



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Sensorización inalámbrica de movimientos  
corporales

‘Wireless sensor system for body movements’

Autora

**Claudia Gonzalo Gimeno**

Director

**Roberto Casas Nebra**

Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza

Departamento de Ingeniería Electrónica

Año 2019

## RESUMEN

El presente TFG busca, en primer lugar, el diseño de un prototipo lo más pequeño y versátil posible que permita sensorizar movimientos mediante un sensor inercial con acelerómetro, giróscopo y magnetómetro. En función de estos, se generarán diferentes salidas gracias a un módulo inalámbrico con comunicación wifi. Se incluye la investigación, búsqueda y elección de los componentes que lo conforman, mostrando la evolución de su esquema y ruteo.

En segundo lugar, evidencia la colaboración establecida entre electrónica y danza con dos bailarinas en las instalaciones de Etopia, generando grupos multidisciplinares y aprendiendo a acercar lenguajes a la vez que adaptar los tiempos entre ambas modalidades.

A una de estas bailarinas, Manon Siv, se le muestra una serie de ‘presentaciones electrónicas’ para que se familiarice con el tamaño y funcionamiento de sus componentes, ya que no ha trabajado anteriormente en este ámbito. En el ecuador del proyecto, se realiza una satisfactoria exhibición con el fin de exponer el crecimiento y evolución de este.

De cara al festival de danza Trayectos, con la bailarina Raquel Buil, se desarrolla un documental en el que se integra la fusión de danza, electrónica e instrumentación. Se introduce así la comunicación wifi entre prototipos y la sensorización del instrumento.

Las bailarinas se expresan y realizan movimientos de una forma distinta, lo cual da lugar a sensores y actuadores diversos aportando así un punto de vista diferente a este proyecto.

# Índice

1	Introducción .....	1
1.1	Estado del arte .....	1
1.2	Antecedentes .....	2
1.3	Objetivos .....	3
1.4	Metodología .....	4
2	Desarrollo técnico .....	7
2.1	Diseño electrónico.....	7
2.2	Componentes y esquemático.....	8
2.2.1	ESP-WROOM-32 .....	8
2.2.2	Sensores .....	9
2.2.3	Alimentaciones.....	11
2.2.4	Actuadores .....	19
2.3	PCB .....	24
3	Colaboración electrónica .....	29
3.1	Desarrollo de la colaboración .....	29
3.2	Exhibición: presentación de Trayectos.....	35
4	Actuación Festival Trayectos.....	42
4.1	Música y danza .....	42
4.2	Electrónica.....	43
4.2.1	Firmware circuito receptor .....	45
4.2.2	Firmware circuito sensorizador.....	46
4.3	Montaje y grabación .....	47
5	Conclusiones.....	53
5.1	Trabajo futuro .....	53
5.2	Conclusiones del proyecto .....	53
5.3	Conclusiones personales .....	55
6	Bibliografía .....	57
7	Anexos.....	57

# 1 Introducción

## 1.1 Estado del arte

En las últimas décadas se ha producido un incremento exponencial en la versatilidad de la electrónica, lo que ha llevado a su incorporación en ambientes innovadores. Actualmente, existen plataformas y módulos que facilitan el uso de actuadores y lectura de sensores, fomentando así su incorporación en nuevas aplicaciones.

Si centramos el interés en la sensorización de movimientos corporales, encontramos que existen tanto los sensores independientes, donde hay que añadir un circuito de adaptación de forma externa, como módulos que incluyen dichos sensores y sus componentes, facilitando el análisis y filtrado de sus datos. Lo mismo ocurre con el chip o módulo que gestionará esos datos.

Si nos centramos en el TFG, en la parte de diseño del prototipo, encontramos que la forma de hacer la placa más pequeña y conocerla más al detalle es incorporar tanto el sensor como el chip de forma independiente y añadirle su circuito exterior. El sensor más completo y compacto a un precio admisible es el BNO055. Por lo que respecta al chip, que ha de tener suficiente capacidad, I/O y comunicación wifi seleccionamos el ESP-WROOM-32. De esta manera, descartamos de una forma inicial el emplear módulos ya creados para el diseño del prototipo.



Figura 1.1: (a) Sensor BNO055 de Bosch / (b) ESP-WROOM-32 de Espressif

Por lo que respecta al ámbito de la danza encontramos que la electrónica se ha ido incorporando paulatinamente y cada vez de forma más notoria. Hay muchas aplicaciones, aunque en la mayoría la electrónica está oculta y acompaña a la danza en un papel secundario. Por ello, hay que destacar una aplicación por encima del resto: el uso de la electrónica para dibujar trazos a partir de los movimientos realizados por una bailarina gracias a la inclusión de unas placas en sus zapatillas.



Figura 1.2: Placas electrónicas insertadas en zapatillas de ballet

## 1.2 Antecedentes

El arte se ha ido desarrollando de diferentes formas a través de los tiempos, saliéndose de los cánones establecidos y evolucionando constantemente. Tiene multitud de variantes, pasando por las más clásicas como pintura, música y escultura, hasta las más modernas como el humor o performances.

Al principio estas variantes eran disciplinas separadas, pero el paso del tiempo ha hecho que se entrelacen despertando diferentes sentimientos y sensaciones en el espectador. Actualmente podemos encontrar gran variedad de combinaciones que pretenden sorprender a la vez que enseñar, ya que, al entrelazarlas, los espectadores de las diferentes disciplinas coinciden, ampliando así el alcance del arte y mostrando sus variantes a todos ellos.

Por lo que respecta a la tecnología, desde su inicio se vinculó a diferentes formas de arte, algunas de estas ya están asentadas como es el caso de la fotografía o el vídeo. En cambio, hay otras en las que la tecnología experimenta de la mano de la danza dando lugar a nuevos e innovadores formatos.

Este TFG está enmarcado en una colaboración entre profesores y estudiantes de electrónica de la EINA y el festival de danza contemporánea Trayectos, en concreto con el Laboratorio de Danza y Nuevos Medios (DANM), que lleva tres años de recorrido.

