. Se diferencian según el material que lo hace posible en:
  - Viento-madera
  - Viento-metal
- Instrumentos de percusión, en los que se produce el sonido por golpeo o agitación de los mismos. Al igual que las nombradas anteriormente, se dividen internamente en:
  - Percusión de altura determinada
  - Percusión de altura indeterminada.

Adicionalmente, en el siglo XX se comenzó a añadir a las clasificaciones una nueva familia: Instrumentos electrónicos. Estos tienen la capacidad de reproducir gracias a la tecnología, siendo el sintetizador su principal referente. (EcuRed)

### 3) MIDI: La revolución en reproducción de audio

MIDI es un lenguaje digital, nacido a comienzos de los años 1980 a manos de los fabricantes de instrumentos electrónicos<sup>2</sup>, universalmente utilizado para el envío y recepción de información musical (notas, duración, fuerza de toque, modulación de los parámetros de los sonidos, etc.).

A través de un cable MIDI que conecta instrumentos y computadoras puede viajar la partitura al completo de una obra musical. Este lenguaje dispone de capacidades muy potentes que lo hacen muy interesante a ojos de usuarios de música de todos los niveles, al permitir la comunicación de audio entre cualquier dispositivo preparado para este lenguaje.

De esta manera, al tocar un tema en un teclado con salida MIDI conectada a un PC o a un secuenciador, podemos grabar en estos toda la información musical para luego reproducirla tal cual ha sido tocada. También permite ser editada y corregidos errores de interpretación tales como retrasos o adelantos en el tempo, adición de segundas voces e instrumentos, etc. Una sola persona podría tocar toda una obra por sí sola. (Mendez, 2008, págs. 11,12)

## IV. Estado del arte

Una de las características principales en este proyecto es el desarrollo basado en proyectos Open Source hardware, por lo que investigaremos la presencia de éstos, tanto los desarrollados y ofertados para su compra como de los denominados makers, que los desarrollan por afición.

### 1) Dispositivos comercializados

SpikenzieLabs: Drum kit

Un paquete con todo lo necesario para crear una batería con componentes electrónicos. Incluye la placa de circuito impreso, resistencias, diodos y pines, así como la posibilidad de hacer tus propios tambores con sensor piezoeléctrico. (SpikenzieLabs)

MakeyMakey<sup>3</sup>

MakeyMakey es una placa de electrónica basada en Arduino, similar al mando de una videoconsola que simula un teclado o ratón, enviando órdenes al computador al que esté conectado por cable USB. No hay botones, su funcionamiento se basa en cerrar el circuito mediante contactos o pinzas de cocodrilo. Esto da a los usuarios la oportunidad de buscar nuevas maneras de interacción con sus ordenadores, potenciando la creatividad, la imaginación y el diseño. (Programo Ergo Sum)

---

<sup>2</sup> Estos crearon la MIDI Manufacturers Association (MMA). Para más información: <https://www.midi.org/>

<sup>3</sup> Para más información: <https://makeymakey.com/>

### Fenderino

Un módulo para Arduino consistente en una placa de circuito impreso con forma de guitarra eléctrica y todos los componentes para construir un instrumento capaz de reproducir ocho notas diferentes, con control del volumen e interruptor de tres posiciones a las que se les pueden asignar efectos para aplicar al sonido. Además incorpora un altavoz piezoeléctrico para reproducir los sonidos así como un conector de salida minijack. (Abierto.cc)

## 2) Dispositivos desarrollados por la comunidad maker

### Drawdio<sup>4</sup>

El drawdio, originalmente creado por Jay Silver, también es comercializado pero es muy comúnmente reproducido por makers. Se trata de una herramienta capaz de mezclar sonido y dibujo, pues se trata de conectar a un lapicero en sensor y transmitir los impulsos eléctricos a un pequeño altavoz piezoeléctrico a través de un sencillo circuito. Así, al dibujar los dibujos se convierten en música. (Bonilla, Montero, & Schwarz)

### Instrumento de viento MIDI

El modelo de seis pulsadores de un instrumento de viento. Consta de un sensor de presión controlado por Arduino que detecta las diferentes combinaciones de pulsación y reproduce diferentes notas mediante un dispositivo MIDI. Según el código implementado será capaz de imitar diferentes instrumentos, como un saxófono, un clarinete, una trompeta... (Wells, 2012)

### Distorsionador de voz

Se trata de un circuito diseñado para el integrado HT8950A, desarrollado específicamente para realizar un proceso de deformación de la voz. Incorpora también otro circuito integrado, el LM386, utilizado como amplificador de la señal resultante para poder transmitirla a través del altavoz. (Pablin)

## V. Métodos y herramientas

Basado en la forma de desarrollo de código abierto, muchas de las decisiones de elección de componentes se basarán en la experiencia compartida por otros usuarios de la red, tanto de la comunidad de Arduino como de otras, siempre que esté asegurada la veracidad y el correcto funcionamiento de las fuentes.

Se utilizarán programas y herramientas Open Source software y Open Source hardware, como lo es el entorno de programación de Arduino, así como distintos prototipos entre los cuales se elegirá el más óptimo. Para el diseño de la placa de circuito impreso (PCB) se usará el software Autodesk Eagle5.

La metodología a seguir será: tras el estudio de los proyectos electrónicos instrumentales existentes y de su compatibilidad con el entorno Arduino se decidirán los requisitos principales y secundarios de los instrumentos a desarrollar, ofreciendo ventajas sobre lo existente. A

---

<sup>4</sup> Para más información: <https://drawdio.com/>

<sup>5</sup> Software propietario de diseño y edición de esquemas de placas de circuitos impresos. (Autodesk)



continuación, se diseñará el prototipo que cumpla con estos requisitos, seleccionando los más adecuados al propósito y probando los componentes electrónicos, para después montarlos y comprobar su correcto funcionamiento. Finalmente, se desarrollará el software, aplicaciones y manual educativo.

## VI. Presentación de contenidos del documento

Además de la anterior introducción en la que se trata de explicar el contexto del proyecto, a continuación se han dividido en secciones las diferentes etapas del trabajo, comenzando por definir los requisitos que tendrá el proyecto, tanto obligatorios como opcionales, para definir el producto en sí. Seguidamente se puede ver el diagrama de bloques del proyecto, así como la descripción de cada uno de estos bloques con el razonamiento de elección de componentes. Una vez definidas las características del producto se resumen distintas pruebas realizadas para verificar el correcto planteamiento de las soluciones a los requisitos, para después abordar la etapa de diseño del circuito y la placa de circuito impreso sí, razonando la elección de determinadas etapas y presentando una tabla con los componentes necesarios para la realización del prototipo. Finalmente, se exponen las conclusiones alcanzadas tras la elaboración de este proyecto.

NOTA: Se usarán términos en inglés cuando por su estandarización sea esta la forma más común de utilización y su traducción pudiera llevar a errores.

## 2. Especificaciones funcionales

### I. Estudio de posibilidades

Tras la investigación para el estudio de mercado inicial, plasmada en el Anexo 1, y conocidos los diferentes instrumentos que componen una banda de música típica, se ha pensado que estos podrían representarse electrónicamente de la siguiente manera:

Micrófono
Micrófono electret
Circuito amplificador de sonido
Pequeño altavoz incorporado
Circuito modulador de voz

Instrumento de viento
Sensor de presión manométrica
Pulsadores
Fototransistor
Fotodiodo

Instrumento de percusión
Sensor piezoeléctrico
Sensor de fuerza (FSR)
Interruptor de final de carrera
Pulsadores

Instrumento de cuerda
Potenciometro lineal presión
Pulsadores
IR sensor
Sensor US

Siguiendo el proyecto de la empresa, cuyo objetivo será formar una orquesta con un instrumento de cada estilo, y dado que los proyectos que desarrollan un instrumento de la familia y de la familia de viento de cuerda están avanzados, los instrumentos a desarrollar elegidos serán el instrumento de percusión y el micrófono.

### II. Requisitos primarios

Una vez definido el tipo de instrumento que queremos, definimos los requisitos primarios a cubrir según los intereses de la empresa. Estos serían:

- 1) Desarrollo en código abierto: programación Open Source en Arduino IDE.
- 2) Reproducción autónoma: dispositivo de reproducción de sonido incorporado.
- 3) Funcionamiento a batería recargable: bajo consumo.
- 4) Traducción propia serial-MIDI: Conexión a PC mediante USB.
- 5) Amplificación de audio y control de volumen propios.
- 6) Diferentes tipos de sensores para diferenciar diferentes tipos de sonido.
- 7) Variedad de arpeggios: Reproducción de diferentes sonidos.
- 8) Bajo coste de producto.

