



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS" ZACATENCO**



**"PROTOTIPO DE  
UNA BATERÍA ELECTROACÚSTICA"**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

**P R E S E N T A:**

**ANGEL ENRIQUE BETANZOS GALLARDO**

**ASESORES:**

**ING. JOSÉ JAVIER MUEDANO MENESES  
ING. RAMÍREZ RANGEL PATRICIA LORENA**

**CUIDAD DE MÉXICO, MARZO 2022**

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"**

**TEMA DE TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN TESIS Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL  
DEBERA (N) DESARROLLAR C. ANGEL ENRIQUE BETANZOS GALLARDO

**"PROTOTIPO DE UNA BATERÍA ELECTROACÚSTICA"**

DISEÑAR Y CONSTRUIR UNA BATERÍA ELECTROACÚSTICA UTILIZANDO TRANSDUCTORES PIEZOELÉCTRICOS PARA QUE NIÑOS O PRINCIPIANTES TENGAN UN PRIMER ACERCAMIENTO A ESTE INSTRUMENTO MUSICAL Y ASÍ APRENDAN A TOCARLO.

- ❖ MARCO TEÓRICO
- ❖ DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO
- ❖ RESULTADOS Y COSTOS

CIUDAD DE MÉXICO, A 24 DE MARZO DE 2022.

**ASESORES**

ING. JOSÉ JAVIER MUEDANO MENESES

ING. PATRICIA LORENA RAMÍREZ RANGEL

M. EN C. TIZALA KABAÑAS WALDA  
JEFA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA  
EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

**Instituto Politécnico Nacional**

**P r e s e n t e**

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe **ANGEL ENRIQUE BETANZOS GALLARDO**, manifiesto ser autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada "**PROTOTIPO DE UNA BATERIA ELECTROACÚSTICA**", en adelante "**La Tesis**" y de la cual se adjunta copia en **UN IMPRESO Y UN CD** por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo al **Instituto Politécnico Nacional**, en adelante **EI IPN**, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales o en cualquier otro medio; **PARA APOYAR A FUTUROS TRABAJOS RELACIONADOS CON EL TEMA** de "**La Tesis**" por un periodo de **3 años** contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a **EI IPN** de su terminación.

En virtud de lo anterior, **EI IPN** deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de "**La Tesis**".

Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de "**La Tesis**", manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de "**La Tesis**", por lo que deslindo de toda responsabilidad a **EI IPN** en caso de que el contenido de "**La Tesis**" o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México, a 18 de agosto de 2022.

**Atentamente**



**ANGEL ENRIQUE BETANZOS GALLARDO**

## **Agradecimientos**

A Dios quien me ha dado el regalo y privilegio de formarme en una carrera universitaria. Por darme las fuerzas cuando no las tengo, por ser mi guía, sustento y mayor inspiración.

A mis padres y familiares que estuvieron siempre cerca con su apoyo, consejo, ánimo, cariño y ejemplo. Sepan que este logro también es suyo.

A mis amigos quienes caminaron conmigo en esta etapa, que hicieron el camino más llevadero y confortante.

A mis asesores de tesis y docentes que amablemente me guiaron en este proceso y a lo largo de toda la carrera. Gracias por no darse por vencidos.

A mi institución por ser mi casa y formarme por todos estos años.

*Soli Deo Gloria*

# Índice

Objetivo general .....	7
Objetivos particulares .....	7
Justificación .....	7
Introducción .....	8
Capítulo I Marco Teórico .....	9
1.1 Instrumentos musicales de percusión .....	9
1.1.1 Batería acústica .....	10
1.1.2 Cajón peruano .....	10
1.1.3 Bongos .....	11
1.1.4 Yembé .....	12
1.2 Historia de Baterías electroacústicas .....	12
1.3 Que es una batería electrónica .....	13
1.3.1 Componentes de una batería electrónica .....	14
1.3.2 Funcionamiento de una batería electrónica .....	14
1.4 Componentes del prototipo .....	15
1.4.1 Transductores piezoeléctricos .....	15
1.4.2 Pads .....	16
1.4.3 Arduino MEGA .....	16
1.3.4 Módulo Micro SD (Secure Digital) .....	17
1.4.5 Formato WAV .....	19
Capitulo II Diseño y construcción de prototipo .....	20
2.1 Propuesta del diseño del prototipo .....	20
2.2 Pads de práctica .....	21
2.3 Construcción de pads del prototipo .....	22
2.4 Circuito de entrada y de selección de bibliotecas de sonidos .....	24
2.4.1 Circuito de entrada .....	24
2.4.2 Circuito de selección de librerías .....	26
2.5 Desarrollo del programa .....	27
2.5.1 Serial monitor .....	28
2.5.2 Biblioteca SD (Secure Digital) .....	29
2.5.3 Biblioteca TMRpcm .....	29
2.5.4 Bloque de selección de bibliotecas .....	30

2.5.5 Bloque de entrada, lectura de sensores piezoeléctricos .....	34
2.6 Grabaciones .....	36
2.6.1 Equipo utilizado para las grabaciones .....	36
Capitulo III Resultados y costos .....	46
3.1 Medición del voltaje recibido de los pads .....	46
3.2 Pruebas con la selección de librerías de sonidos .....	48
3.3 Guía rápida de usuario .....	50
3.4 Costos.....	52
Conclusiones.....	54
Referencias.....	55
Anexos.....	57
Anexo 1 Especificaciones técnicas de la placa Arduino mega 2560.....	57

## Objetivo general

Diseñar y construir una batería electroacústica a bajo costo utilizando transductores piezoeléctricos y el microcontrolador Arduino Mega.

## Objetivos particulares

- Evitar el ruido generado por una batería acústica.
- Reducir el espacio físico que se requiere para una batería acústica.
- Grabar diferentes instrumentos de percusión que puedan ser utilizados para reproducirse en este prototipo.

## Justificación

Debido a que una batería acústica necesita un espacio físico considerable en donde colocarse, así como un lugar acondicionado acústicamente para disminuir el ruido generado por su uso, evitando, lo más posible problemas auditivos e incomodidad a vecinos y familiares.

Por otro lado, la adquisición de una batería acústica requiere de una inversión económica de \$ 5,000 hasta \$ 50,000, para aquellas personas que usen este instrumento musical para ensayos o presentaciones.

En este proyecto se desarrolla un prototipo de una batería electroacústica a bajo costo. Que permite mayor accesibilidad en cuanto a precio, funcionalidad y control de ruido.

## Introducción

Las baterías acústicas son un instrumento de suma importancia en la industria musical ya que es utilizada en los géneros más escuchados en la actualidad. Esta es una de las razones por lo cual estos instrumentos han sido tan solicitados en el mercado. A pesar de esto, todo aquel que tenga interés de adquirir una batería acústica se encuentra con varias dificultades.

Una de ellas es que este instrumento es uno de los más caros que existen en el mercado. A comparación de otros instrumentos musicales, la batería acústica está muy encima en los precios de los ejemplares más económicos comparándolo con el precio de otros instrumentos más convencionales tales como guitarra acústica o eléctrica, bajo, teclado. Otra dificultad, es el ruido que genera y que suele ser molesto para familiares o vecinos si es que el lugar físico donde se encuentra no está acondicionado acústicamente. Por último, el espacio requerido, estos instrumentos requieren de un espacio considerable a los que muchos no tienen acceso.

Este proyecto tiene como finalidad crear un prototipo de una batería electroacústica que atienda esas dificultades que los compradores se enfrentan cuando desean adquirir una batería acústica. Ya que será construida con materiales de bajo costo, se reducirá el espacio que se necesita para una batería acústica, en este caso el prototipo contara con 6 pads que el usuario podrá colocar como más se le acomode. También se reducirá el ruido generado ya que el microprocesador con el que se estará trabajando, contará con una salida de audio para que el usuario pueda conectar sus audífonos o algún otro sistema reproductor de audio. El prototipo contara con 5 bibliotecas de sonidos provenientes de instrumentos de percusión, los cuales serán grabados para luego ser almacenados en una tarjeta microSD.

# Capítulo I Marco Teórico

## 1.1 Instrumentos musicales de percusión

Los instrumentos de percusión son aquellos que producen el sonido al ser golpeados, entrechocados, sacudidos, etc.

Se clasifican en dos grandes categorías:

**Instrumentos de percusión de sonido indeterminado:** no producen notas musicales perfectamente afinadas. Su sonido no proporciona a nuestro oído una sensación clara de altura. Tan sólo podemos decir si son más o menos graves o agudos. A su vez se clasifican en tres grandes grupos, dependiendo del material en el que estén contruidos:

- **Madera:** la mayoría son instrumentos idiófonos (instrumentos en los que no se distingue el elemento productor del sonido de la caja de resonancia). Castañuelas, claves o bastones de percusión (ambos producen el sonido entrechocando sus componentes), maracas (un componente interno frota el interior del cuerpo del instrumento), güiro (posee un cuerpo caña en el que se han practicado unas hendiduras contra las que se rasca un palo de madera u otro elemento), caja china, etc.
- **Metal:** crócalos o chinchines, platillos, gong, triángulos, cascabeles, cencerro, etc. La mayoría son instrumentos idiófonos.
- **Parche:** son instrumentos membranófonos ya que poseen una o dos membranas sujetas al cuerpo del instrumento que, a su vez, funciona como caja de resonancia. El sonido se produce cuando su membrana es golpeada directamente con las manos o con unas varillas especiales llamadas baquetas. Pandero, pandereta, bombo, caja, tambor, etc. Suelen formar parte de agrupaciones instrumentales que acostumbran a tocar al aire libre y, en ocasiones, desfilando.

**Instrumentos de percusión de sonido determinado:** el sonido que producen se corresponde con notas musicales perfectamente afinadas.

- **Membranófonos:** los timbales son el instrumento de percusión más importante en una orquesta sinfónica. Para obtener la afinación deseada la membrana puede tensarse más o menos. El instrumentista utiliza unas baquetas, normalmente forradas de felpa, para producir el sonido. Otros ejemplos de instrumentos membranófonos de sonido más o menos determinado son los bongos y las congas. Se tocan golpeando las membranas directamente con las manos. Son más propios de ritmos caribeños que de la música culta.
- **Idiófonos de sonido determinado:** xilófono, marimba (placas de madera de distinto tamaño producen notas musicales perfectamente afinadas al ser

golpeadas con baquetas), metalófono, glockenspiel, vibráfono (similar al xilófono y la marimba con la diferencia que ahora las placas no son de madera sino de metal), campanas tubulares, etc. [1]

### **1.1.1 Batería acústica**

Es un instrumento musical que pertenece a la familia de percusión. Este equipo estándar se usa en la música pop, el blues, el jazz, el rock, el heavy metal (en casi todos los géneros musicales), convirtiéndose, por tanto, en un instrumento indispensable para muchas agrupaciones musicales.