Esta colaboración comenzó en el curso 2016 – 2017 e involucró a los estudiantes de la asignatura Laboratorio de Diseño Electrónico (3º Grado de Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación) en la que se desarrollan proyectos. El tema propuesto fue intervenciones electrónicas en la danza y, la colaboración, consistió en sesiones de exposición y comunicación en ambos sentidos. En la primera, personal de trayectos acudió al laboratorio para introducir a los estudiantes de ingeniería en el mundo de la danza contemporánea, exponiéndoles montajes que incorporan tecnología y un análisis sobre el tipo de movimientos propios de la disciplina. En la segunda sesión, los estudiantes visitaron los locales de Trayectos en Etopia y explicaron a un grupo de bailarinas las posibilidades tecnológicas aplicables a la danza.

Gracias a estas sesiones, los estudiantes propusieron sus temas de proyectos que después desarrollaron y construyeron. No hubo colaboración en la fase de desarrollo, pero sí se contrastaron los resultados con la responsable de Trayectos posteriormente.

En 2018 se realizó un TFG basado en una intervención electrónica en la pieza ‘Formas que puedo nombrar’ (coreografía de Alba Lorca) en la que la coreografía y la intervención electrónica se desarrollaron paralelamente, dando lugar a un espectáculo en el que los bailarines vestían unos trajes que incorporaban la electrónica desarrollada que reaccionaba a su interacción. Fue presentado en el festival Trayectos [1].

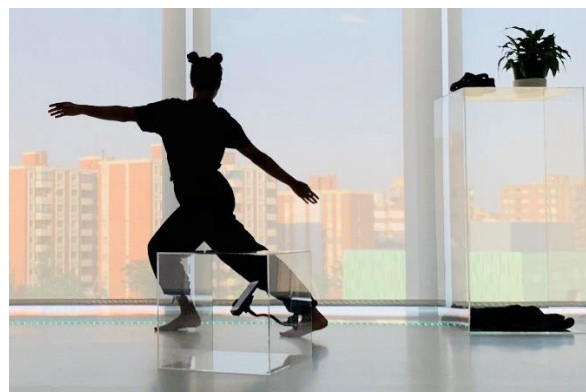


*Figura 1.3: Representación de la pieza ‘Formas que no puedo nombrar’*

En 2019 se han desarrollado dos propuestas de colaboración: la que es objeto de este TFG con la bailarina Raquel Buil y otra correspondiente a la pieza “Kn0w y0ur 4ngl3s” de la bailarina Julia Zaccagnini, objeto del TFG de Francesco Ferrati [2].



(a)



(b)

*Figura 1.4: (a) Colaboración electrónica con Raquel Buil / (b) colaboración electrónica con Julia Zaccagnini*

### 1.3 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es mostrar la versatilidad de la electrónica en el ámbito de la danza, diseñando un prototipo que permita sensorizar movimientos. Esto se realizará mediante un sensor inercial con acelerómetro, giróscopo y magnetómetro, generando estas salidas mediante un módulo inalámbrico con comunicación wifi.

En la medida de lo posible se integrará un prototipo funcional para el festival de danza Trayectos. Esto supondrá un arduo periodo de coordinación y cooperación entre los correspondientes departamentos de electrónica y danza.

Se pretende generar una conexión entre ambas disciplinas en donde la electrónica reforzará el mensaje que quiere transmitir la bailarina con sus movimientos y ayudará al espectador a su mejor entendimiento.

A nivel personal, el principal objetivo es adaptarme a los cambios continuos de la danza y aprender de su lenguaje, además de adecuar los tiempos entre ambas modalidades. Busco encontrarme en un espacio nuevo colaborando en un grupo que no posean el mismo perfil que yo, donde poder tener iniciativas propias.

## 1.4 Metodología

La metodología está basada en el trabajo cooperativo entre la bailarina y la tecnóloga para producir una pieza de danza contemporánea con intervención electrónica. En lugar de encargos desarrollados individualmente se trata de que ambas personas colaboren durante todo el proceso, exista un aprendizaje mutuo y se consiga un resultado innovador que no podría alcanzarse al trabajar por separado. En este sentido se considera que el proceso de creación es incluso más importante que el resultado final (espectáculo de danza y montaje electrónico).

Se forma así un equipo interdisciplinar de danza y tecnología, en el que los participantes tendrán que aprender a comunicarse (ya que usan lenguajes distintos, tienen una concepción de la realidad diferente) y a trabajar cooperativamente para desarrollar un proyecto común.



*Figura 1.5: Equipo interdisciplinar formado por –empezando por la derecha- Raquel Buil (bailarina), Jesus Gonzalo (músico) y Claudia Gonzalo (estudiante de ingeniería electrónica)*

Esta metodología de base se ha ido materializando en las tareas de las que ha estado compuesto este proceso. A continuación, se muestran todas estas tareas y seguidamente se representan temporalmente mediante un diagrama de Gantt (Tabla 1.1).

- Reuniones iniciales con los departamentos que participarán en este proyecto: primer contacto para conocerse y crear el grupo de trabajo. Participan el departamento de danza de Etopia (menos la bailarina con la que se realizará la colaboración) y el de electrónica. Mencionar que, como Francesco Ferrati realizará su TFG en colaboración con otra bailarina, estas primeras reuniones se hicieron de forma conjunta con él.
- Investigación sobre sensores, actuadores y Arduino: se realiza una primera exposición electrónica online a la bailarina mediante la plataforma Skype para así poder ir eligiendo y descartando componentes para la colaboración.
- Investigación sobre los componentes ESP-WROOM-32 (wifi) y BNO055 (sensor de movimiento) de cara al prototipo que se diseñará.
- Presentaciones formales en Etopia: una serie de reuniones con Manon Siv (la bailarina que participa en esta colaboración) con el objetivo de mostrarle una nueva exposición electrónica, pero añadiendo y eliminando componentes mencionados tras la primera reunión. Ahora se realizará de forma presencial para fomentar su familiarización con la electrónica y con el tamaño de los componentes. En estas reuniones también acude Francesco.
- Investigación sobre los sensores y actuadores a incluir en el prototipo una vez conocida Manon y basándonos en las ideas comentadas con ella.
- Diseño del esquemático: se comienza con los componentes ya investigados y se irán añadiendo el resto conforme avance el proceso colaborativo.
- Actuación con Manon: se programa un, así llamado, ensayo abierto, a mitad del proceso, lo que conlleva una serie de reuniones técnicas para seleccionar y probar los componentes, además de su programación.
- Investigación sobre las fuentes de alimentación para el prototipo: se exploran las distintas posibilidades para conseguir los diferentes voltajes para alimentar el prototipo y sus reguladores.
- Diseño PCB: una vez finalizado el esquemático se realiza el ruteo para crear el diseño del prototipo.
- Festival de danza Trayectos: tras un cambio repentino de bailarina, se crea nuevo grupo de trabajo de cara al festival, con la bailarina coreógrafa Raquel Buil. Se realizan diversas reuniones para especificar la nueva colaboración.
- Programación y puesta a punto: una vez determinado en qué se basará la colaboración, se programan las placas y se procede a su colocación de cara a la actuación final. Se comprueba su correcto funcionamiento.
- Grabación y posterior muestra en Etopia: se filman diversas partes, en diferentes espacios, para obtener un video que muestre el proceso de la colaboración, con la idea de proyectarlo en el festival de danza Trayectos.
- Documentación y puesta a punto de la memoria: desde el principio del proceso se recopila la información para luego poder plasmarla de forma detallada en la memoria.