Tabla 1. Requisitos primarios del proyecto.

Instrumento	Requisitos primarios	Medios
Micrófono	1)	Acople a Arduino como módulo.
	2)	Micrófono y altavoz pequeño incorporado en la PCB.
	3)	Batería recargable con capacidad de uso de unas 3h.
	4)	Librerías Arduino.
	5)	Circuito de amplificación de sonido.
Instrumento de percusión	1)	Acople a Arduino como módulo.
	2)	Altavoz pequeño incorporado en la PCB.
	3)	Batería recargable con capacidad de uso de unas 3h.
	4)	Librerías Arduino.
	5)	Circuito de amplificación de sonido.
	6)	Sensor de presión, sensor piezoeléctrico, sensor de final de carrera.
	7)	Librerías Arduino u otro microchip.

### III. Requisitos secundarios

Además de los requisitos primarios, varios requisitos secundarios añadirían funcionalidades interesantes a los dispositivos, y por tanto a su valor. Se ha decidido que estos serían:

- 1) Decodificación MP3 para su posterior reproducción.
- 2) Reproducción simultánea de sonidos. (Posibilita reverberación y varios instrumentos sonando a la vez)
- 3) Conectividad inalámbrica.
- 4) Posibilidad de control por móvil: Elección de modos de uso mediante App móvil.
- 5) Manual educativo.
- 6) Fabricación de carcasa de micrófono con impresión 3D.
- 7) Fabricación de extras para batería con impresión 3D.
- 8) Uso de leds para diferentes modos.
- 9) Modificación en tiempo real del audio grabado con el micrófono, adición de efectos.

Tabla 2. Requisitos secundarios del proyecto.

Instrumento	Requisitos secundarios	Medios
Micrófono	3)	Módulo Bluetooth +/- Módulo WiFi.
	4)	Software de desarrollo de aplicación para móvil + Librería Arduino.
	5)	--
	6)	Software de impresión 3D + acceso a impresora 3D.
	8)	Leds Neopixel + Librería Arduino.
	9)	Circuito integrado específico / Software específico.
Instrumento de percusión.	1)	Circuito integrado específico (VS1053)
	2)	
	3)	Módulo Bluetooth +/- Módulo WiFi
	4)	Software de desarrollo de aplicación para móvil + Librería Arduino
	5)	--
	7)	Software de impresión 3D + acceso a impresora 3D.
	8)	Leds Neopixel + Librería Arduino

#### IV. Definición de producto a desarrollar

Aunque hasta el momento hemos hablado de dos instrumentos diferentes, sería posible el fusionarlos. Tal y como se ha descrito en el apartado anterior, muchos de los requisitos son comunes entre el micrófono y el instrumento de percusión que se proyectan. Esto hace el planteamiento de la posibilidad de diseñar un solo dispositivo capaz de implementar todas estas funcionalidades.

Por tanto, el diseño será un módulo para Arduino consistente en una batería con micrófono incorporado, capaz de sonar por sí misma mediante circuitería de amplificación del sonido y altavoces incorporados en la PCB, así como de grabar sonidos que podrían ser reproducidos al golpeo de la batería. Siguiendo con las características de sonido, tendrá simultaneidad para reproducir varios sonidos a la vez activados por distintos sensores, así como capacidad de decodificar archivos de extensión MP3 proporcionados en una tarjeta microSD y reproducirlos, también al golpear los distintos sensores. Para mayor versatilidad, el audio se podrá transmitir



Figura 1. Batería real

mediante protocolo MIDI al ordenador u otro dispositivo de reproducción. También tendrá capacidad para la incorporación de un módulo WiFi, Bluetooth y pantalla OLED. Finalmente, mediante la adición de leds entorno a los sensores podrán realizarse modos de juego estilo “Simon dice”<sup>6</sup>, ayudando al usuario a tocar canciones correctamente.

---

<sup>6</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Simon\\_\(juego\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Simon_(juego))

### 3. Prototipado

Una vez definido el producto, se ha realizado el estudio y elección de los componentes más adecuados a implementar para el diseño y desarrollo de cada una de sus partes. Para estas elecciones se tendrá como prioridad seguir la política de la empresa, por lo que muchos de los componentes y módulos serán seleccionados por estar siendo utilizados en otros proyectos de la misma similares.

#### I. Diagrama de bloques general

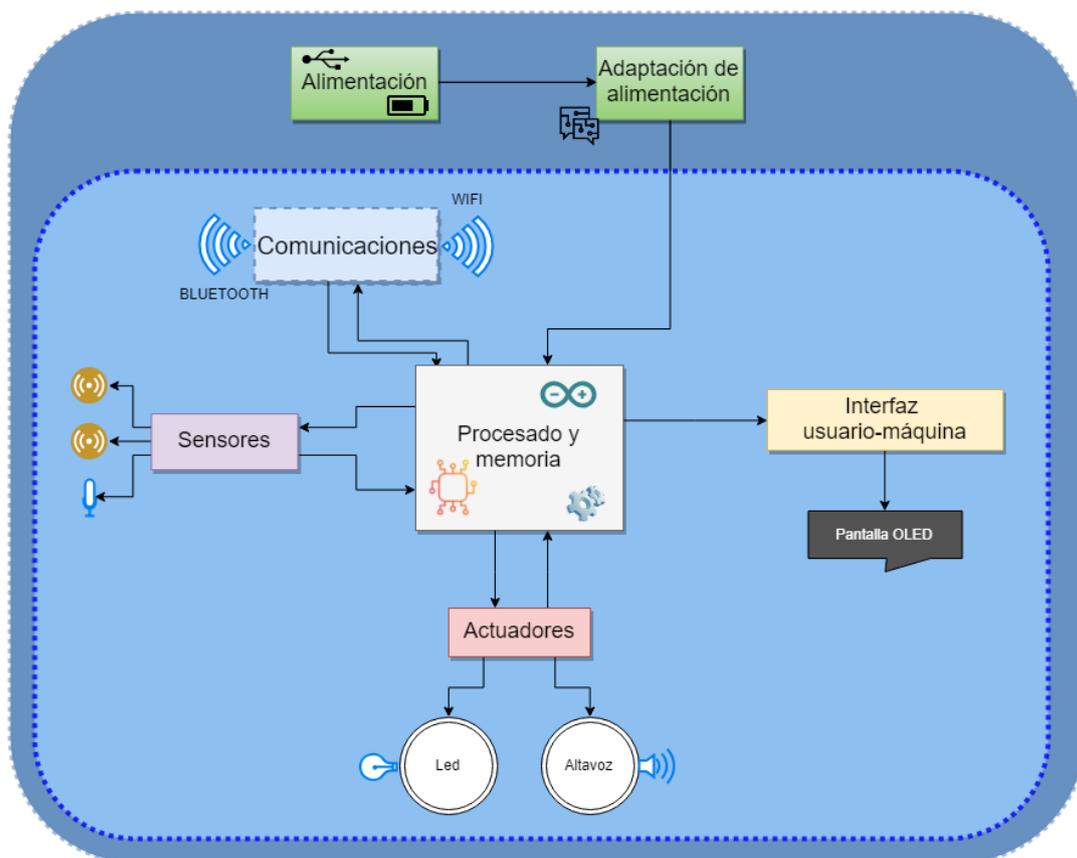


Figura 2. Diagrama de bloques general.

#### II. Bloque de Comunicaciones

Se plantea desde el inicio la comunicación inalámbrica vía WiFi y Bluetooth. Dos módulos ampliamente utilizados en la comunidad Arduino son el módulo ESP-01, con microprocesador ESP8266<sup>7</sup>, para las conexiones WiFi y el módulo HC-05 para las conexiones Bluetooth.

El módulo bluetooth HC-05 se caracteriza por su bajo coste, así como sencilla implementación gracias a las librerías ya creadas de Arduino. Sin embargo, no es capaz de transmitir a una velocidad suficiente para que la velocidad de transmisión permita una calidad

<sup>7</sup> Para más información: <https://programarfacil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/>

de audio suficientemente buena. Es por esto por lo que se decidió ampliar la posibilidad de conexión inalámbrica a un segundo tipo de conexión, el protocolo WiFi. El módulo nombrado para esta conectividad inalámbrica, el ESP-01, es uno de los más usados en la comunidad Open Source hardware, por lo que hay muchos proyectos basados en el mismo.