*Fig. 1* Batería acústica Pearl

La batería está compuesta por un conjunto de tambores, comúnmente de madera, cubiertos por dos parches, uno de golpeo (en la parte superior) y otro resonante (en la parte inferior). Estos tambores pueden variar su diámetro, afectando al tono, y la profundidad, variando la sensibilidad sobre el parche de resonancia. Además la batería también es acompañada por platillos, y otros accesorios (tales como cencerro, pandero, bloques de madera, entre otros).

La batería se puede afinar con una llave de afinación y un sistema de capachos o lugs y pernos de afinación que tensan el parche. Mientras más tenso el parche, más agudo el sonido, y viceversa. [2]

### **1.1.2 Cajón peruano**

El cajón es un instrumento de percusión de origen peruano, denominado por el decimista Don Nicomedes Santa Cruz, como “Su Majestad, El Cajón”, fue creado por los negros esclavos en el Perú durante la colonización española debido a la prohibición que tenían de ejecutar sus tambores por parte de la Iglesia Católica y el virreinato del Perú, por ser considerado pagano y para evitar la comunicación a distancia entre esclavos, por tal motivo todo tambor hallado fue quemado. Las primeras referencias

documentales del cajón como instrumento datan de mediados del siglo XIX, en donde habría sido usado en primer término por los esclavos negros de la costa peruana.



*Fig. 2* Cajón peruano

El cajón peruano es construido tradicionalmente con cedro o caoba, sus formas y tamaños varían, sus medidas más usuales son las siguientes: Una base de 35 cm x 20 cm de ancho, y una altura de 46 cm. El espesor de la madera es de 12 a 15 mm. La cara anterior es más delgada, y en ella el percusionista toca con los dedos o con la palma ahuecada, logrando básicamente dos tipos de sonoridad: más grave hacia el centro de la tapa o más agudo en el borde superior de la misma. [3]

### **1.1.3 Bongos**

Los bongos, instrumento de origen latinoamericano, consisten en una pareja de pequeños tambores de sonido muy agudo y brillante, y que no poseen un aro metálico que sobresalga por el borde de los parches.



*Fig. 3* Bongos Afro

Originariamente se tocaban con las manos, colocándolos entre las rodillas del percusionista, que hace alardes de virtuosismo según en la parte del parche donde

percuta. Sin embargo, en la música contemporánea es más frecuente percutir este instrumento mediante baquetas de fieltro o de madera, colocándolos sobre un trípode fijo.

Los bongos son la continuación hacia el agudo de los toms y de los timbales. Al poseer el aro metálico anteriormente mencionado, sus posibilidades sonoras son más reducidas que si lo tuviera.[4]

#### 1.1.4 Yembé

El Djembé (o yembé) es un instrumento de percusión africano, muy popular en países como Senegal, Costa de Marfil, Guinea, Malí o Burkina. Está construido en madera y el parche es de cuero de cabra. Su sistema de tensión es el tradicional con sogas y anillos de metal. Su altura ronda los 65cm y el diámetro aproximado de 31 centímetros.

El Djembé es un instrumento de percusión perteneciente a la familia de instrumentos membranófonos y puede ser encontrado con los siguientes nombres: dyembe, djembe, yembe, yimbe, sanbanyi, tam tam, etc.[5]



Fig. 4 Yembé africano

#### 1.2 Historia de Baterías electroacústicas

La primera batería electrónica comercial fue el Syndrum Pollard, liberado por las industrias Pollard en 1976. Se componía de un generador de sonido eléctrico y uno o más parches de percusión. Rápidamente llamó la atención de muchos bateristas famosos como Carmine Appice y Terry Bozzio. Pero el Syndrum fue un fracaso financiero y llevó a la empresa a la ruina en pocos años.[6]



Fig. 5 Primer batería electroacústica Syndrum

En 1978, la empresa Simmons fue creada con el fin de producir set de percusión electrónicos. Su producto más notable fue la SDS-5, lanzado en 1981. Con sus almohadillas hexagonales características, la SDS-5 fue utilizado por primera vez por Burgess.



Fig. 6 Batería electroacústica SDS-5

Después de su debut en los desfiles principales, el instrumento llamó la atención de muchos bateristas de rock importantes. El sonido de la SDS-5 se describe a menudo como 'tapas de basura'. A pesar de las críticas, el sonido distintivo de Simmons fue utilizado ampliamente durante la década de 1980 por parte de grupos de rock como Duran y Rush, entre otros. [7]

### 1.3 Que es una batería electrónica

Una batería electrónica está compuesta por elementos que basándose en pads electrónicos, proporcionan sonidos que imitan a las baterías acústicas. Estos sonidos programados para los pads son procesados por un módulo. Hoy en día, los fabricantes de baterías electrónicas tratan de lograr en sus sistemas, sonidos muy parecidos a los producidos por la ejecución de una batería acústica. Por otro lado, las baterías

electrónicas pueden ser conectadas a una computadora, lo cual permite que los sonidos de los pads se reprogramen o modifiquen.

Se conoce como batería electrónica al instrumento de percusión en el que el sonido es emitido por un generador de ondas electrónicas o un sampler, que produce ondas sonoras sintetizadas.

### **1.3.1 Componentes de una batería electrónica**

La batería electrónica en sí consta de tantos pads como elementos tiene una batería acústica, todos tienen la misma naturaleza excepto los que cumplen una función análoga a los pedales de charles y bombo de la batería acústica.

El primero permite "abrir" o "cerrar" el charles, variando la señal MIDI y de este modo el sonido producido por el módulo, el segundo en cambio sólo sirve a modo de golpeador, igual que en una batería acústica. Así podemos decir que una batería electrónica estándar consta de los siguientes:

- Redoblante
- Hi-Hat + pedal
- Ride
- Crash
- Toms 1 y 2
- Goliat o Tom 3
- Bombo + pedal

### **1.3.2 Funcionamiento de una batería electrónica**

Al golpear un pad con la baqueta se crea una diferencia de potencial en los sensores piezoeléctricos. Las señales resultantes son enviadas a un módulo mediante cables TS o TRS, y son transformadas en ondas de sonido que producen el sonido de batería deseado, atendiendo al pad que origina la señal MIDI, así como la fuerza aplicada a éste y otros datos. La mayoría de módulos modernos tienen entradas para dos o más platillos, bombos, de tres a cuatro toms, un redoblante (que normalmente puede producir dos señales de redoblante o de aro), y un hi-hat. El hi-hat, como hemos dicho antes, posee una pedalera que controla la "apertura virtual", produciendo sonidos que van del hi-hat abierto por completo a cerrado y sonidos intermedios en los kits de mejor calidad.

A cada pad se le puede asignar un distinto sonido, de manera que un baterista que use este tipo de instrumento tiene total libertad a la hora de configurar su sonido, creando distintos kits de sonido con una sola batería electrónica. Además, cabe la posibilidad de asignar cualquier tipo de sonido, y no sólo de batería, a sus pads. A esta posibilidad recurren muchos bateristas de música industrial. Este factor es visto por muchos como

una gran ventaja sobre las baterías acústicas, dado que con un sólo set de batería se puede tocar jazz, rock o baladas, simplemente seleccionando los kits de sonido desde el módulo.

## 1.4 Componentes del prototipo

### 1.4.1 Transductores piezoeléctricos

La palabra piezoelectricidad significa electricidad como resultado de una presión. Cuando un dispositivo piezoeléctrico se comprime. El sensor piezoeléctrico puede estar conformado por materiales cerámicos o cristales iónicos que son capaces de generar una pequeña energía eléctrica cuando estos son deformados. A este efecto se le conoce como efecto piezoeléctrico. [8]

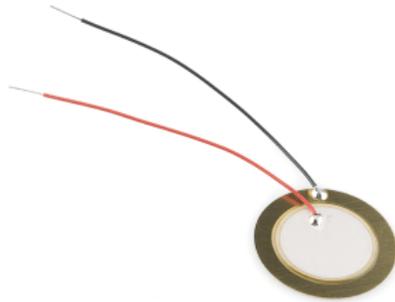


Fig. 7 Transductor piezoeléctrico

Al tener una construcción demasiado sencilla este sensor consta de 3 componentes principales:

- Material piezoeléctrico
- Placa de metal
- Cables (Positivo y Negativo)

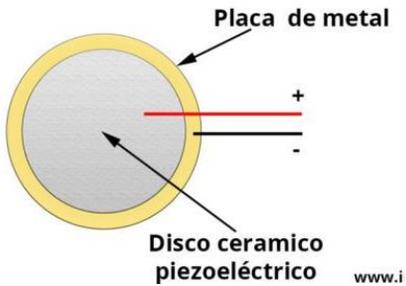


Fig. 8 Partes de un transductor piezoeléctrico

### 1.4.2 Pads

Normalmente los "Pads" están diseñados para que el rebote sea lo más parecido posible a una tarola de una batería acústica, hay determinadas marcas que trabajan con diferentes materiales y nos darán sensaciones diferentes y comodidad en nuestro estudio cotidiano.

Por lo general los pads están hechos de "Caucho Sintético" o "Goma Natural" de alta densidad muy parecida a la alfombrilla de nuestro ratón de ordenador. Con respecto al tamaño y forma, existe una diversidad considerable en estos puntos ya que todo depende del fabricante y de las necesidades del consumidor.[9]



Fig. 9 Pads de batería electroacústica

### 1.4.3 Arduino MEGA

Tiene 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 15 pueden ser usadas como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs, un cristal de 16Mhz, conexión USB, jack

para alimentación DC, conector ICSP, y un botón de reseteo. La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de shields compatibles para Arduino UNO. [10]



Fig. 10 Arduino Mega

### Especificaciones técnicas

Microcontrolador	ATmega2560
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V

Para conocer las especificaciones técnicas completas, ver anexo 1.

#### 1.3.4 Módulo Micro SD (Secure Digital)

Este módulo nos permite insertar una memoria Micro SD que son las más comunes en el mercado. Estas tarjetas permiten guardar información en dispositivos portátiles como teléfonos móviles, cámaras digitales o tablets. Las tarjetas SD se diferencian por sus medidas, su capacidad para almacenar contenidos y la velocidad a la que transmiten y copian los datos.

El módulo viene con un regulador de voltaje, por lo tanto, el pin de 5V y 3.3V de Arduino se puede utilizar para la alimentación de voltaje. El módulo se comunica a través de SPI (Interfaz Periférica Serial) al Arduino. [11]



Fig. 11 Adaptador para memoria microSD

La Interfaz Periférica Serial (SPI) es un protocolo de datos en serie síncrono utilizado por los microcontroladores para comunicarse con uno o más dispositivos periféricos rápidamente en distancias cortas. También se puede utilizar para la comunicación entre dos microcontroladores.

Con una conexión SPI siempre hay un dispositivo maestro (generalmente un microcontrolador) que controla los dispositivos periféricos. Típicamente hay cuatro líneas comunes a todos los dispositivos:

- MISO (Master In Slave Out) - La línea Slave para enviar datos al maestro.
- MOSI (Master Out Slave In) - La línea Master para enviar datos a los periféricos.
- SCK (Reloj de serie): los pulsos de reloj que sincronizan la transmisión de datos generada por el maestro.
- SS (Selección de esclavo): el pin en cada dispositivo que el maestro puede usar para habilitar y deshabilitar dispositivos específicos.