Además, durante todo el proceso se ha ido informando a todas las partes implicadas sobre los avances y decisiones de este, para que así todo el equipo pudiera aportar y dar soporte al mismo.



## CRONOGRAMA DEL PROYECTO

	<b>Meses</b>							
<b>Tareas del proyecto</b>	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
Reuniones iniciales								
Investigación sobre sensores, actuadores y Arduino								
Investigación ESP-WOMM-32 y Bno055								
Presentaciones formales en Etopia								
Busqueda de componentes a incluir en el prototipo								
Diseño del esquemático								
Actuación con Manon								
Investigación sobre fuentes de alimentación								
Diseño PCB								
Preparación de la actuación para el festival								
Programación y puesta a punto								
Documentación y puesta a punto de la memoria								

*Tabla 1.1: Diagrama de Gant*

## 2 Desarrollo técnico

Las herramientas empleadas para realizar el proyecto han sido las siguientes:

- Programa de software libre CircuitMaker

Empleado para diseñar la PCB. Ofrece una sencilla e intuitiva interfaz a la vez que una gran versatilidad, lo más destacable es la librería de Octopart que posee. Gracias a ella, los componentes están vinculados a los proveedores y te ofrece toda la información del fabricante, además, te incluyen la huella del componente. En primer lugar, una vez elegidos y añadidos los componentes necesarios, se crean sus interconexiones, dando lugar al 'esquemático'. Posteriormente, cargando esa información, se procede al ruteo de la placa en la cara top y bottom. Finalmente se añaden los planos de masa y la PCB se puede mandar a fabricar.

Hay que mencionar que pese a la comodidad que ofrece la librería de Octopart, hay que prestar atención de que los componentes estén bien referenciados al fabricante y que la huella coincida, en caso de no ser así existe la posibilidad de crearlo el usuario. Diferentes vendedores pueden ofrecer el mismo componente, por ello hay que verificar que lo hacen los que a nosotros nos interesan y que no está agotado, eliminado del catálogo o que posee un pedido mínimo superior al que necesitamos.

- Entorno IDE de Arduino

Arduino es una plataforma de hardware y software libre, posee una gran cantidad de librerías por lo que presenta compatibilidad con muchos módulos, sensores y actuadores ya existentes. Es sencillo de manejar, lo que ha impulsado y facilitado que personas sin un perfil electrónico puedan usarlo y generen sus propios proyectos. Como consecuencia de sus ventas exponenciales, el precio de sus productos se ha visto disminuido, ofreciendo una buena relación calidad-precio.

- Trello

Gestor de proyectos online empleado para compartir a la vez que organizar la información y tareas de este TFG. Permite subdividir las tareas de forma visual para facilitar al usuario la estructura y realización del proyecto. Fomenta el trabajo en equipo y proporciona un seguimiento de las tareas en un marco temporal.

### 2.1 Diseño electrónico

El prototipo a desarrollar debe ser capaz de detectar los movimientos de la bailarina y generar una respuesta en función de estos. Para poder dotar de versatilidad al módulo se empleará conexión wifi. De esta manera las respuestas podrán ser sobre el mismo módulo, sobre otro, en una URL, un ordenador, un móvil...

La dificultad radica en que los tiempos entre electrónica y danza son diferentes, así que las especificaciones sobre los sensores y actuadores no estarán determinadas hasta que llegemos a la parte final del proyecto. Por ello hay que introducir en el prototipo entradas y salidas de propósito general.

En primer lugar, se realizará una investigación sobre los distintos sensores y actuadores que se pueden emplear y se le mostrarán a la bailarina de forma paralela al desarrollo del prototipo para ir escogiendo los que puedan ser útiles en la actuación. Al igual que se le plantearán opciones sobre donde estarán situados esos actuadores o si se quiere trabajar con proyecciones, archivos de audio, etcétera. Esto está descrito en el punto 3.1 de la memoria.

El prototipo ha de ser portable y deberá tener el menor tamaño posible, pero sin renunciar a esa versatilidad.

## 2.2 Componentes y esquemático

Podemos dividir los componentes en cuatro bloques: ESP-WROOM-32, sensores, alimentaciones y actuadores. En todos ellos se ha realizado una previa investigación y se han seleccionado los componentes finales atendiendo a los objetivos, el diseño requerido, versatilidad, tamaño y precio. Se incluye en cada bloque su correspondiente esquemático.

### 2.2.1 ESP-WROOM-32

Se encarga de controlar el sistema, además de la integración del wifi y del bluetooth. En nuestro caso se programará para comunicarse por vía wifi ya que se requiere una comunicación de medio alcance. Se descarta usar bluetooth porque al comienzo del desarrollo del diseño se desconoce en qué espacio se realizaría la exhibición y a qué distancia estarán situados los actuadores.



*Figura 2.1: ESP-WROOM-32 de Espressif*

Tiene 34 GPIO (General Purpose Input/Output) de diferentes tipos, según su programación: digitales, ADC, DAC, capacitivas táctiles, para sensores Hall... Por lo tanto, puede controlar numerosos periféricos (más adelante se concreta los que hemos empleado para el prototipo).

Tiene incorporados protocolos: SPI, I2C y UART. Se utilizará el I2C para recibir la información que proviene del sensor BNO055, el ESP-WROOM-32 la filtrará y pondrá

en funcionamiento los actuadores necesarios de esa misma PCB o mandará por wifi esa información a otra PCB, ordenador, móvil...