No es posible que funcionen los dos a la vez, así como que estén conectados mientras se programa el microprocesador, ya que utilizan comunicación serie y esta no permite la conexión simultánea, por tanto, ha sido necesario incluir un interruptor de 3 posiciones de manera que el usuario sea el que elige usar uno u otro, dependiendo del tipo de dispositivo con el que quiera conectar.

### III. Bloque de Actuadores

Como actuadores principales tendremos dos pequeños altavoces de 0,5W de potencia capaces de ser escuchados a una considerable distancia (como podría ser dentro de una habitación). Decidimos poner dos altavoces optando por la reproducción de sonidos en estéreo. Adicionalmente, y para añadir versatilidad de uso para el usuario, dispondrá de un conector de salida de audio estándar<sup>8</sup> para escuchar el sonido a través de auriculares externos cuando se requiera

. Dado que del integrado (VS1053b) que usaremos no obtenemos potencia suficiente para que el audio sea reproducido al volumen necesario en los altavoces, será necesaria la adición de un circuito de amplificación de audio. Para ello usaremos el circuito integrado PAM8403, con capacidad de dar una potencia de 3W a una tensión de alimentación de 5.5V, pero en condiciones de 3.2V, que es aproximadamente la tensión que vamos a usar, ofrece entre 0.45-0.6W. Cabe remarcar que este amplificador proveerá únicamente a los altavoces, por lo que si en lugar de auriculares se conectan altavoces externos estos deberán contar con sistema de amplificación propio. Además, contaremos con un potenciómetro para el control manual del volumen. Este será estéreo, dado que la señal de audio es de sonido estéreo, e incorporará un interruptor que será utilizado como interruptor ON/OFF del instrumento completo.

El otro tipo de actuador del que dispone el instrumento serán ocho leds RGB programables (WS2812<sup>9</sup>) conectados entre sí que permitirán darle la funcionalidad de juego, dando la posibilidad de mostrar al usuario qué sensor tocar en cada momento para seguir una melodía concreta, por ejemplo.

### IV. Bloque de Sensores

Una batería estándar está compuesta por ocho elementos. Dado que la idea es reflejar a la mayor exactitud la batería real, podríamos utilizar 3 sensores diferentes:

---

<sup>8</sup> Entendido por estándar el tipo Jack 3.5mm

<sup>9</sup> LEDs que disponen de lógica integrada, por lo que es posible variar el color de cada LED individualmente. (Luis Llamas, 2016)

- Sensor de presión o FSR para simular los platillos.
- Sensor piezoeléctrico para simular los tambores/bongos.
- Sensor de final de carrera para simular el bombo y los platillos activados por pie.

Aunque quizás sería más conveniente utilizar el sensor FSR para tambor y el piezoeléctrico para platillos por la manera de funcionamiento que tienen, elegimos la combinación de cuatro piezoeléctricos por las dimensiones físicas que van a tener para simular los cuatro tambores centrales, como se ve en la Figura 3, la que ha sido un ejemplo de diseño inspiracional.



Figura 3. Batería electrónica comercial.

El otro tipo de sensor a incluir es el micrófono, que utilizaremos para la captación de sonido. Dentro de la amplia variedad de tipos de micrófono disponibles, como un micrófono piezoeléctrico, uno de carbón o uno de condensador, siguiendo el ejemplo de otros proyectos de la empresa, el tipo de micrófono elegido es un electret. Las ventajas de este es que es barato y fácil de encontrar, tiene buena respuesta en frecuencia en todo el rango audible, está preamplificado internamente, por lo que es muy sensible, además de ser poco ruidoso. Además, la electrónica requerida es muy básica, por lo que es fácil de implementar en la misma placa. (Electrónica y ciencia, 2010)

## V. Bloque de Control (Procesado y memoria)

En los apartados anteriores hemos dejado claro que una característica esencial es el apoyo en Arduino, sin embargo, este concepto puede llegar a ser muy amplio. Aunque Arduino es una marca registrada que comercializa sus productos, a su vez es una plataforma de las llamadas Open Source, lo que permite que la comunidad proponga y desarrolle mejoras y alternativas según necesidades y usos. Gracias a esto, tenemos múltiples variedades de placas Arduino y basadas en Arduino entre las que podremos elegir la que más se ajuste a nuestras necesidades, con la ventaja de que todas ellas compartirán el entorno de programación de Arduino.

Tras la comparativa de microprocesadores (Anexo 2), el elegido será el ATmega32u4 integrado en la placa Pro Micro en su versión de 3.3V del distribuidor Open Source Sparkfun, o una de sus copias más económicas. La elección ha venido determinada por su capacidad de

funcionamiento a tensión de 3.3V, por el acceso directo a la programación del microprocesador mediante microUSB (mayor facilidad de uso y posibilidad de comunicación MIDI mediante librerías del entorno de Arduino IDE), por el tipo de pines de entrada y salida (era necesario disponer de suficientes entradas analógicas, con su correspondiente convertor A/D, para la lectura de sensores) y, finalmente, por su pequeño tamaño y bajo coste.

Respecto a las características de descompresión de archivos MP3 y tratamiento de audio, no podemos ponerlo a cargo del microcontrolador de Atmel<sup>10</sup>, ya que no tiene capacidad suficiente para ello. En la empresa se ha estado trabajando con placas basadas en el integrado VS1053b<sup>11</sup> (Ver Datasheet en Anexo 3), por lo que será el elegido para estas funciones. El integrado VS1053 funciona como sintetizador MIDI, y tiene la capacidad de decodificar muchos de los formatos de audio comúnmente utilizados (MP3, ACC, Ogg Vorbis, WAV, MIDI, etc.), así como de codificar Ogg Vorbis mediante un códec instalado por software. Además, esta versión del integrado de VLSI trae un banco de instrumentos más amplio que su versión anterior; esto es, tiene disponibles para ser reproducidos vía MIDI 128 sonidos melódicos, además de 60 sonidos de percusión. Aunque es posible la comunicación SPI, Serial e I2C, utilizaremos la SPI por ser la más conveniente a nivel de velocidad, versatilidad y fiabilidad en las funciones desarrolladas. Por último, nombrar la disponibilidad de disponer de hasta 8 puertos GPIO.

Así pues, teniendo en cuenta tanto la asignación de pines del microprocesador Sparkfun Pro Micro(Figura 4) como las del integrado VS1053b (Anexo 3) y las conexiones que necesitamos hacer a sus pines para satisfacer todos los requisitos, se desarrolló previamente una tabla para estudiar la disponibilidad de pines de conexión, ya que de necesitar más pines se debería plantear la elección de una placa alternativa, o la disminución de elementos a conectar. (Véase Tabla 3 en la página siguiente)

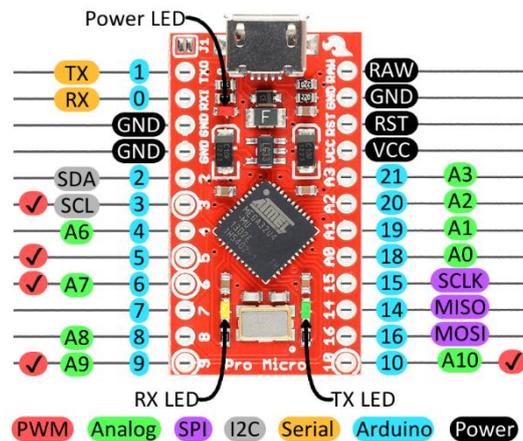


Figura 4. Esquema de pines de la placa Sparkfun Pro Micro

Leyenda de colores

	Pin utilizado
	Pin libre

<sup>10</sup> Microprocesador integrado en las placas Arduino.