Cuando el pin de selección de esclavo de un dispositivo es bajo, se comunica con el maestro. Cuando está alto, ignora al maestro. Esto le permite tener múltiples dispositivos SPI compartiendo las mismas líneas MISO, MOSI y CLK. [12]

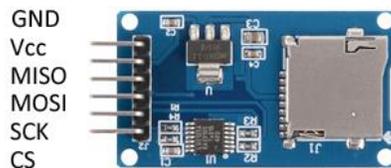


Fig. 12 Pines de adaptador microSD

### **1.4.5 Formato WAV**

Un archivo en formato WAV es un archivo de audio sin ningún tipo de compresión, el cual mantiene el 100% de la calidad del audio original. Es uno de los formatos de audio más pesados debido a su carencia de compresión, pero es idóneo para el uso profesional dada la nula pérdida de calidad en los archivos de audio que se trabajen en este formato.

Los archivos WAV aparecieron en 1991 se desarrolló en conjunto con Microsoft e IBM y desde entonces se han convertido en un formato estándar para el audio sin editar o comprimir. Este tipo de archivo es completamente compatible con Windows y Mac, y la mayoría de los reproductores de Android y iOS soportan este tipo de archivo para ser reproducido.

El archivo WAV almacena ciertos datos adicionales relacionados con la canción, como podrían ser la frecuencia de muestreo o el número de pistas de esta. Es importante tener en cuenta que este formato tiene un tamaño máximo de 4GB, por lo que archivos de audio de mayor tamaño no podrán ser exportados en este formato.[13]

# Capítulo II Diseño y construcción de prototipo

## 2.1 Propuesta del diseño del prototipo

En esta sección se describe el proceso de construcción del dispositivo. A continuación, se muestra un gráfico en donde se podrá apreciar lo que se pretende hacer con el diseño de este prototipo.

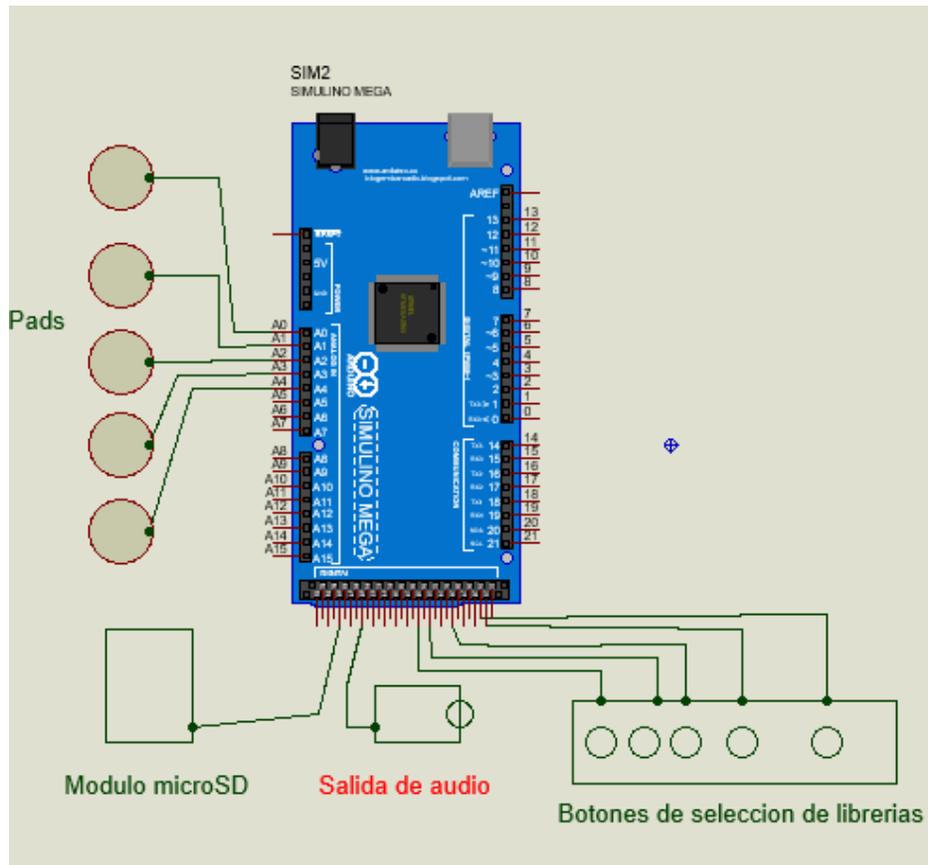


Fig. 13 Diseño de prototipo de batería electroacústica

La propuesta de diseño consta de tres etapas:

- Primera etapa:** esta se encarga de recibir la señal que viene de los transductores piezoeléctricos que están colocados en los pads, de modo que cuando el usuario, toque algún pad, ejerciendo presión sobre él, el transductor piezoeléctrico generará un voltaje que será recibido e interpretado por el microprocesador. Cada pad corresponde a un elemento de la batería, en este caso, este prototipo cuenta

con 5 pads, tarola, bombo, tom de piso y ride. Para los demás instrumentos, cada pad contara con un sonido diferente que es producido por este mismo instrumento.

- b) **Segunda etapa:** está conformada por los botones de selección de librerías de sonidos, en el que cada botón corresponde a una librería en donde están almacenados los sonidos del instrumento de percusión. Al iniciar el funcionamiento del prototipo el usuario debe seleccionar la biblioteca de sonidos de su preferencia. También está conformada por el módulo microSD en donde se inserta la tarjeta microSD que tiene en ella almacenados todos los archivos de audio de las cuales están conformadas las bibliotecas antes mencionadas. Después de seleccionar la biblioteca con los sonidos que se desean escuchar, la señal de voltaje que se produce al tocar algún pad, llega a la entrada analógica del microprocesador el cual interpreta esta señal y reproduce el archivo de audio correspondiente a la biblioteca y al pad que se tocó, es decir, al seleccionar la biblioteca de sonidos de batería y al tocar el pad que corresponde a la tarola. Lo que debe reproducir el microprocesador es el archivo de audio correspondiente a la tarola que se encuentra en la biblioteca de los archivos de audio de batería.
- c) **Tercera etapa:** aquí se encuentra un jack hembra de 3,3 mm como salida de audio, con el que el usuario puede conectar audífonos que sean compatibles con esta entrada, así como también un cable auxiliar de audio con el que podrá conectarse altavoces o dispositivos de audio externos.

## 2.2 Pads de práctica

El diseño de los pads para este proyecto está basado en los existentes pads de práctica, estos se consideran como un tipo de instrumento de percusión utilizado por bateristas y percusionistas para practicar o calentar en silencio antes de una actuación. Muchos pads utilizan una capa delgada de elastómero, como caucho de goma natural o caucho sintético equivalente que consiste en varias densidades como superficie de golpe.



*Fig. 13* Pads de practica

## 2.3 Construcción de pads del prototipo

Para la construcción de los pads de este proyecto se utilizó madera de pino de .8 centímetros de ancho. A continuación, se muestra una figura del diseño.

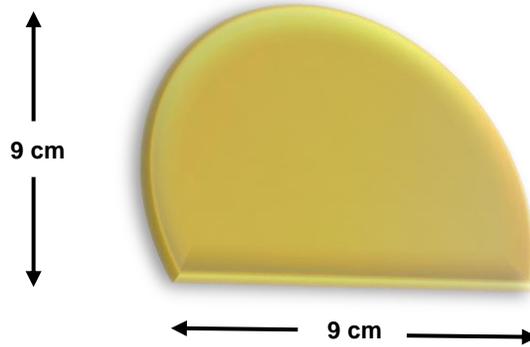


Fig. 14 Diseño de pad de prototipo

La forma del pad como se vio en la figura anterior está diseñada pensando en que estos sean de fácil traslado. Este diseño busca que el usuario pueda colocar los pads de manera que mejor le convenga, esa es la razón por la cual se consideran esas dimensiones. La forma, también está pensada para que colocación de los sensores piezoeléctricos sea de tal manera que estos puedan cubrir la mayor superficie del pad.

Los pads fueron cortados con una caladora eléctrica como se muestra en la siguiente imagen.



Fig. 15 Construcción de pads

Los materiales utilizados en la construcción de estos pads están basados en los materiales que se encuentran en los pads de practica a excepción del caucho de goma natural o sintético. Para construir el recubrimiento se utilizó vinil estampado de 3

milímetros. Este material cuenta con una superficie similar al del caucho, pero más delgado y lo suficientemente resistente para soportar el uso de estos. El material fue recortado a la medida de la madera cortada previamente.

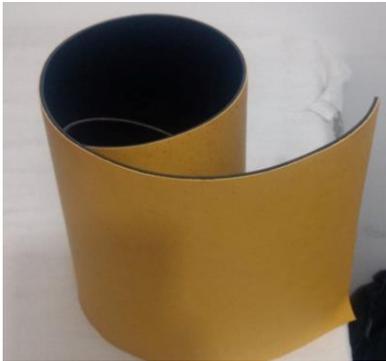


Fig. 16 Vinil estampado



Fig. 17 Corte del vinil al tamaño de los pads

Para finalizar con la construcción, fueron colocados dos piezoeléctricos en cada pad. Uno de 2 cm de diámetro que fue colocado al centro y otro de 2.7 cm de diámetro que fue colocado en la parte central superior, como se muestra en la siguiente imagen.



Fig. 18 Arreglo en paralelo de piezoeléctricos

Los transductores están conectados en paralelo entre sí y a su vez al cable que conduce la señal obtenida de estos dispositivos al microcontrolador. El cable que se utilizó fue de audífono de dos milímetros de diámetro, a este se le soldó un plug de 3,3 milímetros como se muestra en la siguiente imagen.



Fig. 19 Pad terminado

## 2.4 Circuito de entrada y de selección de bibliotecas de sonidos

En este circuito impreso se encuentran las tres etapas del diseño del prototipo, la selección de bibliotecas, la entrada de la señal proveniente de los pads y la salida de audio.

El circuito fue hecho con el software PCB wizard ya que algunos componentes tienen medidas específicas que tuvieron que ser tomadas en cuenta al momento de realizar el diseño. Este software facilitó la realización de estos dispositivos para el circuito impreso. La siguiente imagen muestra la vista 3D del circuito terminado con todas las etapas antes mencionadas.