Además, en el esquemático se incluyen condensadores de filtrado, un led indicador de estado y dos pulsadores para entrar en modo programación y reset. La forma de programarlo es mediante un cable FTDI. Gracias al bootloader se puede programar en diferentes lenguajes siendo los más destacados Phytón y C [3].

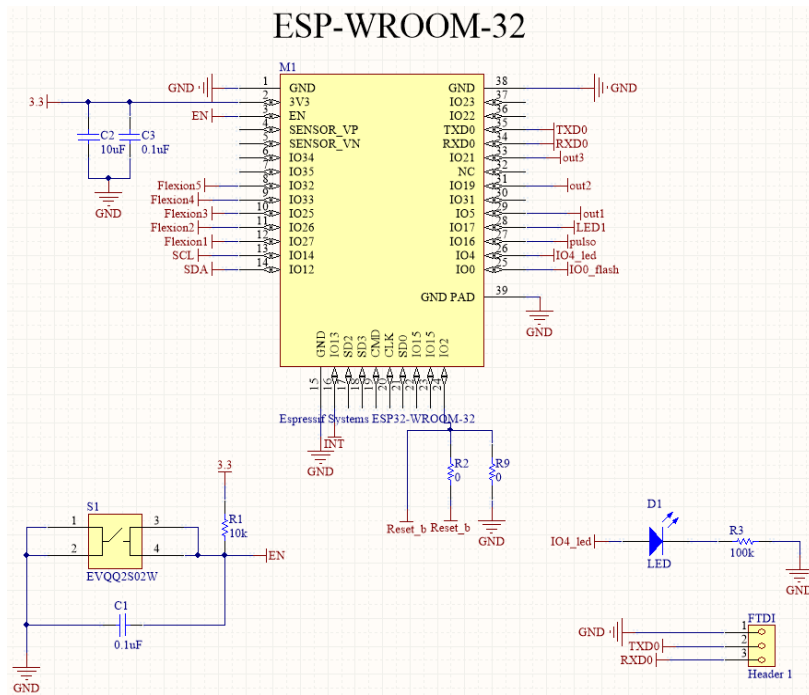


Figura 2.2: Esquemático ESP-WROOM-32 realizado con la herramienta CricuitMaker

## 2.2.2 Sensores

De los sensores que detectan movimientos, el que mejores prestaciones tiene es el BNO055:

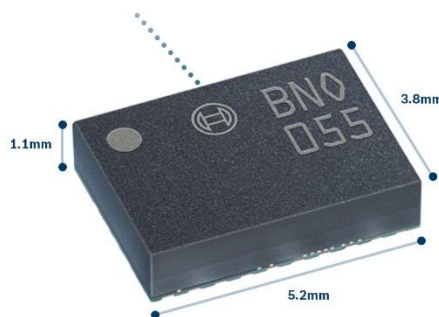


Figura 2.3: Sensor BNO055 de Bosch

Es un sensor inercial absoluto de 9 ejes, acelerómetro, giróscopo y magnetómetro. Está equipado con interfaces bidireccionales I2C, HID-I2C y UART. Los datos se pueden generar en cuaternios y en ángulos de Euler, esto dota al sensor de una mayor precisión.

Se alimenta a 3.3 V y hay que añadir un reloj de 32.768 kHz de forma externa para un mejor rendimiento. Tiene una buena relación calidad-precio además de un tamaño pequeño [4].

Hay que realizar una calibración inicial para verificar su correcto funcionamiento, basada en incluir un offset que elimine el error inicial.

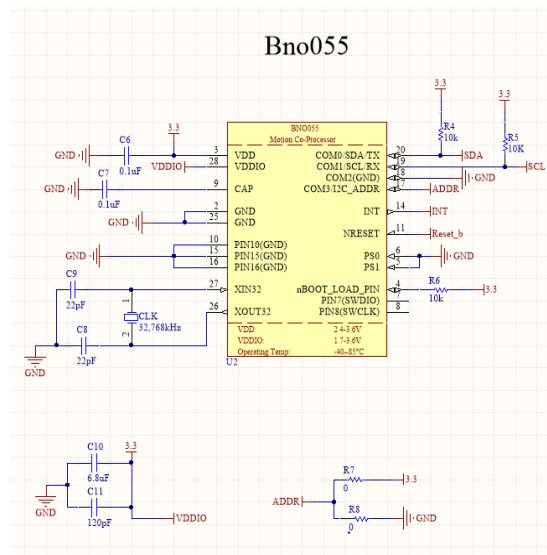


Figura 2.4: Esquemático BNO055 realizado con la herramienta CircuitMaker

Pero se debe destacar que por su huella es difícil de soldar en una placa y lleva muchos componentes asociados. Así que el prototipo se diseña de forma completa con el sensor y sus componentes, pero se busca alternativas para solucionar los posibles problemas futuros.

Estas alternativas son:

- Usar el módulo de Adafruit incluye el BNO055 con sus componentes ya soldado. Así aseguramos la precisión y el funcionamiento, pero encarecemos el precio al doble. Este módulo, ocupa aproximadamente el mismo espacio que el diseño mencionado anteriormente. Además, posee un regulador de 5 V a 3.3 V internamente, así se podría alimentar a 5 V.
- Usar el MPU9250/6500 tiene menores dotaciones y precisión, pero es la opción más barata de todas y la que ocupa un menor espacio.

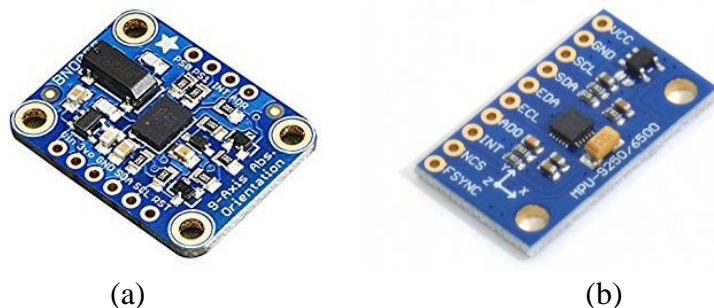


Figura 2.5: (a) Módulo con el BNO055 de Adafruit / (b) MPU9250/6500

Para dotar de mayor versatilidad al prototipo se crean varias implementaciones que incluyen los componentes mencionados, tal y como podemos ver en la tabla 2.1 .