<sup>11</sup> <http://www.vlsi.fi/en/products/vs1053.html>

**Tabla 3. Relación de pines de la placa Sparkfun Pro Micro y del circuito integrado VS1053b con los elementos a controlar.**

PIN PRO MICRO	Definición	Sensor piezoeléctrico	Sensor FSR	Sensor pedal	Luces Neopixel	VS1053	Bluetooth	WIFI	Alimentación	OLED	uSD	Amplificador	Microfono
0	RX						TX	TX					
1	TX						RX	RX					
2	SDA									SDA			
3	SCL/PWM									SCL			
4	A6					SS-MP3-CS(23)							
5	PWM										SS		
6	A7/PWM				D6								
7						DREQ(8)							
8	A8					MP3-DCS(13)							
9	A9/PWM		A9										
10	A10/PWM		A10										
GND						35							
GND													
RAW													
14	MISO					MISO(30)					MISO		
15	SCLK					SCLK(28)					MOSI		
16	MOSI					MOSI(29)					SCLK		
GND													
18	A0	A0											
19	A1	A1											
20	A2	A2											
21	A3	A3											
RST													
VCC													
<b>PINES VS1053</b>				Sensor pedal							uSD	Amplificador	Microfono
33	GPIO0												
34	GPIO1												
9	GPIO2												
10	GPIO3												
36	GPIO4												
25	GPIO5												
11	GPIO6												
12	GPIO7												
30	MISO										MISO		
29	MOSI										MOSI		
28	SCLK										SCLK		
39	Right(39)											Right	
46	Left(46)											Left	
42	GBUF											GND	
1	MICP/LINE1												IN+
2	MICN												IN-

En la tabla se puede observar que todos los pines del Pro Micro quedarían ocupados, quedando únicamente disponibles 4 puertos GPIO del integrado VS1053b (en la tabla únicamente aparecen los pines del VS1053b de interés), los cuales podrían ser utilizados en caso de necesidad y transmitido el dato al Pro Micro. Por tanto, el Sparkfun Pro Micro satisface también los requerimientos en lo que se refiere al número de pines.

## VI. Bloque de Alimentación

Para poder alimentar mediante batería con una autonomía de al menos unas 3h, es necesario que esta tenga una capacidad suficiente y que el consumo de la placa no sea elevado. Se ha decidido utilizar baterías Li-Ion de 3.7V puesto que la alimentación general es de 3.3V ya que todos los módulos son capaces de trabajar a la misma. El dispositivo puede ser alimentado también a través del conector micro USB del Pro Micro, utilizándose este medio como fuente de alimentación para recargar la batería. La recarga es llevada a cabo a través de un circuito de carga cuyo integrado principal es el MCP73831, definiendo así mismo el circuito acompañante mediante el propuesto por el fabricante en la hoja de características<sup>12</sup>. Este dispositivo de administración de carga tiene una corriente de salida de alrededor de 450mA, haciendo que nuestra batería se cargue de forma lenta pero segura hasta llegar a una tensión de aproximadamente 4.2V.

Introducimos un transistor P-MOSFET como interruptor para que cuando reciba alimentación eléctrica a través del micro USB no utilice la batería como fuente de alimentación, cuya salida irá al interruptor ON/OFF incluido en el potenciómetro estéreo.

Tenemos por tanto una tensión de alimentación de 4.8-5V con el USB conectado y 3.7-4.2V con la batería. Esta pasa entonces al regulador de tensión fijo de 3.3V XC6210B332MR (Hoja de características en Anexo 4), con una capacidad de suministro de corriente de 700mA. Dado que el propio microprocesador Pro Micro tiene una limitación por fusible de 500mA, no será necesaria mayor capacidad de corriente. Adicionalmente, el circuito integrado VS1053b requiere una tensión de 1.8V, por lo que incorporamos un regulador de tensión fija de 1.8V, el MIC5504-1.8YM5-TR<sup>13</sup>, que tendrá como entrada la tensión ya regulada de 3.3V y una capacidad de corriente de 300mA, no siendo requerida gran capacidad de este.

## VII. Bloque de interfaz de usuario

El instrumento electrónico entero, en sí, está diseñado para ser un medio de interacción con el usuario. Sin embargo, de manera visual este sólo sería capaz de entender a la máquina mediante la secuencia previamente programada de los LED WS2812. Por esto, aunque entre los requisitos iniciales no estaba incluido ningún elemento pantalla como interfaz, se decide incorporar a la placa un pequeño módulo de pantalla OLED. Por pequeño, nos referimos a una pantalla de 128x32 mm, en la cual se podrán visualizar palabras indicando el modo seleccionado, por ejemplo, así como rápidos mensajes de bienvenida,

<sup>12</sup> <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20001984g.pdf>

<sup>13</sup> <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/mic550x.pdf>



despedida o enhorabuena. La pantalla elegida se comunica por I2C<sup>14</sup>, aprovechando la disponibilidad de los pines reservados para este tipo de comunicación en la placa Pro Micro(SDA/SCL).

---

<sup>14</sup> Inter-Integrated Circuit, estándar de comunicación interna entre dispositivos electrónicos desarrollada por la empresa Philips en 1982, cuyo funcionamiento se caracteriza por requerir únicamente dos cables. (Luis Llamas, 2016)

## 4. Pruebas básicas

Para la realización de las pruebas se utilizó material disponible en el taller de la empresa, que serían placas protoboard<sup>15</sup> estándar (Figura 5), así como componentes THD, de manera que fuese más sencillo el montaje y comprobación de funcionamiento de los mismos.

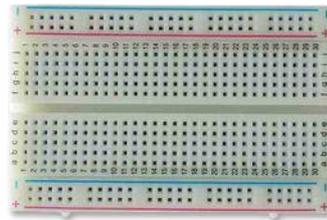


Figura 5. Protoboard blanca.

### I. Pruebas de los sensores

#### 1) Sensores FSR

Se realizó prueba de sensibilidad para comprobar el funcionamiento de dos modelos de sensores de presión: cuadrado y redondo. (Figuras 7 y 6, respectivamente)

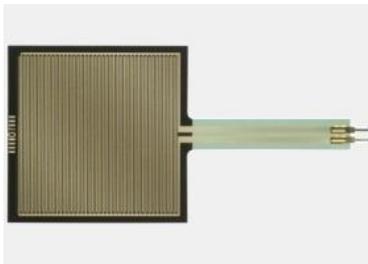


Figura 7. FSR cuadrado



Figura 6. FSR redondo.

Dado que el funcionamiento es similar, se elige utilizar uno redondo por su mayor semejanza física con el platillo de una batería.

#### 2) Sensores piezoeléctricos

Un sensor piezoeléctrico se basa en las propiedades eléctricas del material piezoeléctrico del que está hecho. Estas hacen que, al recibir un impulso eléctrico, el material vibre produciendo sonido. Al contrario, si al material se le aplica una fuerza este produce un impulso eléctrico que, en caso de estar en un circuito cerrado conectado al Arduino, será detectado en el puerto de entrada analógica.

Esta capacidad de funcionar como sensor y como actuador será aprovechada por nuestro instrumento. La prueba realizada consiste en la comprobación de que el Pro Micro es capaz de procesar el cambio del sentido del pin de entrada a salida, y viceversa. Se hará con zumbadores circulares reciclados, que han sido utilizados también en el prototipo.

<sup>15</sup> Placa de pruebas.

## II. Pruebas de micrófono y altavoces

Estas pruebas las realizaremos juntas, puesto que uno de los sonidos que se iba a tener que reproducir en los altavoces sería el grabado con el micrófono. Como en los casos anteriores, los componentes utilizados son los disponibles en el taller. En este caso el altavoz será uno reciclado mientras que el micrófono está integrado en un módulo desarrollado por *Adafruit*<sup>16</sup>, la cual incorpora filtrado y preamplificación, útiles para la tarea.

Tras la primera prueba, realizada sin amplificación extra a la nombrada, se procede a la segunda ya

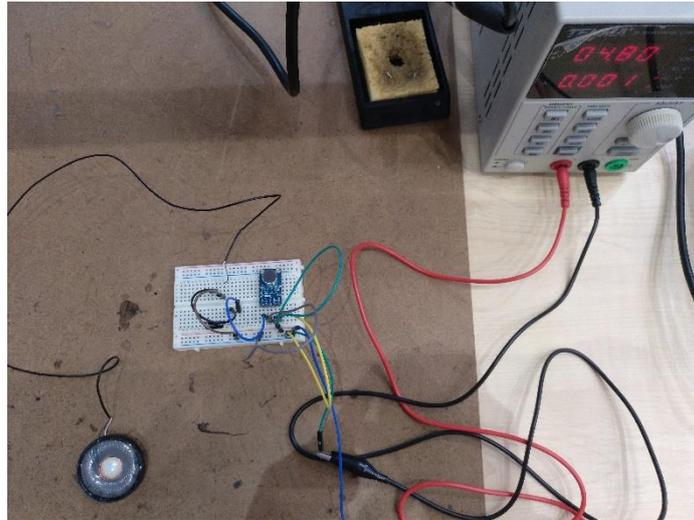


Figura 8. Circuito utilizado para pruebas de micrófono y altavoz.

que el sonido es prácticamente inaudible. Para la segunda prueba, incorporamos el circuito recomendado por la hoja de características del amplificador de audio LM386. Para una tercera prueba comparativa, utilizamos un módulo prediseñado con potenciómetro y el integrado amplificador estéreo PAM8403. Con ambos circuitos obtenemos una buena amplificación, puesto que el micrófono es mono, pero dado que nuestro proyecto tiene sonido estéreo hacemos una segunda prueba del circuito con el módulo PAM8403, esta vez transmitiéndole sonido estéreo a través del ordenador y un cable adaptado MIDI, consiguiendo un correcto funcionamiento.