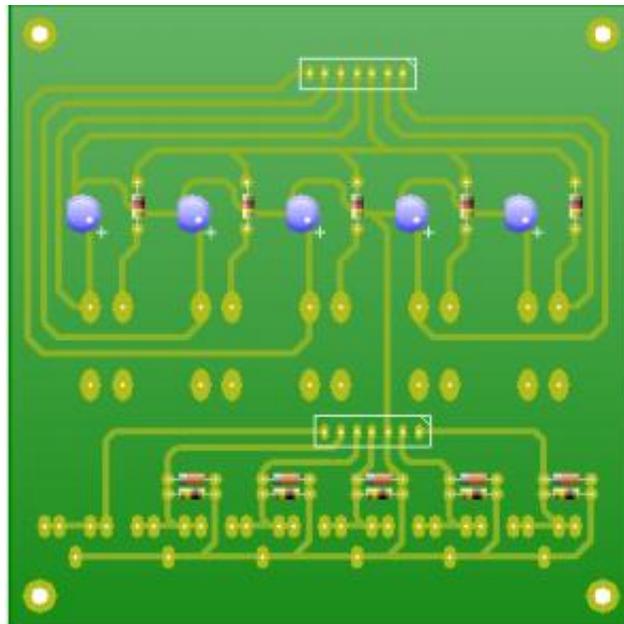


Fig. 20 Diseño de circuito impreso del prototipo

### 2.4.1 Circuito de entrada

El circuito de entrada es un circuito de protección para el microcontrolador. Cuando se presionan los transductores piezoeléctricos pueden producir voltajes muy altos, que son capaces de causar daños a la placa Arduino. Un diodo Zener se utiliza para proteger la placa de estas altas tensiones, estos se utilizan para la protección de los circuitos que no pueden recibir una variación del voltaje. El diodo Zener funciona solo cuando su tensión de ruptura supera 5.1 V. Las tensiones de más de 5.1 V harán que el Zener establezca a 5.1 V, protegiendo de este modo la entrada del Arduino de tensiones más altas.

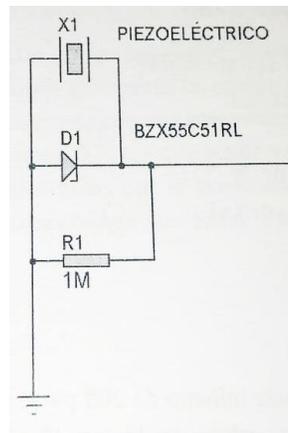


Fig. 21 Circuito eléctrico de entrada

En la figura anterior se muestra el circuito donde se percibe un arreglo en paralelo de un diodo Zener de 5.1 V , una resistencia de 1 mega ohm y los transductores piezoeléctricos. Estos a su vez estarán conectados a las entradas analógicas del microprocesador.

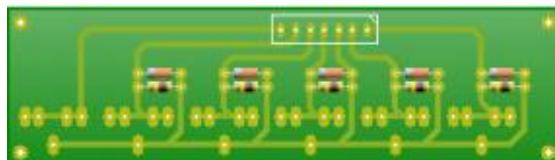


Fig. 22 Diseño del circuito de entrada

La placa Arduino mega dispone de 16 entradas analógicas (en forma de pines hembra etiquetados como A0, A1... hasta A15) que puede recibir voltajes dentro de un rango de valores continuos de entre 0 y 5 V. La electrónica de la placa tan solo puede trabajar con valores digitales, por lo que es necesaria una conversión previa del valor analógico recibido a un valor digital lo mas aproximado posible. Esta se realiza mediante un circuito conversor analógico/digital incorporado a la propia placa.

El circuito conversor es de 16 canales (uno por cada entrada) y cada canal dispone de 10 bits (los llamados bits de resolución) para guardar el valor del voltaje convertido digitalmente.

La placa Arduino puede distinguir para el voltaje digital desde el valor 0 hasta el valor 1023 ya que si contamos el número de combinaciones de 0s y 1s que se pueden obtener de 10 posiciones (correspondientes a los 10 bits de resolución), vemos que hay un máximo de  $2^{10}$  (1024) valores diferentes posibles.

## 2.4.2 Circuito de selección de librerías

El circuito presentado a continuación es el encargado de seleccionar las librerías de sonidos con el que cuenta este prototipo.

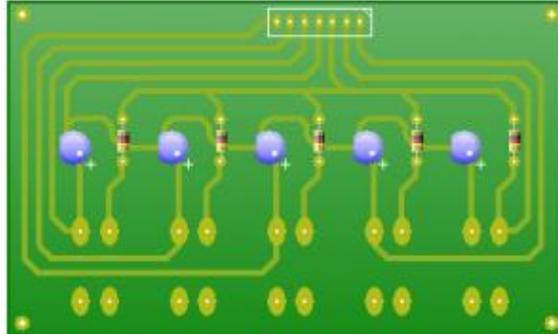


Fig. 23 Diseño de circuito de selección de librerías

Para que el circuito lleve a cabo la función de seleccionar alguna de las bibliotecas de sonidos existentes es necesario dar uso de las entradas digitales del microprocesador y algunos elementos más que se consideran más adelante.

La placa de Arduino mega dispone de 54 pines hembra de entradas o salidas (según lo que convenga) digitales, numeradas desde el 0 al 53. A veces estos pines hembra digitales se les llama de propósito general GPIO (de "General Purpose Input/Output). Todos estos pines hembra funcionan a 5 V.

Otro de los elementos que forman parte de este circuito son los pulsadores. Estos dispositivos también conocidos como push buttons son un tipo de entrada digital, su función es cambiar de estado (abierto/cerrado) cuando es presionado. Con este cambio de estado podemos hacer que en la entrada del microcontrolador o Arduino tengamos 0V o 5V, pero para eso es necesario agregar además una resistencia en configuración pull-up o pull-down.

Para este proyecto se utiliza una resistencia en configuración pull-up. Como su nombre indica esta resistencia tiene la función de "jalar" hacia "arriba", lo que significa que polariza el voltaje hacia el voltaje de fuente (VDD) que puede ser +5V o +3.3V.[14]

De esta forma cuando el pulsador está abierto o en reposo, el voltaje en la entrada del Arduino siempre será de +5V. Las entradas del Arduino son de alta impedancia lo que significa que la corriente que circulará por esa línea sea mínima en el orden de los microamperios, por lo que el voltaje que "cae" en la resistencia pull-up es mínimo y se tiene casi el mismo voltaje de fuente en la entrada del Arduino.

Cuando el pulsador es presionado, la corriente circula por la resistencia y luego por el pulsador, de esta forma el voltaje en la entrada del Arduino es Tierra o 0V.

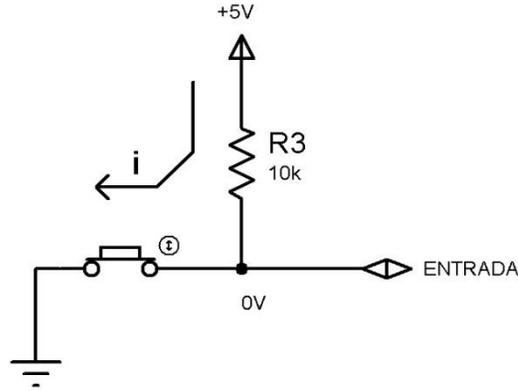


Fig. 24 Arreglo Pull-down

Entonces en la configuración pull-up cuando el pulsador está en reposo el Arduino lee 1 y cuando se presiona leerá 0.

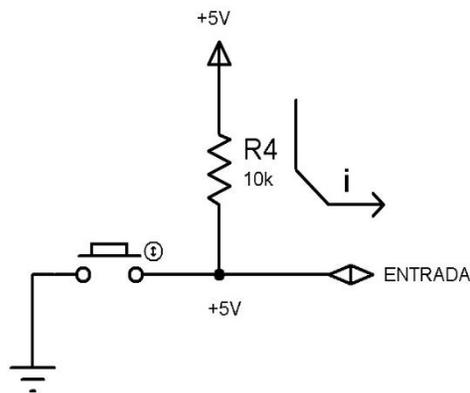


Fig. 25 Arreglo Pull-up

Este circuito cuenta con 5 pulsadores con una resistencia en configuración pull-up que a su vez se conectan a una entrada digital del microprocesador. Cada botón corresponde a una biblioteca de sonidos, cuando el pulsador sea oprimido por el usuario en la entrada digital en la cual esté conectado, recibirá un 0 y de esta forma será seleccionada la biblioteca correspondiente al pulsador oprimido.

## 2.5 Desarrollo del programa

El código que se encargara de interpretar la señal que viene de los pads para luego reproducir el archivo de audio correspondiente fue desarrollado en el IDE de Arduino.

El IDE de Arduino es un entorno de programación que ha sido considerado como un programa de aplicación; es decir, que consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI). Además, en el caso de Arduino incorpora las herramientas para cargar el programa ya compilado en la memoria flash del hardware.

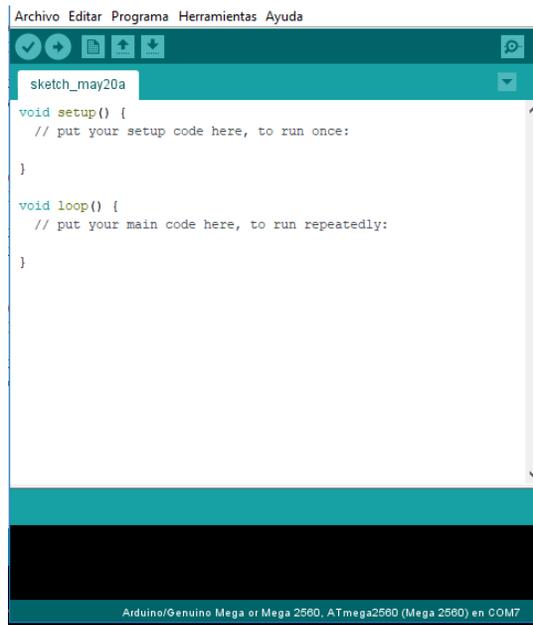


Fig. 26 IDE de Arduino

Los programas de Arduino están compuestos por un solo fichero con extensión “ino”, aunque es posible organizarlo en varios archivos. El código principal siempre debe estar en una carpeta con el mismo nombre que el fichero.[15]

### 2.5.1 Serial monitor

El monitor de puerto serie es una pequeña utilidad integrada dentro del IDE Standard que nos permite enviar y recibir fácilmente información a través del puerto serie. Su uso es muy sencillo, y dispone de dos zonas, una que muestra los datos recibidos, y otra para enviarlos. Estas zonas se muestran en la siguiente imagen.



Fig. 27 Monitor serial de IDE de Arduino

Pese a su sencillez este monitor de puerto serie es suficiente para los ejemplos de esta entrada, y resulta muy útil para realizar test o experimentos rápidos.[16]

### 2.5.2 Biblioteca SD (Secure Digital)

La biblioteca SD permite leer y escribir en tarjetas SD, admite sistemas de archivos FAT16 y FAT32 en tarjetas SD estándar y tarjetas SDHC. La comunicación entre el microcontrolador y la tarjeta SD utiliza SPI, que se realiza en los pines digitales 11, 12 y 13 (en la mayoría de las tarjetas Arduino) o 50, 51 y 52 (Arduino Mega).[17]

### 2.5.3 Biblioteca TMRpcm

Esta librería fue pensada para ser un simple y amigable reproductor de audio WAV usando librerías estándar de Arduino, añadiendo archivos WAV de formato estándar. Muchas de las características adicionales se han agregado debido a la solicitud del usuario, y se habilitan opcionalmente en pcmConfig.h para preservar la simplicidad.[18]

#### Requerimientos

- Reproducción PCM/WAV directa desde la tarjeta SD
- Formatos principales: archivos WAV, 8 bits,
- 8-32kHz frecuencia de muestreo, mono.
- Dispositivos soportados: Arduino uno, nano, mega, etc.