Además de este sensor, en el prototipo se incluirán otros secundarios que pueden ser útiles para introducir en la danza:

- Cinco sensores analógicos de flexión, con la idea de sensorizar los movimientos de una mano. Estos sensores van acompañados de una resistencia pull-up.
- Un señor analógico de pulso.

Se crean seis casos para atender las diferentes necesidades, se recoge un resumen de ellos en la tabla 2.1 y se encuentran de forma más detallada en el Anexo 2.

Casos de implementación	Característica principal	Incluido en el caso	No incluido en el caso	Resumen
<b>Caso A</b>	BNO055 soldado	ESP-WROOM-32 BNO055 soldado Buck 3.3 V	Sensores flexión Sensor pulso Actuadores Buck 5 V	El sensor de movimiento es de gran precisión y presenta dificultad para soldarlo
<b>Caso B</b>	Módulo BNO055 de Adafruit	ESP-WROOM-32 BNO05 mod. Adafruit Buck 3.3 V	Sensores flexión Sensor pulso Actuadores Buck 5 V	El sensor de movimiento es de precisión intermedia y es poco económico
<b>Caso C</b>	Módulo MPU9250/6500	ESP-WROOM-32 MPU9250/6500 Buck 3.3 V	Sensores flexión Sensor pulso Actuadores Buck 5 V	El sensor de movimiento es de baja precisión y ofrece el menor tamaño
<b>Caso D</b>	Sensores	ESP-WROOM-32 Buck 3.3 V Sensores flexión Sensor pulso	Buck 5 V Sensor de movimiento Actuadores	Ofrece la sensorización no relacionada con el sensor de movimiento
<b>Caso E</b>	Alimentación 5V	ESP-WROOM-32 Buck 3.3 V Buck 5 V	Sensor de movimiento Actuadores Sensores flexión Sensor pulso	Incluye la alimentación de 5 V
<b>Caso F</b>	Actuadores	ESP-WROOM-32 Buck 3.3 V Buck 5 V Tira LED Salidas genéricas	Sensor de movimiento Sensores flexión Sensor pulso	Ofrece la inclusión de los actuadores

Tabla 2.1: Casos de implementación

### 2.2.3 Alimentaciones

Se investigó sobre los diferentes niveles de tensión admisibles para el prototipo y cómo modularlos internamente. Partíamos de que la alimentación del módulo ESP-WROOM-32 y del sensor BNO055 es 3.3 V y de la necesidad de incluir tiras LED. Se analizaron diferentes alternativas hasta llegar a la que finalmente se implementó.

A continuación, en la tabla 2.2 se comparan los diferentes tipos de pilas y baterías investigadas para la alimentación del prototipo. Está dividida en casos que posteriormente

serán desarrollados. Los casos cuarto y quinto, no citados en la tabla, emplean las baterías y pilas ya mencionadas en esta.

	Nombre	Tipo	Voltaje	Capacidad	Tamaño	Coste
<b>1º caso</b>	Pila alcalina	AA	1.5 V	2550 mAh	14.2 mm diámetro y 50 mm longitud	1.2 €
	Pila 12 V	A23	12 V	55 mAh	10.3 mm diámetro y 28.5 mm longitud	2.6 €
	Batería 12 V	Li-ión	12 V	15000 mAh	127 mm x 65 mm x 22 mm	20 €
<b>2º caso</b>	Pila petaca	PP3	9 V	565 mAh	17.5 mm x 49 mm x 26,5 mm	3 €
	Batería 7.4 V	Li-ión	7.4 V	15000 mAh	102 mm x 56 mm x 40 mm	14 €
<b>3º caso</b>	Batería 3.7 V	Li-ión	3.7 V	1200 mAh	160 mm x 100 mm x 20 mm	5 €
	Batería 7.4 V	Li-ión	7.4 V	15000 mAh	102 mm x 56 mm x 40 mm	14 €

Tabla 2.2: Tabla comparativa pilas – baterías

### ➤ 1º Caso: Usar una pila de 12 V

Gracias a ‘la exposición electrónica’ que se le realiza inicialmente a la bailarina (explicado en el punto 3.1 de la Memoria) se tiene la certeza de que las tiras LED direccionables de 12 V funcionan de forma correcta y se entiende su forma de programarse. Por ello la opción inicial consta de alimentar el prototipo a 12 V y reducir internamente a 3.3 V.

Para la pila de 12 V se buscaron las siguientes opciones:

- Ocho pilas alcalinas de 1.5 V en un porta-pilas



Figura 2.6: Ocho pilas alcalinas en porta-pilas

El problema que se presenta con esta opción es el gran tamaño que supone, ya que el dispositivo tiene que ser portable por la bailarina. Además, tendríamos problemas con la descarga de la batería porque se necesitaría una corriente elevada, lo que nos daría lugar a menos de 10 V de tensión de salida en vez de 12 V.

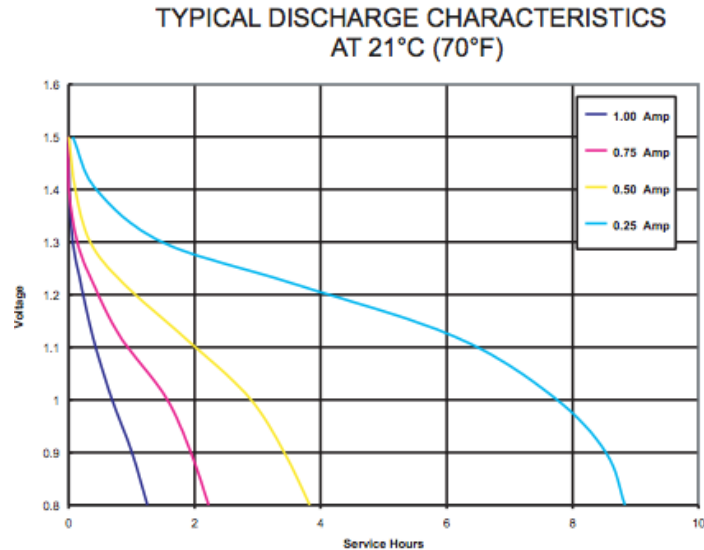


Figura 2.7: Curva de descarga en pilas alcalinas

Esta opción se sitúa en unos 9 euros de coste.

- Pila pequeña de 12 V en porta-pilas



Figura 2.8: Pila 12 V en porta-pilas

Con esta opción solucionábamos el problema de la portabilidad, pero mantenemos el de la curva de descarga.