Dado que se querían conseguir efectos a tiempo real en la voz, se hicieron pruebas con diversos circuitos integrados desarrollados por distintas marcas para este propósito particular, así como con circuitos pasivos con función de ecualizador, pero ninguna de ellas dio resultados suficientemente satisfactorios. Los integrados utilizados para estos test fueron:

- HT8950
- PT2399
- Conversores A/D y D/A junto a código Arduino.

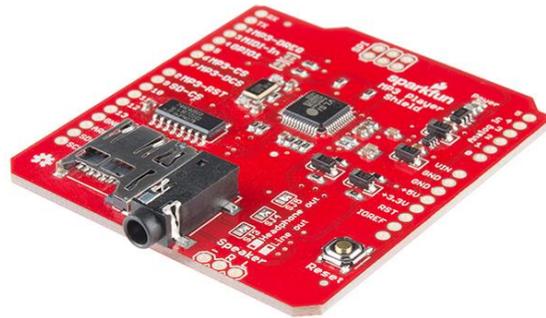
## III. Pruebas del circuito integrado VS1053b

Para las pruebas no se disponía del componente SMD que iba a ser utilizado en el prototipo, sino que se utilizaron placas comerciales que los incorporaban como base de funcionamiento el mismo.

<sup>16</sup>Empresa estadounidense distribuidora de electrónica y proyectos para makers: <https://www.adafruit.com/>

Además de las nombradas en este apartado, en Adafruit existen módulos que usan este mismo integrado, por lo que las librerías que esta empresa ha desarrollado también están disponibles para su uso.

### 1) Pruebas con placa de Sparkfun: Sparkfun MP3 player shield



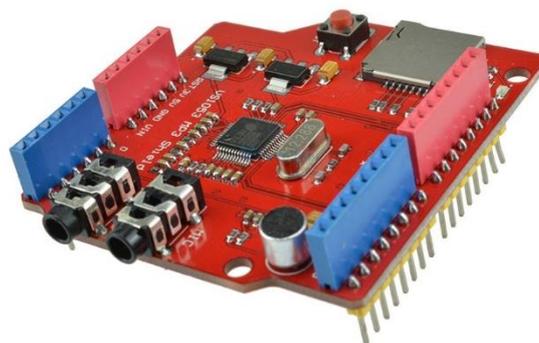
**Figura 9. Módulo Sparkfun reproductor MP3**

Este modelo no dispone de micrófono, por lo que las pruebas a realizar han sido para comprobar la usabilidad de los puertos GPIO, y para comprobar la correcta reproducción tanto de archivos MP3 cargados en un microSD, como de audio en formato MIDI (con el modo MIDI del dispositivo, activado por software).

Para los puertos GPIO un sencillo código y circuito fue suficiente para dar por satisfactoria la prueba, así como la reproducción de MP3 (Ver Anexos 5 y 6), mientras que para la reproducción de audio MIDI fue necesario un software más complejo y específico, incluido en los ejemplos de la librería de Sparkfun.

Una de las ventajas de usar este módulo reside en su procedencia. Al haber sido desarrollada por Sparkfun, disponemos de librerías para Arduino, haciendo más sencillo el probar las funcionalidades que nos ofrece el integrado VS1053b.

### 2) Pruebas con placa de origen desconocido, similar a la de Sparkfun.



**Figura 10. Módulo reproductor de MP3 basado en VS1053b**

Las pruebas realizadas consisten en la grabación de audio a través del micrófono incluido en la placa, que será almacenado con formato Ogg Vorbis en la micro SD gracias a la instalación de un códec proporcionado por la propia desarrolladora del integrado, VLSI (Mayor descripción de la prueba en

Anexo 7). Dado que uno de los formatos que es capaz de decodificar el VS1053b es este mismo, mediante pulsadores conectados al Arduino controlaremos los periodos de grabación, parada y posterior reproducción. Para la modificación de voz será necesario instalar en el controlador un plugin descargado previamente de la página oficial.

#### IV. Pruebas de comunicación MIDI del Pro Micro (Arduino)

Anterior a la prueba de reproducción MIDI a través del integrado VS1053b, se realizó una prueba para comprobar que el microprocesador Sparkfun Pro Micro funciona como dispositivo MIDI utilizando las librerías correspondientes en Arduino:

- MIDIUSB.h

PitchToNote.h La Figura 11 representa el esquema utilizado en la prueba. Otros datos de la prueba:

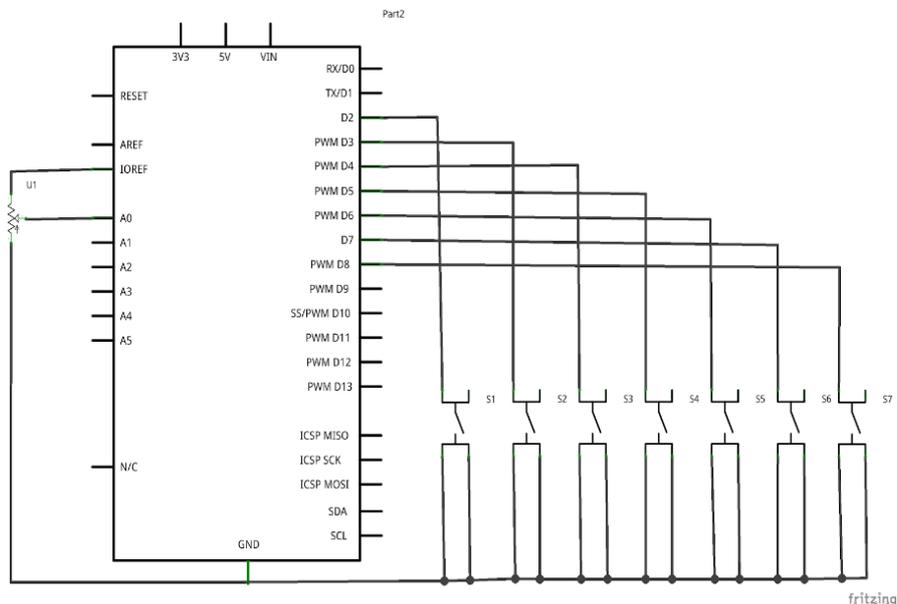


Figura 11. Esquema de circuito utilizado.

- IOREF=3.3V
- 8 pulsadores a 8 entradas digitales.
- Potenciómetro lineal a entrada analógica.

#### V. Pruebas de módulos de comunicación inalámbrica: WiFi y Bluetooth

Estas pruebas no fueron realizadas para este proyecto, sin embargo lo fueron por otros proyectos simultáneos en la empresa y en esta se decidió el uso común y consensuado de los módulos anteriormente descritos. Estos son:

- ESP-01 como módulo de conexión WiFi
- HC-05 como módulo de conexión Bluetooth.

En el caso del módulo ESP-01 (Figura 12), podría decirse que su base, el ESP8266, es el circuito integrado más utilizado por la comunidad maker con ese propósito, y cada vez gana más adeptos con lo que esto supone en relación a mejoras, proyectos e ideas para compartir en la comunidad.



Figura 12. Módulo ESP-01.

Figura 13. Módulo HC-05.

El módulo HC-05 (Figura 13), primo-hermano del HC-06, es también junto con este de lo más utilizado en su campo, dada la facilidad de configuración y uso, así como la gran compatibilidad de conexión con otros dispositivos. Dispone de librería y ejemplos en Arduino.

## 5. Diseño electrónico

Se adjuntan planos de esquemático y PCB en Anexo 8.