## 2.5.4 Bloque de selección de bibliotecas

En la siguiente sección se explica el funcionamiento de la sección del programa encargado de seleccionar las bibliotecas de sonidos.

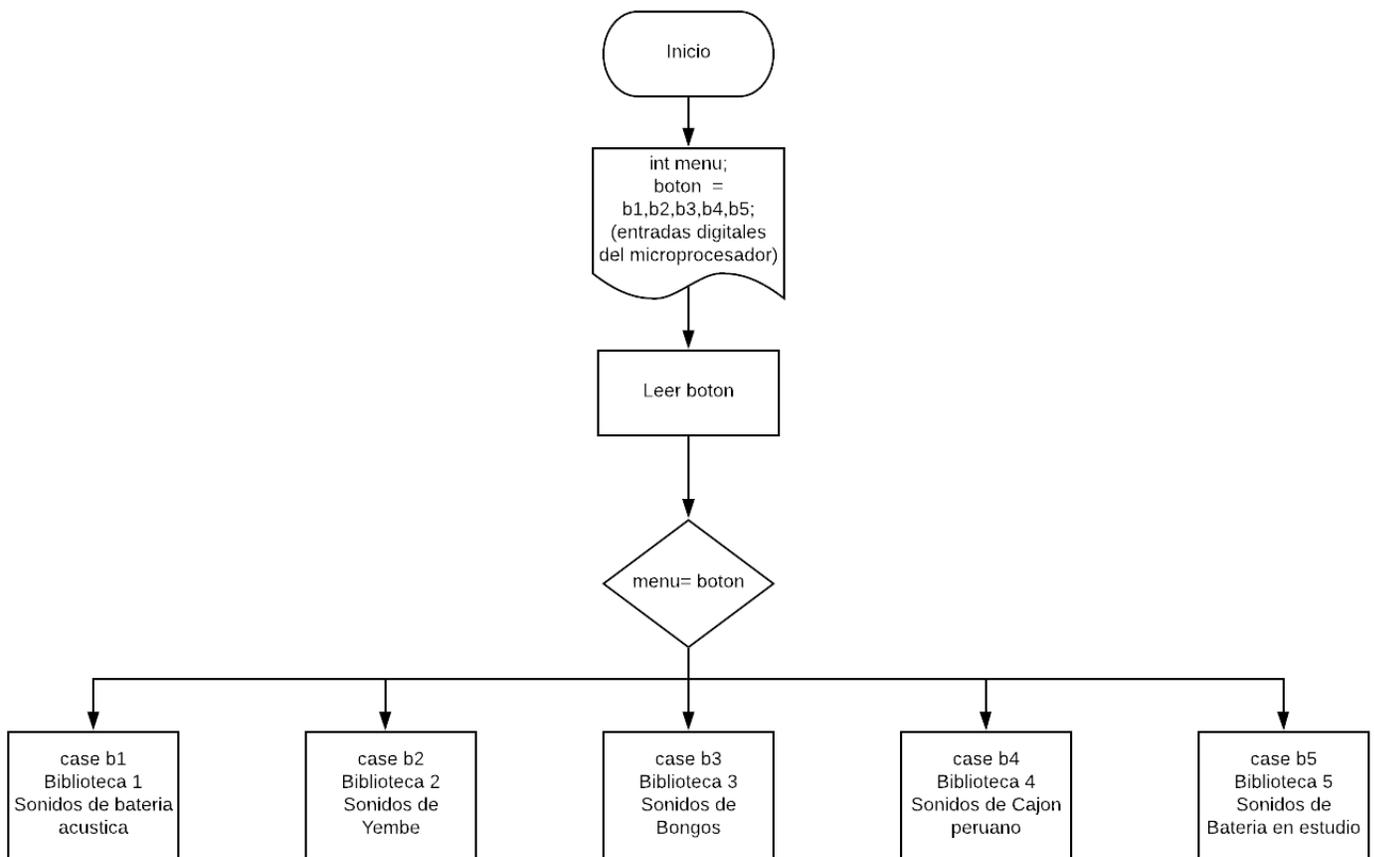


Fig. 27 Diagrama de flujo selección de bibliotecas de sonidos

Aquí, el programa se encarga de interpretar los valores de 0 o 1 que vienen del circuito de selección de bibliotecas. Las entradas digitales que se considera para este programa son 31, 33, 35, 37, 39.

```
//Variables de botones
int b1=31;
int b2=33;
int b3=35;
int b4=37;
int b5=39;
```

Fig. 28 Variables de botones

Las entradas antes mencionadas se asignan a una variable de tipo entero como se muestra en la imagen anterior de igual forma las variables a las cuales fueron asignadas las entradas a utilizar en este proyecto, se definen como entradas.

Para definir como entrada o salida los pines antes seleccionados, se utiliza la función pinMode.[19]

La sintaxis para utilizar es la siguiente:

- pinMode (pin, modo)

Donde :

- pin: el número del pin cuyo modo desea configurar
- modo: ENTRADA , SALIDA (INPUT/OUTPUT).

```
pinMode (b1, INPUT);  
pinMode (b2, INPUT);  
pinMode (b3, INPUT);  
pinMode (b4, INPUT);  
pinMode (b5, INPUT);
```

Fig. 29 Variables digitales de entrada

Una vez configuradas las entradas, son estas las que estarán recibiendo un estado alto o bajo (1 o 0) cuando el pulsador que corresponda a cada variable se oprima.

Para leer el estado de las entradas digitales se utiliza la función digitalRead. [20]

Esta tiene la siguiente sintaxis:

- digitalRead(pin)

Donde:

- pin es el numero de la entrada digital que se desea leer

En esta parte del programa el valor que se obtiene de leer las entradas digitales con la funcion antes mencionada se almacena en otra variable como se muestra en la siguiente imagen;

```
bot1=digitalRead(b1);  
bot2=digitalRead(b2);  
bot3=digitalRead(b3);  
bot4=digitalRead(b4);  
bot5=digitalRead(b5);
```

Fig. 30 Leyendo entradas digitales

Para que pueda llevarse a cabo la selección de las bibliotecas una vez que se oprima el botón correspondiente a esta, se tiene que hacer un registro del cambio del estado de 1 a 0 en la entrada digital. Para esto se condicionará a cada variable de entrada.

Como se vio anteriormente la configuración de la resistencia pull-up estará siempre entregando un estado alto o 1, al momento de que se oprima algún botón, esta entrega un estado bajo o 0. La condición consiste en registrar los estados bajos de las variables digitales entrada una vez que algún pulsador sea oprimido y asignar un número a cada botón como identificador. Este número será almacenado en una variable de tipo entero llamada menú, esta variable será la encargada de elegir la biblioteca de sonidos que se está seleccionando.

```
if (bot1== LOW)menu=1;  
if (bot2== LOW)menu=2;  
if (bot3== LOW)menu=3;  
if (bot4== LOW)menu=4;  
if (bot5== LOW)menu=5;
```

Fig. 31 Condición para selección de biblioteca

La variable menú forma parte de la estructura switch case, así como la función de condición if, controla el flujo de los programas permitiendo a los programadores especificar diferente código que debería ser ejecutado en varias condiciones. En particular la función switch compara el valor de una variable, en este caso menú, con el valor específico de los diferentes casos de código existentes. Cuando un caso es encontrado cuyo valor corresponde con el de la variable, se corre el código de este caso. [21]

La sintaxis de esta función es la siguiente:

```
switch (var) {  
  case label1:  
    // statements  
    break;  
  case label2:  
    // statements  
    break;  
  default:  
    // statements  
    break;  
}
```

*Fig. 32* Sintaxis de switch case.

En este programa la variable menú tiene 5 valores posibles que corresponden a las 5 bibliotecas que cuenta el prototipo. Cuando un botón se oprime, se elige la biblioteca deseada.

### 2.5.5 Bloque de entrada, lectura de sensores piezoeléctricos

A continuación, se explica la sección del programa que se encarga de leer las entradas analógicas del dispositivo.

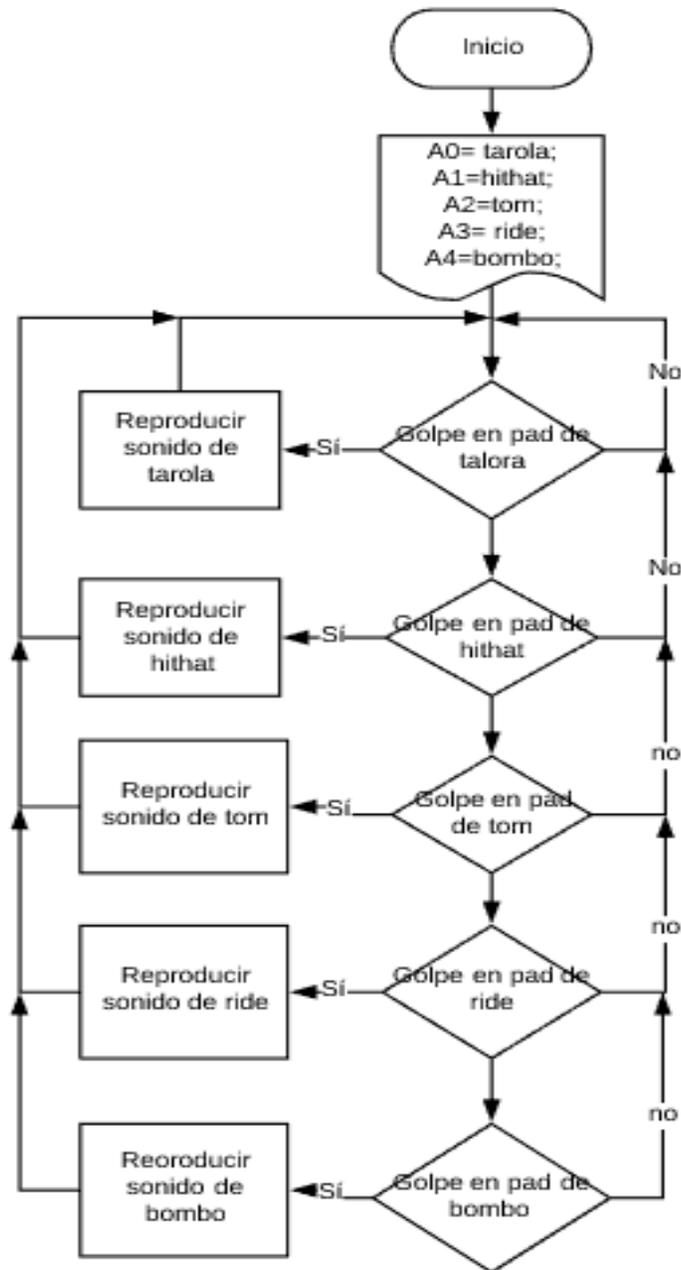


Fig. 33 Diagrama de flujo bloque de entrada.