**Typical Discharge characteristics at 22 ± 3 °C**

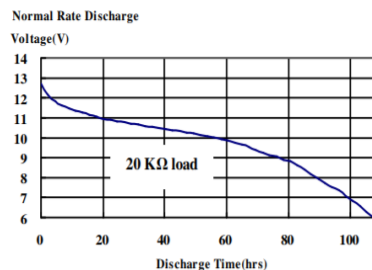


Figura 2.9: Curva de descarga en pila de 12 V



El Datasheet de este tipo de pilas muestra una capacidad media de 55 mAh, pero en nuestro caso, necesitaríamos una capacidad de más de 1 Ah por lo que la curva se precipita dando lugar a una solución ineficiente. El precio de esta opción es de unos 3 euros.

- Batería de litio 12 V

Esta opción se descartó por su precio que se sitúa en 20 euros para 15000 mAh.



Figura 2.10: Batería litio 12 V recargable

Después de analizar las diferentes opciones para alimentar con 12 V (y no haber encontrado ninguna que cumpliera todas las necesidades de nuestro prototipo) se investigó sobre los reductores integrados de tensión para obtener los 3.3 V a partir de esos 12 V. Pero finalmente se descartó por el calor que estos podían generar debido a la alta intensidad requerida, por ello se cambió de idea y se empezó a investigar sobre los reguladores en cascada. Hay que destacar que, para alimentar los actuadores, 12 V era mucha tensión y 3.3 V era poca, se precisaba un nivel intermedio.

### ➤ 2º Caso: Reguladores en cascada

Esta opción pasaba por alimentar a 7.4 V, 9 V o 6 V el prototipo y reducir con un regulador integrado de tensión a 5 V y posteriormente con otro a 3.3 V. Estos integrados protegen frente a sobrecargas y ofrecen una estabilidad en la tensión de salida gracias al condensador de filtrado.

El primer paso fue investigar sobre los diferentes tipos de baterías/pilas:

- Pila de petaca de 9 V

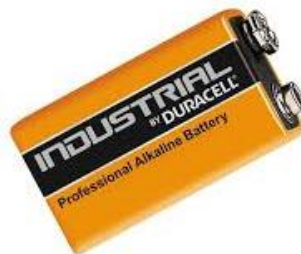


Figura 2.11: Batería 9 V no recargable

Nos encontramos con el mismo problema que en el caso anterior, esta pila posee baja densidad eléctrica. Está pensada para prototipos que tengan una necesidad de corriente entorno a los 300 mA y nuestro prototipo requiere más, por lo tanto, es ineficiente.

Hay que tener en cuenta que 9 V no es un valor idóneo para los actuadores, ya que lo ideal sería alimentarlos directamente mediante la batería/pila y no a través del regulador, que ofrezca 5 V por su elevado consumo de corriente.

Por lo que respecta al precio es una buena opción ya que cuesta entorno a los 3 euros.

- Batería de 7.4 V de polímero litio

Comúnmente denominadas como ‘Lipo’, se presentan como la mejor opción de todas las barajadas hasta ahora. Con dos celdas, ofrece 7.4 V a su salida (el voltaje depende del número de celdas) y posee una mayor capacidad que los casos anteriores, además de tener un volumen reducido.



*Figura 2.12: Batería litio 7.4V recargable*

El precio depende de la capacidad en mAh requerida y para nuestro caso se situaría en unos 14 euros.

Usar 4 pilas de 1.5 V o 5 pilas de 1.2 V queda descartado por los mismos motivos que los explicados en el 1º caso.

Tras seleccionar la batería Lipo de 7.4 V como mejor opción, nos planteamos el problema de buscar los integrados para reducir a 5 V y a 3.3 V.

Para reducir a 5 V se investigó y se planteó emplear el regulador LM2940CT-5.0/NOPB que ofrece 1 A a su salida y su precio es reducido. Se investigó los componentes necesarios para su correcto filtrado y funcionamiento, pero a la hora de buscar un integrado que redujera a 3.3 V entramos en el debate de como economizar los prototipos.

Conforme avanzaron las reuniones con el departamento de danza nos dimos cuenta de que colocar actuadores sobre la bailarina no era la mejor alternativa debido a sus pronunciados movimientos y, por tanto, era mejor colocar un prototipo que solo detectara movimiento sobre ella y no los actuadores.

Por eso surgió la idea de fabricar diferentes tipos de placas atendiendo a estas necesidades, con esta idea el 2º caso se dio por finalizado.

Para realizar esta división de prototipos desechamos este caso y pasamos al siguiente [5].

### ➤ 3º Caso: Dividir en dos alimentaciones

Se plantea generar dos circuitos en la misma placa y dependiendo del prototipo que necesitemos añadir unos componentes u otros, estos circuitos son:

- Batería 3.7 V e integrado

Este sería apropiado si solamente se necesitara sensorización y uso del módulo ESP-WROOM-32 ya que ambos componentes se alimentan a 3.3 V.

Como ya hemos analizado en los casos anteriores, la opción más fiable y económica es usar una batería tipo Lipo, pero ahora de 3.7 V, de una celda y de forma plana.



Figura 2.13: Baterías Lipo 3.7 V recargables

Esto sería idóneo porque ocuparía un espacio pequeño, acorde a las necesidades de este prototipo. Cada batería cuesta en torno a 5 euros y son recargables.

La corriente media requerida para el ESP-WROOM-32 es de 80 mA mientras que el del BNO055 es de unos 13 mA. Esto repercute a la hora de seleccionar el integrado. Después de buscar uno que se adaptara a nuestras necesidades se decidió utilizar el integrado TPS78233DDCT que ofrece 150 mA y 3.3 V de tensión de salida.

- Batería 3.7 V y Batería 7.4 V con sus integrados

Esta opción se corresponde con el del prototipo completo, incluiría el caso anterior más la fuente de 5 V y los actuadores.