### I. Detalles de esquemático

#### 1) VS1053b

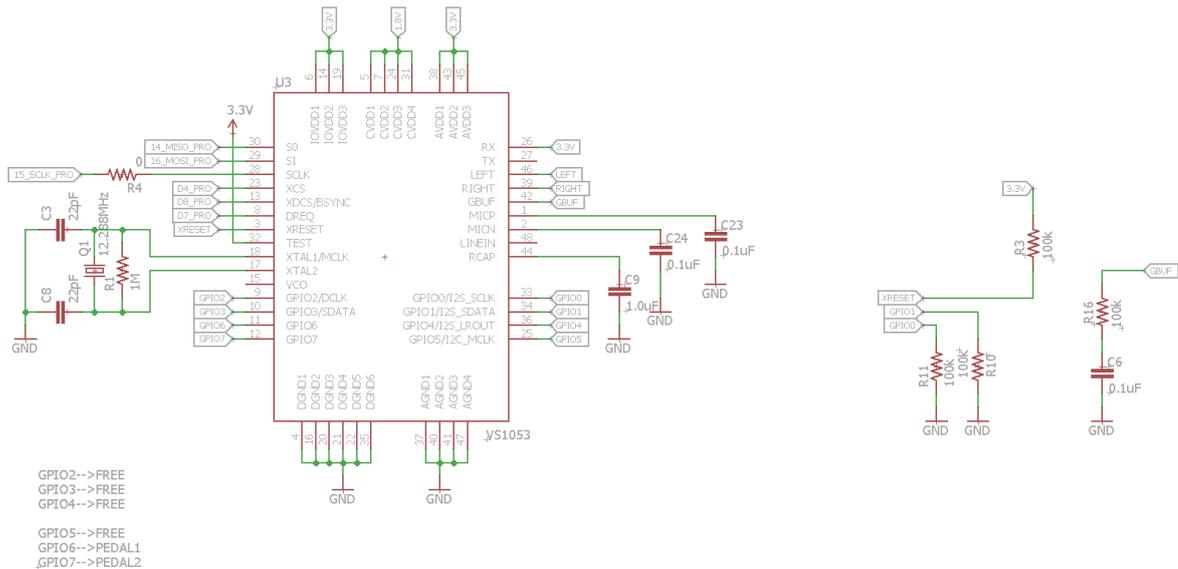


Figura 14. Etapa de VS1053

Para el correcto conexionado de todos los pines del integrado VS1053b, se han seguido tanto el circuito recomendado en la hoja de características del componente como los esquemáticos proporcionados por Adafruit<sup>17</sup> y Sparkfun<sup>18</sup>, empresas que han desarrollado módulos centrados en este mismo circuito integrado, con sus correspondientes variaciones y mejoras respecto al circuito recomendado.

En la Figura 14 podemos observar que muchos de los pines están conectados a GND. Esto se debe a que no vamos a hacer uso de ellos, por lo que se fijan a masa. Tenemos una etapa de reloj, conectado a los pines XTAL1 y XTAL2. La etapa de micrófono se conecta a los pines MICN y MICP, incluyendo sendos condensadores de filtrado. Los pines necesarios para la comunicación con el Pro Micro son los pines MISO, MOSI y SCLK, así como los XCS, XDCS y DREQ para una correcta sincronización de los datos. Los pines LEFT, RIGHT y GBUF corresponden a la conexión con los altavoces (con la correspondiente etapa de amplificación de audio) y el conector Jack 3.5mm para la salida de audio, de manera que LEFT y RIGHT son los pines necesarios para un sonido estéreo y GBUF la referencia de tensión, necesaria para evitar la aparición de excesivo ruido. Tenemos también los GPIOs, dos de los cuales usamos para los sensores de pedal, dejando el resto sin conectar, al aire.

Las resistencias que se observan a la derecha corresponden a las resistencias PULL-UP y PULL-DOWN necesarias para el correcto funcionamiento de los GPIOs, XRESET y GBUF.

<sup>17</sup> Disponible en: <https://www.adafruit.com/product/1790>

<sup>18</sup> Disponible en: <https://www.sparkfun.com/products/12660>

## 2) Bloque de alimentación

### Power Circuit

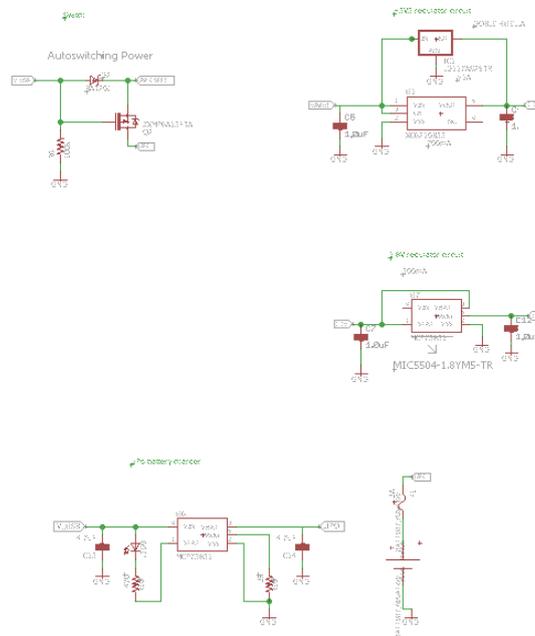


Figura 15. Bloque de alimentación.

El bloque de alimentación está compuesto por cuatro partes: la batería junto con su circuito de carga y protección, el interruptor mediante transistor P-MOSFET para el acople de la tensión más elevada conectada, el regulador lineal fijo de tensión 3.3V, con la adición de una doble huella para la conexión opcional de un regulador con mayor corriente a proporcionar en caso de necesidad, y una última etapa de regulación de 1.8V necesaria para la alimentación de varios pines del integrado VS1053b.

La decisión final respecto a la tensión de alimentación general del circuito ha sido de 3.3V, no obstante, inicialmente fueron 5V los elegidos. Este cambio de idea vino determinado por el hecho de que todos nuestros componentes estaban preparados para trabajar a 3.3V, y para los que no era su tensión ideal para la condición de trabajo no había problema ya que tenían características por encima de lo necesario para el proyecto. Este es el caso del amplificador de audio, cuya tensión de trabajo para proporcionar los 3W de potencia que ofrece el fabricante era de 5.5V, aunque una menor tensión únicamente ocasionaba una menor potencia de salida. Puesto que los altavoces que íbamos a utilizar eran de 0.5W, esto no era ningún inconveniente.

Con esta decisión también se ahorró el circuito elevador de tensión necesario para obtener 5V partiendo de los 3.7V proporcionados por la pila, con lo que esto conlleva en términos de ahorro de energía.

El circuito por utilizar habría sido:

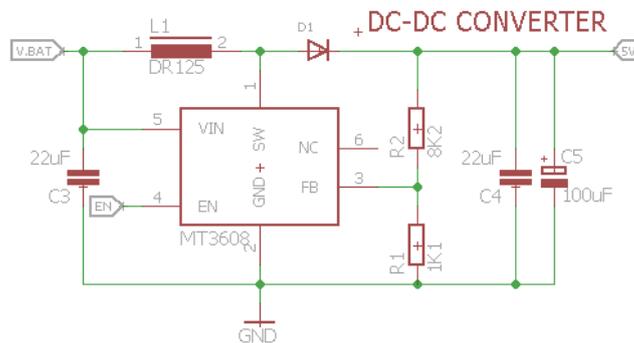


Figura 16. Circuito elevador de tensión.

Centrado en el componente MT3608 y desarrollado para otro proyecto de la empresa.

## II. Detalles de placa de circuito impreso

Para darle facilidad de uso al usuario, se decidió incorporar diferentes logos que representasen los distintos módulos externos a colocar, así como los de la propia empresa y el producto. (Estos pueden no ser los definitivos, ya que existe un papel de diseñador en la empresa que, tras un estudio de ello, podría valorar el modificarlos).

### Logos



Figura 22.  
Volumen



Figura 21.  
Microprocesador



Figura 20.  
Módulo bluetooth



Figura 19.  
Micrófono



Figura 18.  
Módulo WiFi



Figura 17.  
Logotipo de Drummy

## I. Tabla de componentes o BOM(Bill Of Materials)

Aunque varios de los componentes fueron propuestos por la empresa debido a estar siendo utilizados por la misma en diferentes proyectos adyacentes, y por ello no era necesario encargarlos en el pedido de componentes para el prototipo, se hizo un estudio buscando el menor precio en la distribuidora de electrónica de bajo coste, *Aliexpress*<sup>19</sup>. Así, finalmente el BOM de componentes del primer prototipo de instrumento electrónico *Drummy*<sup>20</sup> sería:

### Leyenda de colores

	Componente disponible en laboratorio
	Componente para comprar

<sup>19</sup> <http://es.aliexpress.com>

<sup>20</sup> Nombre oficial del instrumento electrónico.