En este bloque del programa, las entradas analógicas A0 a A4 son asignadas a una variable de tipo entero con el nombre de cada elemento de una batería acústica.

```
//Variables de pads
int tarola= A0;
int hihat=A2;
int toml=A4;
int tom2=A6;
int bombo=A8;
```

Fig. 34 Variables de Pads.

Para obtener el valor de las entradas analógicas se utiliza la función `analogRead` que cuenta con la sintaxis que a continuación se muestra:

- `analogRead(pin)`

Donde

- `pin`: el nombre del pin de entrada analógica para leer (A0 a A5 en la mayoría de las tarjetas, A0 a A6 en las tarjetas MKR, A0 a A7 en la Mini y Nano, A0 a A15 en la Mega).[22]

El valor obtenido por esta función se asigna a una variable que después será comparada con un número de referencia que será la condición para que después se reproduzca el sonido correspondiente a cada pad.

```
v0 = analogRead(tarola);
if(v0>referencia)
```

Fig. 35 Leyendo entradas analógicas.

Cuando un pad es presionado la entrada analógica a la que está conectado recibe el voltaje que se genera por el transductor piezoeléctrico, este voltaje es comparado con un valor de referencia, si el voltaje obtenido es mayor al número de referencia entonces, se manda a llamar a la función que reproduce el archivo WAV correspondiente al pad que se tocó.

La función encargada de reproducir los archivos almacenados en la memoria microSD forma parte de la librería `TMRpcm` antes mencionada. Se trata de la función `audio.play`, esta reproduce el archivo de audio con formato WAV almacenado en la carpeta raíz de la memoria microSD, esta función cuenta con la siguiente sintaxis:

- `audio.play("filename.WAV");`

Todos los archivos a reproducir por esta función tienen que estar en la carpeta raíz de la memoria microSD.

Una vez que se toque un pad, esta función reproduce el archivo de audio al que corresponda el pad que se esté tocando.

```

    v1 = analogRead(hithat);
    if(v1>referencia)
    {
        Serial.println("HITHAT 1");
        tmrpcm.play("hithatk.wav"); delay(100);
    }

```

Fig. 35 Función tmrpcm.play.

## 2.6 Grabaciones

Los sonidos de los diferentes instrumentos de percusión que contienen las bibliotecas son grabaciones de estos . Cada instrumento se grabo por separado para obtener un mejor sonido de estos.

### 2.6.1 Equipo utilizado para las grabaciones

Para la realización de dichas grabaciones se utilizo el equipo que a continuación se menciona:

#### a) Interfaz de audio Behringer U-Phoria UMC 404 HD

La Behringer U-Phoria UMC404HD USB interfaz de Audio es un estudio en un cuadro diseñado para grabaciones de nivel profesionales con conexión a micrófono, guitarra, bajo y teclado. La interfaz de 4 x 4 cuenta con resolución de 24-bit / 192kHz de calidad de audiófono para un sonido realmente profesional mientras 4 preamplificadores de micrófono de estudio grado Midas garantizar premium grabaciones vocales e incluso incluye alimentación phantom + 48V. El UMC404HD es compatible con una amplia gama de software de grabación popular y ofrece cero latencias de monitoreo. Cada una de estas características están protegidas con seguridad con el chasis metálico resistente a los choques.[23]



Fig. 36 Interfaz Behringer UMC 404.

#### b) Micrófono de condensador Behringer C – 3

Micrófono de condensador de doble diafragma, ideal para grabación en estudio y aplicaciones en vivo, patrón de captación seleccionable entre cardioide, omnidireccional o figura 8, transductor de gradiente de presión con cápsula de diafragma de doble amortiguación, perfecto para instrumentos acústicos, overheads y pianos, respuesta de frecuencia excepcionalmente plana y resolución de sonido ultra alta, entrada fet de bajo ruido sin transformador que elimina la distorsión de baja frecuencia, construcción de metal

die-cast ultra resistente, conector XLR de 3 pines chapado en oro para una mayor integridad de la señal, incluye soporte giratorio y estuche de transporte, dimensiones: 54 x 180 mm, peso: 420 g.[24]



Fig. 37 Microfono de condensador Behringer c-3.

#### c) Computadora portátil

Laptop HP ProBook 4440s: Procesador Intel Core i5-3210M (2.5 GHz) 3ra Generación, Memoria de 4GB DDR3, Disco Duro de 750 GB, Pantalla LED HD de 14", Video Intel HD Graphics 4000, DVD±R/RW DL, Red 802.11b/g/n, Windows 8 Pro.[25]



Fig. 39 PC Portátil HP 4440s.

#### d) Cable XLR a XLR

Los cables conectores XLR son el estándar para el audio profesional. Empleado para la conexión de micrófonos de baja impedancia, instrumentos musicales, mezcladores de sonido, interfaces de grabación de gama alta, amplificadores y equipos de video profesional, estos cables son compatibles universalmente. [26]



Fig. 40 Cable XLR a XLR.

#### e) Software Ableton Live

Es una estación de trabajo de audio digital (DAW) optimizada para la producción de música electrónica. Ableton te permite no sólo secuenciar pistas de una manera lineal tradicional sino también lanzar clips con muestras, instrumentos y efectos al vuelo. Novation ha creado la línea de controladores Launch para que sean los mejores controladores de Ableton para música electrónica, sacando toda la ventaja del lanzamiento de clips, control de instrumentos y efectos de Ableton y creación de mapas MIDI avanzados en Ableton de una manera fácil.[27]



Fig. 41 Logo Ableton live.

#### f) Atril para micrófono

- Stand de piso con brazo(boom) telescópico
- Facilidad para ajustar ángulo y altura.
- Ligero y fácil de transportar
- Compatible con cualquier tipo de micrófono
- Uniones de resistente Plástico.[28]



Fig. 42 Atril para micrófono.

A continuación, se presenta el diagrama que muestra la colocación del equipo antes mencionados para realizar las grabaciones.



Fig. 43 Diagrama de conexión de equipo para grabación.

Las grabaciones de la batería acústica se realizaron en un cuarto de las siguientes dimensiones

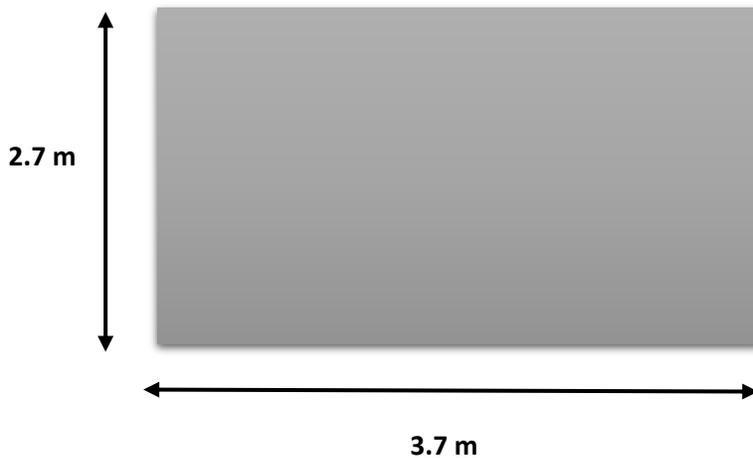


Fig. 44 Dimensiones del cuarto de grabación de batería

El recinto en el que se realizaron las grabaciones de la batería es utilizado como almacén, por lo que contiene diferentes muebles y no cuenta con tratamiento acústico.

Para grabar la batería, se realiza de manera individual, elemento por elemento. En el siguiente diagrama se muestra la ubicación de la batería y las herramientas utilizados para la grabación.

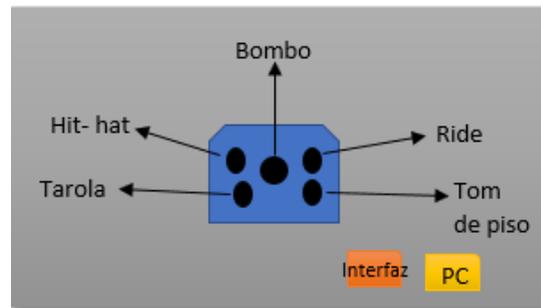


Fig. 45 Ubicación de batería y equipo de grabación

El micrófono de condensador se estuvo colocando frente a cada elemento de la batería de modo que cada sonido correspondiente a cada parte de esta fuera captado correctamente. El micrófono cuenta con tres patrones de captación del sonido, cardioide, bidireccional y omnidireccional. En la siguiente imagen se muestra de manera grafica los patrones antes mencionados.[29]

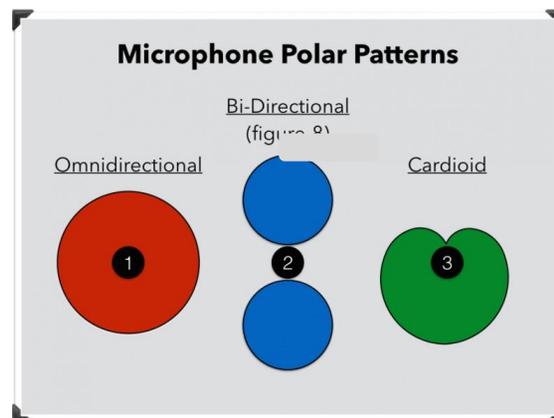


Fig. 46 Patrones de captación.

- La figura número 1 tiene patrón omnidireccional – lo que significa que toda el área roja es igual de sensible al sonido.
- La figura número 2 tiene patrón bidireccional – lo que significa que las áreas delantera y trasera en azul son sensibles al sonido, mientras que los laterales son ignorados por el micro.
- La figura número 3 tiene patrón cardioide – lo que significa que el área verde de delante del micro es lo más sensible, mientras que los laterales lo son menos y la parte trasera es ignorada.

Para la grabación de los diferentes elementos se utilizó el patrón cardioide. La ventaja de utilizar este modo se debe a que este graba hacia donde se dirige e ignora todo lo demás. Por eso es la opción que se recomienda para los siguientes casos:

- Para microfonear una batería – con tantos instrumentos tan cerca los unos de los otros, puede que parezca imposible conseguir aislamiento, pero puede hacerse si se utilizan los micrófonos cardioides adecuados colocados en el sitio correcto.
- Para actuaciones en directo – sobre el escenario, cuando los sonidos provienen de todas las direcciones, los micros cardioides son geniales para mantener el aislamiento y evitar acoplamiento.
- Para habitaciones sin tratamiento acústico – en habitaciones con mala acústica, microfonear de cerca con un micro cardioide puede ayudar minimizando las reflexiones del sonido.

En el siguiente diagrama muestra la colocación del micrófono para grabar la tarola, este se encuentra ligeramente inclinado de forma que el diafragma del micrófono apunte a la superficie del parche de la tarola a 30 cm de ella.

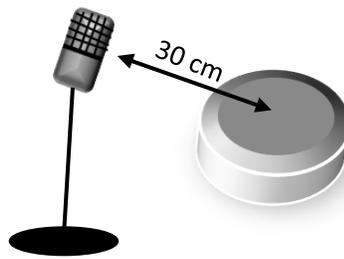


Fig. 47 Posición de micrófono para grabar tarola

De forma similar se realiza la grabación de los hits hats, el tom de piso y ride, el micrófono de condensador se coloca a 30 cm del parche o platillo de forma tal que el diafragma, esté direccionado al origen del sonido de cada elemento de la batería.