Para la fuente de 5 V se precisaría de una batería de 7.4 V Lipo, como la mencionada en casos anteriores, y un integrado capaz de ofrecer la intensidad necesaria para alimentar a los actuadores. Tras investigar, se decidió usar el TPS62163DSGT que ofrecía 1 A y 5 V en su salida. El circuito quedaría de la siguiente forma:

## Adaptación tensión entrada

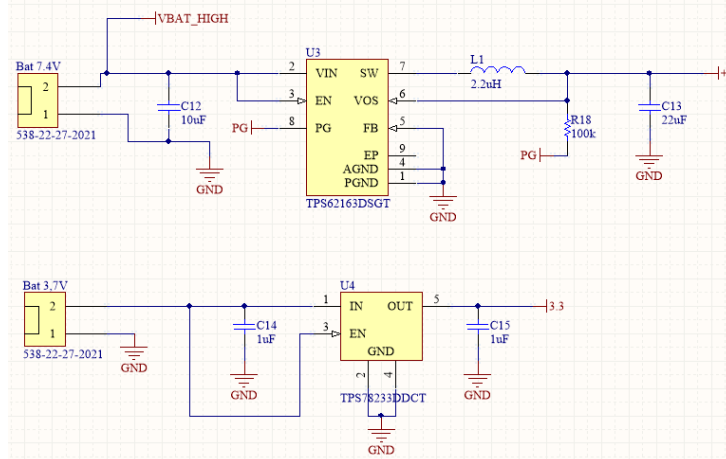


Figura 2.14: Esquemático adaptación de la tensión de entrada (3º caso) realizado con CircuitMaker

Se soldarían los componentes necesarios dependiendo de la opción elegida. Remarcar que en caso de querer hacer la placa completa se necesitaría llevar dos baterías, lo cual no es práctico a la hora de colocar el prototipo sobre la bailarina. En suma, no se reduciría el precio del ejemplar.

Por ello se siguieron buscando alternativas para la alimentación del prototipo.

### ➤ 4º Caso: PMIC

Se busca un circuito versátil que ofrezca la salida de 3.3 V a la vez que la de 5 V, para ello se investiga sobre los PMIC (power management ICs).

Son convertidores DC-DC, pero con varios canales, lo que permite modificar la tensión de salida de ellos. De esta forma, a partir de una batería se obtienen dos salidas con las tensiones necesarias.

Hay que destacar que este caso es una buena opción por el poco tamaño que ocupaban los circuitos de alimentación, ya que están concentrados en el PMIC, además de suponer la adicción de pocos componentes.

Pero finalmente esta opción se descartó debido a que la corriente que ofrecían los integrados era de 350 mA por cada uno de los canales y esta no era suficiente para los requisitos de nuestro prototipo.

### ➤ 5º Caso: Opción final elegida

Se retomó lo especificado en el 3º caso, pero ahora, cuando se necesitaran los 5 V para los actuadores, debería haber solo una pila y no dos como en ese supuesto.

Se realiza una búsqueda de integrados que se adapten a las características de nuestro prototipo, se destacan las recogidas en la tabla siguiente.

Nombre	Rango voltaje entrada	Rango voltaje salida	Corriente máx. salida	Encapsulado	Precio
<b>TPS78233DDCT</b>	2.2 V - 5.5 V	1.9 V - 5.8 V	150 mA	SOT-23	0.837 €
<b>XC6210B332MR</b>	1.5 V - 6.0 V	0.8 V - 5.0 V	700 mA	SOT-25	0.783 €
<b>TPS709A33DBVT</b>	2.7 V -30 V	1.2 V - 6.5 V	150 mA	SOT-23-5	1.17 €
<b>TPS62163DSGT</b>	3 V - 17 V	0.9 V - 6 V	1000 mA	WSON-8	1.80 €
<b>LM2940CT-5.0/NOPB</b>	6 V - 26 V	5 V	1000 mA	TO-220-3	1.38 €
<b>TL2575-05IKTTRG3</b>	4.75 V - 40V	5 V	1 A	TO-263-5	2.05 €
<b>MPQ8904DD-AEC1-LF-P</b>	2.5 V - 6.5 V	0.5 V - 5 V	500 mA	QFN2x3-8	2.74 €
<b>TLV76728DRVR</b>	2.5 V – 16 V	0.8 V - 6.6 V	1A	WSON-6	1.04 €
<b>NCP718ASN330T1G</b>	2.5 V – 24 V	1.2 V - 5 V	300 mA	TSOT-23-5	0.36 €

Tabla 2.3: Tabla comparativa de integrados para la alimentación del prototipo

Así, gracias a los rangos de tensión de entrada y un jumper, obtendríamos el circuito final:

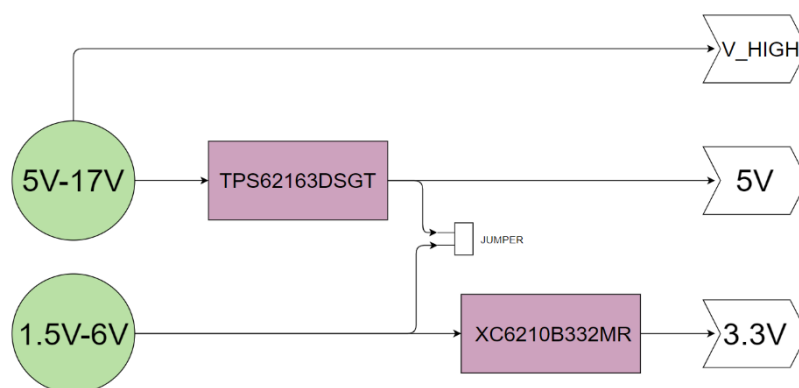


Figura 2.15: Esquema final de las tensiones de entrada

De esta forma obtenemos dos posibilidades:

- 3.3 V. Para el caso de 3.3 V se emplea el Torex XC6210B332MR con el fin de aumentar el rango de tensión de entrada a 1.5 V-6 V y a 700 mA la corriente de salida. Solo es necesario la batería de 3.7 V y los componentes de este integrado.
- 3.3 V, 5 V y V\_HIGH. Gracias al rango de tensión de entrada admisible por el integrado TPS62163DSGT se podía colocar una batería/pila de 7.4 V, de 9 V o de 12 V, así se obtendría esa tensión y los 5 V gracias al integrado. La diferencia con el caso anterior radica en que al haber aumentado el rango del integrado de 3.3 V ahora, mediante un jumper, podemos hacer pasar esos 5 V por el integrado XC6210B332MR y obtener así los 3.3 V.

Obteniendo así las tres salidas de tensión requeridas en el caso del prototipo completo, pero solo con una pila. En el anexo 2 podemos ver esta división dependiendo del caso.