Tabla 4. Relación de componentes para el prototipo y sus precios

Proyecto	Artículo	Unidades	Precio Unidad	Envío	Total	Link	Notas
Batería electrónica (sensores)	Sensor de presión (FSR)	2	1,60 €	1,14 €	4,34 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	10kg, patas cortas, round
Batería electrónica (sensores)	Final de carrera	1	0,80 €	0,61 €	1,41 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	de impresora 3D
Batería electrónica (luces)	Luces neopixel	1	3,39 €	0,00 €	3,39 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	lote de 20 leds
Batería electrónica (conexión)	Módulo bluetooth	1	2,25 €	1,11 €	3,36 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	HC-05
Batería electrónica (alimentación)	Regulador 3'3V	1	0,51 €		0,51 €	<a href="http://es.farr">http://es.farr</a>	XC6210B332MR (TOREX)
Batería electrónica (alimentación)	Regulador 1'8V	1	0,09 €		0,09 €	<a href="http://es.farr">http://es.farr</a>	MIC5504-1.8YM5-TR
Batería electrónica (alimentación)	Battery holder (SMD)	1	3,12 €	3,43 €	6,55 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	lote de 5 (1) 1042P (KEYSTONE)
Batería electrónica (alimentación)	P-MOSFET	1	0,39 €	0,55 €	0,94 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	lote de 10, necesario 1 (AO3401 )
Batería electrónica (alimentación)	Battery charger	1	1,02 €	1,31 €	2,33 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	lote de 10, MCP73831T-2DCI/OT
Batería electrónica (alimentación)	Fusible 2A	1	0,78 €	1,29 €	2,07 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	lote de 10, 1812 resettable fusible pptc
Batería electrónica (alimentación)	Diodo Schottky	1	0,88 €	3,32 €	4,20 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	lote de 20, SOD323 1A 40V
Batería electrónica (audio)	Altavoz PCB	2	1,06 €	1,09 €	3,21 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	PCB mini altavoz 8Ohm 0,5W
Batería electrónica (audio)	Potenciómetro volumen	1	1,74 €	1,07 €	2,81 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	lote de 5 (1)(No es ptr902-2020k-a103) 50k
Batería electrónica (audio)	Piezoeléctrico	1	10,00 €		10,00 €	<a href="https://www">https://www</a>	lote 5(4), OBO buzzer, 30mm diametro
Batería electrónica (audio)	IC amplificador estéreo	1	0,10 €	1,82 €	1,92 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	Elegir PAM8403
Batería electrónica (audio)	Micrófono	1	1,09 €	2,07 €	3,16 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	lote de 5 (1) (No es CMA-4544PF-W)
Batería electrónica (IC audio)	VS1053	1	15,78 €	0,00 €	15,78 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	lote de 5(1)
Batería electrónica (SD)	uSD socket	1	1,48 €	1,33 €	2,81 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	lote de 10(1)
Batería electrónica (conexión)	Interruptor 3 posiciones	1	3,04 €	0,00 €	3,04 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	SP3T interruptor deslizante (SS13F11)
Batería electrónica (interfaz)	Pantalla OLED	1	1,47 €	0,64 €	2,11 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	128*32 OLED
Batería electrónica (pasivos)	Condensador cerámico (0603)	2			0,00 €		22pF
Batería electrónica (pasivos)	Condensador cerámico (0603)	11			0,00 €		100nF
Batería electrónica (pasivos)	Condensador cerámico (0603)	2			0,00 €		470nF
Batería electrónica (pasivos)	Condensador cerámico (0603)	11			0,00 €		1uF
Batería electrónica (pasivos)	Condensador cerámico (0603)	1	0,79 €	1,29 €	2,08 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	lote de 100(2) 4,7uF
Batería electrónica (pasivos)	Condensador tantalio (1206)	2			0,00 €		10uF
Batería electrónica (pasivos)	Condensador tantalio (1206)	1	3,60 €	0,73 €	4,33 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	lote de 10(1) 470uF
Batería electrónica (pasivos)	Resistencia (0603)	1			0,00 €		100Ohm
Batería electrónica (pasivos)	Resistencia (0603)	2			0,00 €		330Ohm
Batería electrónica (pasivos)	Resistencia (0603)	2			0,00 €	<a href="https://es.a">https://es.a</a>	470Ohm
Batería electrónica (pasivos)	Resistencia (0603)	4			0,00 €		1kOhm
Batería electrónica (pasivos)	Resistencia (0603)	1			0,00 €		2kOhm
Batería electrónica (pasivos)	Resistencia (0603)	2			0,00 €		4,7kOhm
Batería electrónica (pasivos)	Resistencia (0603)	7			0,00 €		100kOhm
Batería electrónica (pasivos)	Resistencia (0603)	1			0,00 €		1MOhm
Batería electrónica (conexión)	Módulo WIFI	1			0,00 €		ESP8266
Batería electrónica (Alimentación)	Batería LiPo recargable	1	0,87 €		0,87 €		
Batería electrónica (IC audio)	Cristal	1	0,87 €		0,87 €	<a href="https://es.fa">https://es.fa</a>	ABM8G crystal 5x3,2 12.288MHz
Batería electrónica (IC audio)	Conector Jack Hembra	1	1,91 €	1,15 €	3,06 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	lote de 10 (1)
Batería electrónica (IC audio)	Led Rojo (0603)	1	0,29 €	0,54 €	0,83 €	<a href="https://es.ali">https://es.ali</a>	lote de 100(1)
Batería electrónica (placa)	Producción	1	10,00 €		10,00 €		

## 6. Conclusiones y trabajo futuro

Tras la investigación inicial indagando en el mundo de la música, he podido descubrir la importancia que está tomando en este campo la tecnología, remarcando sobre todo lo generalizados que están los sintetizadores a nivel de músico aficionado a las nuevas tecnologías, aunque siendo para ello necesario cierto nivel de conocimiento del tema. Hay multitud de proyectos maker en esta dirección, además de los ya comercializados, por lo que desarrollar un producto original se hace cada vez más complicado.

Se ha llevado a cabo la investigación, desarrollo y construcción de un nuevo producto, siendo el prototipo desarrollado una primera versión de este, sobre la que se seguirá trabajando.

Con esto, se han cubierto los requisitos iniciales, desarrollando a nivel de hardware un producto electrónico MIDI capaz de reproducir archivos MP3, grabar sonidos y, como característica principalmente buscada, asemejarse a un instrumento tradicional real. Una de las partes más costosas del proyecto fueron las pruebas del integrado VS1053b, realizadas con otro miembro del equipo, formándonos a su vez por ello y demostrando la importancia de una correcta y exhaustiva lectura de las hojas de características de los componentes, donde por lo general se encuentra todo lo necesario para hacerlos funcionar correctamente.

Podemos decir que en este proyecto se ha conseguido un kit barato y asequible para trabajar con tecnología MIDI y dispositivos de reproducción de sonido electrónicos en etapas tempranas sin necesidad de ser un experto en este tipo de estándar de audio. Esto abre las puertas a trabajar la soldadura, la electrónica y la tecnología MIDI a usuarios inexpertos en el campo, aumentando el interés que se pueda tener sobre ello.

Simultáneamente al desarrollo de Drummy, en la empresa se están desarrollando instrumentos que combinados entre sí formarán The Amazing PCB Orchestra, lo que ha hecho posible (y, en parte, necesario) el trabajo en equipo junto con otros trabajadores y becarios, reflejado en varias partes del documento principalmente en la toma de decisiones. En un futuro, el proyecto conjunto se presentará a concursos e iniciativas ciudadanas con el objeto de obtener el apoyo para su desarrollo comercial. Destacar la viabilidad de estas ideas de evolución ya que este no será muy costoso, pues un prototipo como el que se acaba de elaborar ha tenido un coste de menos de 100€, comprando en lotes varios de los componentes necesarios, la mayoría de los cuales son comunes entre los diferentes instrumentos.

El tercer ámbito que se trata de abarcar con este proyecto es el de la educación. Esto quedará para un trabajo futuro, buscando la colaboración con centros educativos con el fin de probar estos productos en el aula y de esta manera introducir nuevas tecnologías electrónicas en materias clásicas, como lo es la música, haciendo posible la formación a temprana edad en soldadura y tecnología MIDI.