En el caso del bombo, el micrófono se coloca de forma diferente debido a la posición de este elemento, pero, de manera similar a los casos anteriores, el micrófono se coloca apuntando a la superficie del parche del bombo.

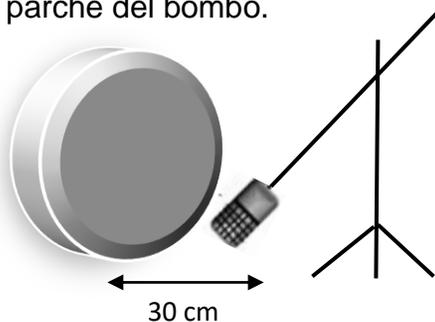


Fig. 47 Posición de micrófono para grabar bombo.

Los demás instrumentos se grabaron en una tienda musical la cual no contaba con tratamiento acústico. Las grabaciones se hicieron con los mismos principios que anteriormente se han mencionado y con el mismo equipo.

En las imágenes siguientes se muestra la forma en cómo se llevaron a cabo las grabaciones.

a. Bombo

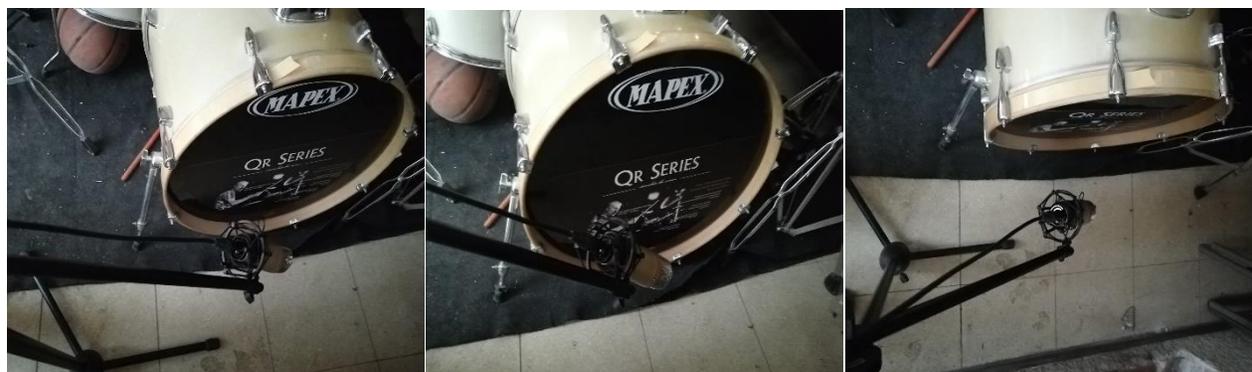


Fig. 48 Grabación de bombo.

b. Tarola



Fig. 49 Grabación de tarola.

c. Hit-hat



*Fig. 50* Posición de micrófono para grabar Hit-hat.

d. Tom



*Fig. 51* Posición de micrófono para grabar tom.

e. Ride



*Fig. 52* Posición de micrófono para grabar ride.

f. Bongos



*Fig. 53* Grabación de bongos.

g. Yembe



*Fig. 53* Grabación de Yembe.

## h. Cajón Peruano



*Fig. 54* Grabación de cajón peruano.



*Fig. 55* Monitoreando grabaciones.

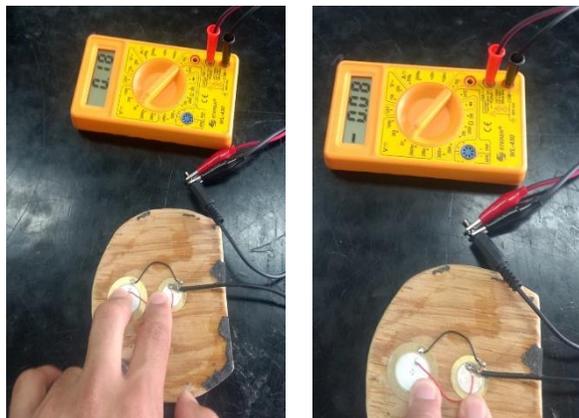
## Capitulo III Resultados y costos

### 3.1 Medición del voltaje recibido de los pads

Se realizaron diferentes mediciones a los pads para conocer el voltaje que estará recibiendo el microprocesador. A continuación, se muestran imágenes de las diferentes mediciones que se realizaron:

#### 1. Mediciones con multímetro

Las siguientes mediciones se llevaron a cabo con un multímetro Steren. Primeramente, se realizaron 5 sin el vinil que recubre los piezoeléctricos presionándolos a diferentes intensidades para obtener el rango de voltaje generado por los piezoeléctricos.



*Fig. 56* Medición con multímetro.

Como puede visualizarse en las imágenes anteriores el rango de voltaje que se obtuvo en las pruebas anteriores se obtuvo de .08 V a .18 V

Las siguientes pruebas a realizar se llevaron a cabo con los piezoeléctricos recubiertos con el vinil estampado. Se realizaron 5 mediciones aplicando presión a diferentes intensidades para obtener el rango de voltaje generado por los piezoeléctricos.



Fig. 57 Medición con multímetro y vinil estampado.

Como se visualiza anteriormente, el rango obtenido es de 0.04 a .19 V.

Estos valores de voltaje no son perjudiciales para el microprocesador ya que están en el rango de entrada permitido. Este voltaje es lo suficiente para ser interpretado por el Arduino mega como una señal de control para que se reproduzcan los sonidos como se explica anteriormente.

## 2. Mediciones con el osciloscopio

Las siguientes pruebas se realizaron para visualizar la señal de onda que genera los sensores piezoeléctricos. Las siguientes mediciones se realizaron con un osciloscopio Tektronix 1002. El pad no contaba con el vinil empalmado para estas pruebas. La presión fue aplicada a los traductores piezoeléctricos directamente

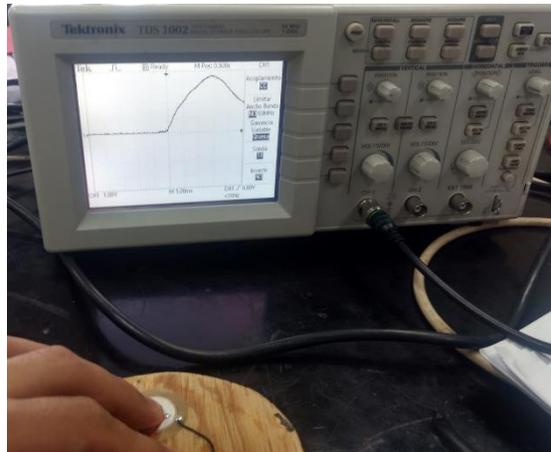


Fig. 58 Medición con osciloscopio 4.8 V.

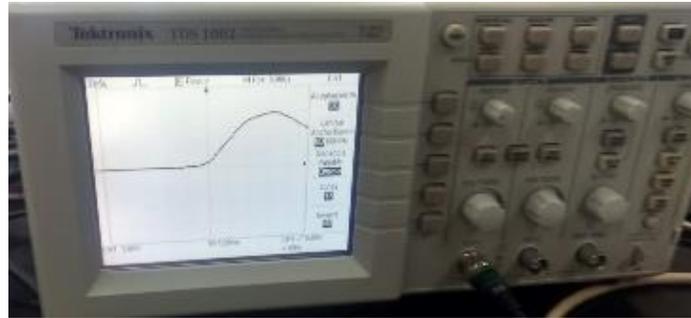


Fig. 59 Medición con osciloscopio 3V.

El resultado como se observa en las imágenes previas fue un pulso de 4.8 y 3 V en la escala de 1 V del osciloscopio.

### 3.2 Pruebas con la selección de librerías de sonidos

La finalidad de la siguiente prueba es revisar que el circuito de selección de librerías funcione correctamente. El programa siguiente recibe los estados que vienen del circuito de selección, si estos cambian de estado inicial, en la ventana de comunicación serial se visualiza el botón que fue oprimido.

```
Archivo  Editar  Programa  Herramientas  Ayuda
[Icons]
botones

Serial.begin(9600);

pinMode(b1, INPUT);
pinMode(b2, INPUT);
pinMode(b3, INPUT);
pinMode(b4, INPUT);
pinMode(b5, INPUT);

}

void loop() {
  bot1=digitalRead(b1);
  bot2=digitalRead(b2);
  bot3=digitalRead(b3);
  bot4=digitalRead(b4);
  bot5=digitalRead(b5);

  if(bot1==LOW){Serial.println("bot 1");}delay(100);
  if(bot2==LOW){Serial.println("bot 2");}delay(100);
  if(bot3==HIGH){Serial.println("bot 3");}delay(100);
  if(bot4==HIGH){Serial.println("bot 4");}delay(100);
  if(bot5==LOW){Serial.println("bot 5");}delay(100);
}
```

Fig. 60 Código prueba de botones.

```
bot 1
bot 2
bot 3
bot 3
bot 4
bot 4
bot 4
bot 4
bot 5
bot 5
```

Fig. 61 Resultado de código de prueba de botones en serial monitor.

En la imagen anterior se ve la pantalla de serial monitor del IDE de Arduino en donde al presionar algún botón, se visualiza en la pantalla cual es este.

### 3.3 Guía rápida de usuario

En esta sección se proporcionan los pasos a seguir para usar correctamente el prototipo.

#### 1. Encender el prototipo

Para encender el prototipo solo se debe conectar el cable USB-serial que viene de la batería. Una vez conectado, el prototipo estará encendido.



Fig. 62 Encender prototipo.

La duración de la batería es aproximada de 6 horas de uso continuo con la carga llena.

#### 2. Conectar un dispositivo de salida de audio

El prototipo cuenta con una salida de audio de entrada de 3.3 mm para cable auxiliar o audífonos. Solo tiene que conectarse a esta salida para escuchar los sonidos de las bibliotecas disponibles.

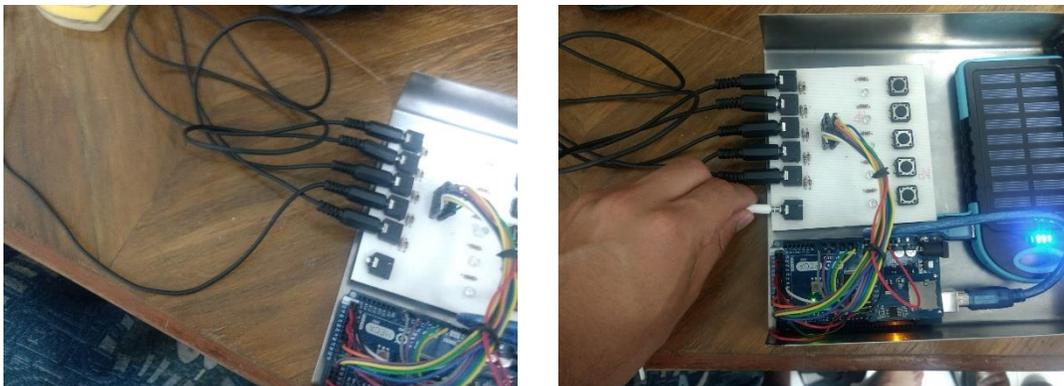
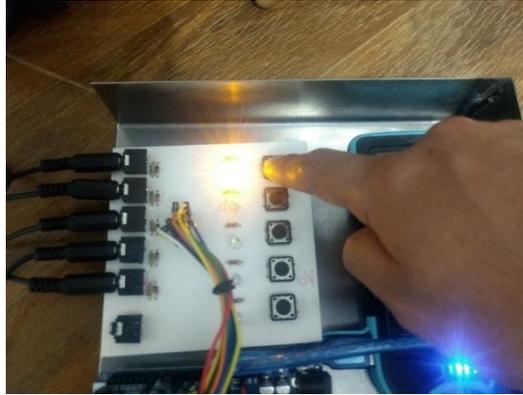


Fig. 63 Conectando audífonos.

### 3. Seleccionar biblioteca deseada

Antes de comenzar a tocar los pads, es necesario escoger primeramente la librería de sonidos deseada, esto se hace oprimiendo el botón de la librería deseada.



*Fig. 64* Seleccionando bibliotecas.

### 4. Tocar los pads

Por último, los pads deben estar conectados a las entradas correspondientes antes de empezar a tocar. Una vez conectados el dispositivo está listo para usarse.

### 3.4 Costos

<b>Equipo de grabación</b>			
Piezas	Nombre	Descripción	Costo
1	Interfaz audio	Behringer U-Phoria UMC404HD USB, 4 x 4 resolución de 24-bit / 192kHz, 4 preamplificadores, alimentación phantom + 48V.	\$3366
1	Micrófono de condensador	Behringer C – 3, Patrón de captación seleccionable entre cardioide, omnidireccional o figura 8, conector XLR de 3 pines chapado en oro.	\$1947
1	PC portátil	Laptop HP ProBook 4440s: Procesador Intel Core i5-3210M (2.5 GHz)	\$4200
1	Atril de micrófono	HARDEN. Uniones de resistente Plástico. Compatible con cualquier tipo de micrófono	\$ 195
1	Cable XLR a XLR	Cable 10 m prosound con conectores XLR Neutrik	\$200
1	Ableton Live	Ableton Live 9	\$200
<b>Total</b>			<b>\$10108</b>

<b>Mano de obra</b>		
Actividad	Horas	Precio
Grabación	2	\$ 1000
Investigación	70	\$ 4375
Construcción del prototipo	10	\$ 625
Pruebas	8	\$ 500
<b>Total</b>		<b>\$ 6500</b>

<b>Material de construcción</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
10	Resistencias 1 M	\$2
10	Piezoeléctricos	\$120
1	Arduino Mega	\$350
1	Adaptador de memoria microSD para Arduino	\$60
20	Jumpers macho macho	\$20
20	Jumpers macho hembra	\$20
1	Carcasa de acero inoxidable	\$50
1	Placa para circuito impreso 10*10	\$12
5	Diodos Zener 5.1 V	\$15
5	LEDS	\$10
1	Cautín económico	\$80
5	Pulsadores	\$10
5	Entradas de audio 3.3 mm	\$25
<b>Total</b>		<b>\$774</b>

## Conclusiones

Con los resultados obtenidos de las diferentes pruebas realizadas con el prototipo, se observó que este cumple las características de ser un dispositivo diseñado a bajo costo ya que el material de construcción y el equipo de grabación utilizado fue económico.

De esta forma este prototipo es un dispositivo que una persona podría utilizar para práctica, pero no para aplicaciones en vivo ya que el microprocesador debido a sus características no es capaz de procesar archivos de audio de manera polifónica, esto significa que solo puede reproducir un sonido a la vez, lo que limita el uso de este prototipo aplicaciones personales como practica o entretenimiento.

Una de las posibles soluciones a esto es, utilizar un microprocesador de la familia de Arduino con una capacidad mayor de reproducción de audio de manera que pueda reproducir sonidos polifónicos y esto permita que los usuarios puedan utilizar este prototipo en aplicaciones en vivo.

Otra de las limitaciones que se encontró al realizar el prototipo fueron los sensores piezoeléctricos, estos al ser muy pequeños no cubren por completo la superficie del pad y de esta forma limita la superficie de golpe, esto significa que solo se reproducirá el archivo de audio si se golpea en el área especificada.

Una posible recomendación a esta limitación es diseñar un arreglo de piezoeléctricos que puedan cubrir la superficie completa del pad o utilizar algún sensor diferente.

## Referencias

- [1] Xuntagal. (2019). Xuntagal. Obtenido 29 May, 2019, de [http://www.edu.xunta.gal/centros/ceipunionmugardesa/system/files/LOS INSTRUMENTOS DE PERCUSIÓN.pdf](http://www.edu.xunta.gal/centros/ceipunionmugardesa/system/files/LOS_INSTRUMENTOS_DE_PERCUSIÓN.pdf)
- [2] Ecuredcu. (2019). Ecuredcu. Obtenido 29 May, 2019, de [https://www.ecured.cu/Bateria\\_\(instrumento\\_musical\)](https://www.ecured.cu/Bateria_(instrumento_musical))
- [3] Dearteyculturacom. (2019). Dearteyculturacom. Obtenido 29 May, 2019, de <http://www.dearteycultura.com/el-cajon-peruano/>
- [4] Melomanoscom. (2019). MelÃ³manos. Obtenido 29 May, 2019, de <http://www.melomanos.com/la-musica/instrumentos-musicales/bongos/>
- [5] Kaypachacomar. (2019). Kaypachacomar. Obtenido 29 May, 2019, de <http://www.kaypacha.com.ar/instrumentos/djembe.htm>
- [6] Alfaro, M. (2014). *Daniel Martin* . Obtenido de <http://danielmartin-mallets.com/blog-percusion/es/origen-y-evolucion-de-la-bateria-conjunto-de-instrumentos-de-percusion/>
- [7] Mugartegi, A. (22 de Diciembre de 2012). *INSTRUMUNDO Instrumentos musicales* . Obtenido de <http://instrumundo.blogspot.com/2012/12/bateria-electronica-electronic-drum-v.html>
- [8] Frank, M. (3 de Julio de 2018). *Ingenieria mecafenix*. Obtenido de <http://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/sensor-piezoelectrico/>
- [9] Rodriguez, Z. (2014 de Marzo de 2014). *Aprende a tocar bateria* . Obtenido de <http://zebendrums.blogspot.com/2014/03/como-elegir-nuestro-pad-de-practicas.html>
- [10] Arduinocl. (2019). Arduinocl - Plataforma Open Source para el desarrollo de prototipos electr3nicos. Obtenido 29 May, 2019, de <http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>
- [11] Torrente, O. (2013). *ARDUINO curso practico de formacion*. Ciudad de Mexico : Alfaomega.
- [12] Arduinocc. (2019). Arduinocc. Obtenido 29 May, 2019, de <https://www.arduino.cc/en/Reference/SPI>
- [13] Uncomocorreocom. (2018). Respuestas a dudas de correo electr3nico y m3s | unComoCorreo. Obtenido 29 May, 2019, de <https://uncomocorreo.com/que-es-un-archivo-en-formato-wav-y-para-que-sirve/>
- [14] Naylampmechatronicscom. (2019). Naylampmechatronicscom. Obtenido 29 May, 2019, de [https://naylampmechatronics.com/blog/39\\_Resistencias-Pull-Up-y-Pull-Down.html](https://naylampmechatronics.com/blog/39_Resistencias-Pull-Up-y-Pull-Down.html)
- [15] Wordpresscom. (2016). Aprendiendo Arduino. Obtenido 29 May, 2019, de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/12/11/ide-arduino/>

- [16] Luisllamases. (2019). Luis Llamas. Obtenido 29 May, 2019, de <https://www.luisllamas.es/arduino-puerto-serie/>
- [17] Arduinocc. (2019). Arduinocc. Obtenido 29 May, 2019, de <https://www.arduino.cc/en/Reference/SD>
- [18] Githubcom. (2019). GitHub. Obtenido 29 May, 2019, de <https://github.com/TMRh20/TMRpcm/wiki>
- [19] Arduinocc. (2019). Arduinocc. Obtenido 29 May, 2019, de <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/digital-io/pinmode/>
- [20] Arduinocc. (2019). Arduinocc. Obtenido 29 May, 2019, de <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/digital-io/digitalread/>
- [21] Arduinocc. (2019). Arduinocc. Obtenido 29 May, 2019, de <https://www.arduino.cc/reference/en/language/structure/control-structure/switchcase/>
- [22] Arduinocc. (2019). Arduinocc. Obtenido 29 May, 2019, de <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/analog-io/analogread/>
- [23] Gear4musices. (2019). Wwwgear4musices. Obtenido 29 May, 2019, de <https://www.gear4music.es/es/Grabacion-y-Ordenadores/Interfaz-de-Audio-Behringer-U-PHORIA-UMC404HD/1WMY>
- [24] Gonhermusiccentercom. (2019). Gonhermusiccentercom. Obtenido 29 May, 2019, de <http://www.gonhermusiccenter.com/p/1548/microfono-behringer-c3>
- [25] Pcelcom. (2019). Pcelcom. Obtenido 29 May, 2019, de <https://pcel.com/Hewlett-Packard-C7A04LTABM-Laptop-HP-ProBook-4440s-Procesador-Intel-Core-i5-3210M-2-5-GHz-3ra-Generacion-Memoria-de-4GB-DDR3-Disco-Duro-de-750-GB-Pantalla-LED-HD-de-14-Video-Intel-HD-Gra-90965>
- [26] Techlandiacom. (2019). Techlandia. Obtenido 29 May, 2019, de [https://techlandia.com/cable-conector-xlr-info\\_316253/](https://techlandia.com/cable-conector-xlr-info_316253/)
- [27] Djmaniaes. (2019). Djmaniaes. Obtenido 29 May, 2019, de <https://djmania.es/noticia/que-es-ableton-live>
- [28] Mercadolibrecommx. (2019). Mercadolibrecommx. Obtenido 29 May, 2019, de [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-602129364-atril-para-microfono-harden-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-602129364-atril-para-microfono-harden-_JM)
- [29] Ehomerecordingstudiocom. (2017). E-Home Recording Studio. Obtenido 29 May, 2019, de <https://es.ehomerecordingstudio.com/patrones-polares-microfonos/>

## Anexos

### Anexo 1 Especificaciones técnicas de la placa Arduino mega 2560

Microcontrolador	ATmega2560
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pernos digitales de E / S	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
Clavijas de entrada analógica	dieciséis
Corriente DC por Pin de E / S	20 mA
Corriente DC para 3.3V Pin	50 mA
Memoria flash	256 KB de los cuales 8 KB utilizados por el gestor de arranque
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Longitud	101.52 mm
Anchura	53.3 mm
Peso	37 g