## Bibliografía

- Bernal, J., Epelde, A., Gallardo, M. y Rodríguez, A. (2014). La música en el aprendizaje del inglés. *Revista Eufonía*, 60, 50-59.
- García, E., Del Olmo, M., y Gutiérrez, E. (2014). Educación musical y desarrollo cognitivo asociado. *Revista Música y educación*, 97, 28- 41.
- International Society for Music Education. (2006). ISME Vision and Mision: Leading and Supporting Music Education Worldwide. Retrieved 06/05/2015, from <http://www.isme.org/general-information/29-isme-vision-and-mission>
- Longueira, S. (2009). Aproximación a las aportaciones de la educación musical al desarrollo de la creatividad en el Sistema Educativo Español. *Revista RecreArte*, 11.
- Medina, S. (2002). «Using music to enhance second language acquisition: from theory to practice», en LALAS, J.; LEE, S.: *Language, Literacy, and academic Development for English language learners*. Pearson Educational Publishing.
- Touriñán, J. (2006). Educación en valores y experiencia axiológica: el sentido patrimonial del a educación. *Revista Española de Pedagogía*, 234, 227-248.
- Touriñán, J. (2016). Pedagogía general. Principios de educación y principios de intervención pedagógica. La Coruña: Cedro.
- Touriñán, J. (2017). Educación artística común, específica y especializada: sustantivación y adjetivación de la relación arteseducación. En S. Longueira Matos & L.
- Touriñán, L. (2018). Música, educación y nuevas tecnologías: Fundamentos Pedagógicos de la Relación. Educación “por” la música en la formación adulta Universitaria a través de las TIC. *Universidad de Santiago de Compostela*, 7(7), 39-77.
- Vázquez, M. (2010). «Aprender idiomas a través de la música. Escuchar canciones en otras lenguas es un entretenido recurso para practicar las competencias idiomáticas» [en línea] <[www.consumer.es/web/es/educacion/otras\\_formaciones/2010/10/31/196824.php](http://www.consumer.es/web/es/educacion/otras_formaciones/2010/10/31/196824.php)>. [Consulta: 2 de mayo: 2014]
- (s.f.). Obtenido de <http://www.stagebysony.com/old/conoce-las-partes-de-una-bateria-y-ponte-a-tocar/>
- (s.f.). Obtenido de [https://es.farnell.com/multicomp/mcbb400/breadboard-solderless-300v-abs/dp/2395961?mckv=spV0zH0UL\\_dc|pcrid|47060789469|keyword||match||plid||slid||product|2395961|&gross\\_price=true&CATCI=pla-57456863650&CAAGID=15009865749&CMP=KNC-GES-GEN-SHOPPING-2395961&CA](https://es.farnell.com/multicomp/mcbb400/breadboard-solderless-300v-abs/dp/2395961?mckv=spV0zH0UL_dc|pcrid|47060789469|keyword||match||plid||slid||product|2395961|&gross_price=true&CATCI=pla-57456863650&CAAGID=15009865749&CMP=KNC-GES-GEN-SHOPPING-2395961&CA)
- Abierto.cc. (s.f.). *Fenderino Guitar Shield*. Obtenido de <https://abierto.cc/shop/product/30868/Fenderino-Guitar-Shieldwithout-Arduino-board/>
- Arduino. (s.f.). Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/MidiDevice>
- Arduino. (s.f.). *Comparación de productos*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Products/Compare>

- Autodesk. (s.f.). *Eagle*. Obtenido de <https://www.autodesk.es/products/eagle/subscribe?plc=EGLSTD&term=1-YEAR&support=BASIC&quantity=1>
- Bonilla, C., Montero, J. P., & Schwarz, S. (s.f.). *Drawdio*. Obtenido de Autodesk, Inc. - Instructables Web site: <https://www.instructables.com/id/Drawdio-3/>
- EcuRed, E. c. (s.f.). *Instrumentos musicales*. Obtenido de [https://www.ecured.cu/Instrumentos\\_musicales](https://www.ecured.cu/Instrumentos_musicales)
- Electrónica y ciencia. (2010). *Utilizar un micrófono electret*. Obtenido de <http://electronicayciencia.blogspot.com/2010/06/utilizar-un-microfono-electret.html>
- López Rodríguez, J. M. (2011). Introducción para leer al principio y al final. En J. M. López Rodríguez, *Breve historia de la música* (págs. 11-15). Madrid: Ediciones Nowtilus S.L.
- Luis Llamas. (7 de febrero de 2016). *Conectar Arduino con paneles y tiras LED RGB*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/arduino-led-rgb-ws2812b/>
- Luis Llamas. (16 de mayo de 2016). *El bus I2C en Arduino*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/arduino-i2c/>
- Mendez, F. (2008). *Aprende qué es el MIDI*. JAMPR.COM, INC. Obtenido de [https://books.google.es/books?id=zugGAwAAQBAJ&dq=MIDI&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.es/books?id=zugGAwAAQBAJ&dq=MIDI&hl=es&source=gbs_navlinks_s)
- Pablin. (s.f.). *Distorsionador de voz*. Obtenido de [www.pablin.com.ar/electron/circuito/audio/distovoz/index.htm](http://www.pablin.com.ar/electron/circuito/audio/distovoz/index.htm)
- Programo Ergo Sum. (s.f.). *Robótica Educativa con Makey-Makey*. Obtenido de <https://www.programoergosum.com/cursos-online/robotica-educativa/248-usos-de-la-makey-makey-en-el-aula/que-es-makey-makey>
- Sparkfun. (s.f.). *Lista comparativa de productos*. Obtenido de [https://www.sparkfun.com/standard\\_arduino\\_comparison\\_guide](https://www.sparkfun.com/standard_arduino_comparison_guide)
- Sparkfun. (s.f.). *Más información sobre Sparkfun Pro Micro*. Obtenido de <https://www.sparkfun.com/products/12587>
- SpikenzieLabs. (s.f.). Obtenido de <http://spikenzielabs.com/SpikenzieLabs/DrumKitKit.html>
- Wells, O. (18 de Diciembre de 2012). *Make Magazine*. Obtenido de <https://makezine.com/projects/electronic-midi-wind-instrument/>
- Wikipedia. (s.f.). *Francisco de Asís Tárrega*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Francisco\\_T%C3%A1rrega](https://es.wikipedia.org/wiki/Francisco_T%C3%A1rrega)
- Wikipedia. (s.f.). *Melodía Nokia*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Melod%C3%ADa\\_Nokia](https://es.wikipedia.org/wiki/Melod%C3%ADa_Nokia)

## Índice de figuras

FIGURA 1. BATERÍA REAL.....	9
FIGURA 2. DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL.....	10
FIGURA 3. BATERÍA ELECTRÓNICA COMERCIAL.....	12
FIGURA 4. ESQUEMA DE PINES DE LA PLACA SPARKFUN PRO MICRO.....	13
FIGURA 5. PROTOBOARD BLANCA.....	17
FIGURA 6. FSR REDONDO.....	17
FIGURA 7. FSR CUADRADO.....	17
FIGURA 8. CIRCUITO UTILIZADO PARA PRUEBAS DE MICRÓFONO Y ALTAVOZ.....	18
FIGURA 9. MÓDULO SPARKFUN REPRODUCTOR MP3.....	19
FIGURA 10. MÓDULO REPRODUCTOR DE MP3 BASADO EN VS1053B.....	19
FIGURA 11. ESQUEMA DE CIRCUITO UTILIZADO.....	20
FIGURA 12. MÓDULO ESP-01.....	21
FIGURA 13. MÓDULO HC-05.....	21
FIGURA 14. ETAPA DE VS1053.....	22
FIGURA 15. BLOQUE DE ALIMENTACIÓN.....	23
FIGURA 16. CIRCUITO ELEVADOR DE TENSIÓN.....	24
FIGURA 17. LOGOTIPO DE DRUMMY.....	24
FIGURA 18. MÓDULO WIFI.....	24
FIGURA 19. VOLUMEN.....	24
FIGURA 20. MICROPROCESADOR.....	24
FIGURA 21. MÓDULO BLUETOOTH.....	24
FIGURA 22. MICRÓFONO.....	24



## Índice de tablas

TABLA 1. REQUISITOS PRIMARIOS DEL PROYECTO. ....	7
TABLA 2. REQUISITOS SECUNDARIOS DEL PROYECTO. ....	8
TABLA 3. RELACIÓN DE PINES DE LA PLACA SPARKFUN PRO MICRO Y DEL CIRCUITO INTEGRADO VS1053B CON LOS ELEMENTOS A CONTROLAR. .....	14
TABLA 4. RELACIÓN DE COMPONENTES PARA EL PROTOTIPO Y SUS PRECIOS .....	25