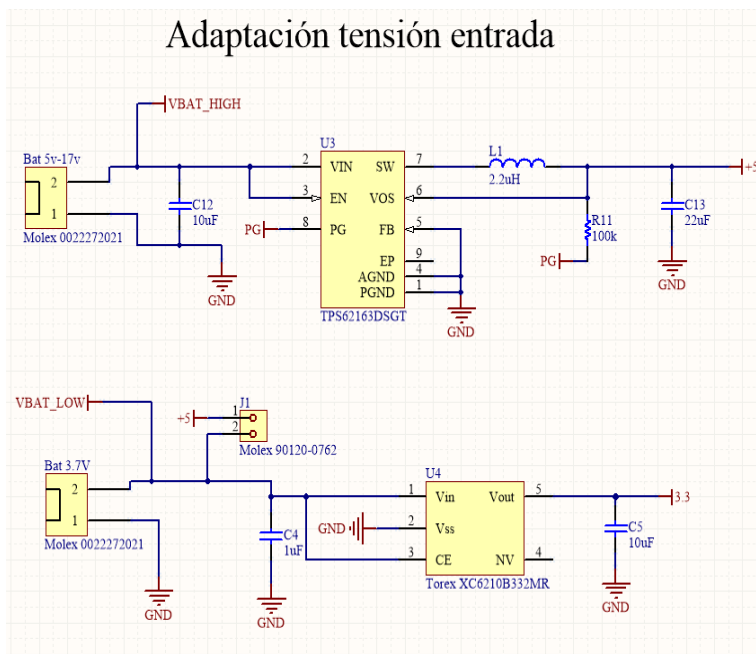


Figura 2.16: Esquemático final adaptación tensión entrada realizado con CircuitMaker

Paralelo a todo esto se debatió sobre si se introducía en el prototipo un integrado para la carga de la batería, al principio se quería implementar solo para la batería Lipo de 3.7 V (una celda) mediante el MCP73831, aunque finalmente no se incluyó. El motivo principal se debió a la necesidad de que la placa fuera lo más pequeña posible, además, en caso de incluir la batería de 5 V-17 V no se emplearía el cargador.

Los componentes tienen que ser todos SMD para que ocupen el menor espacio posible, menos los jumpers y los conectores, ya que precisan de una mayor sujeción por el peso que van a soportar. Todos los componentes se elegirán del vendedor Mouser o Farnell, para facilitar el pedido de componentes.

## 2.2.4 Actuadores

Se incluyen en el prototipo tres salidas de propósito general y una más para incorporar una tira led.

### ➤ Salidas de propósito general

Tal y como se mencionó anteriormente no se sabe con exactitud las características del prototipo, por ello se incluyen tres salidas de carácter genérico, controladas por el procesador mediante transistores MOSFET y con diodos en antiparalelo por si los actuadores son cargas inductivas.

En el esquemático, mediante un jumper se deja la posibilidad de que los actuadores estén alimentados a VBAT\_HGH o a 5 V (dependerá de la carga que se conecte).

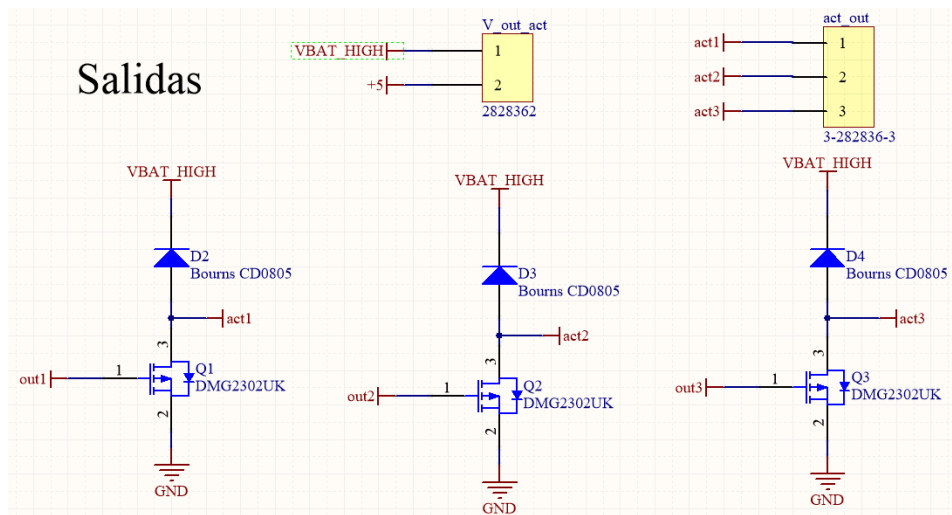


Figura 2.17: Esquemático salidas de propósito general realizado con CircuitMaker

- Elección del transistor

Por lo que respecta al transistor, se investiga sobre que componente seleccionar para el modelo, en primer lugar se decide que sea de tipo MOSFET principalmente por su bajo consumo, además de no necesitar resistencias auxiliares y por su alta velocidad de conmutación.

Nombre	Voltaje drenaje VDS	Voltaje puerta VGS	Corriente drenaje	Tipo	Encapsulado	Precio
<b>FDD4685</b>	-40 V	+/- 20 V	- 8.4 A	P	TO-252-3	0.918 €
<b>DMG2302UK-7</b>	20 V	+/- 12 V	2.2 A	N	SOT23	0.297 €
<b>DMP1045UQ-7</b>	-12 V	+/- 8 V	-4.0 A	P	SOT-23-3	0.41 €
<b>MCH3383-TL-W</b>	-12 V	+/- 5 V	-3.5 A	P	SOT-323-3	0.46 €
<b>DMN1019UVT-7</b>	12 V	+/- 8 V	10.7 A	N	TSOT-26-6	0.38 €
<b>SQ4153EY-T1-GE3</b>	-12 V	+/- 8 V	-25 A	P	SO-8	1.38 €
<b>SI1050X-T1-GE3</b>	8 V	+/- 5 V	1.34 A	N	SC-89-6	0.45 €
<b>SI2342DS-T1-GE3</b>	8 V	+/- 5 V	6 A	N	SOT-23-3	0.45 €
<b>RQ5A025ZPTL</b>	-12 V	+/- 10 V	- 2.5 A	P	SOT-346T-3	0.468 €

Tabla 2.4: Tabla comparativa de transistores para las salidas de propósito general

Después de investigar se eligió el DMG2302UK-7 a partir de sus curvas características incluidas en su Datasheet:

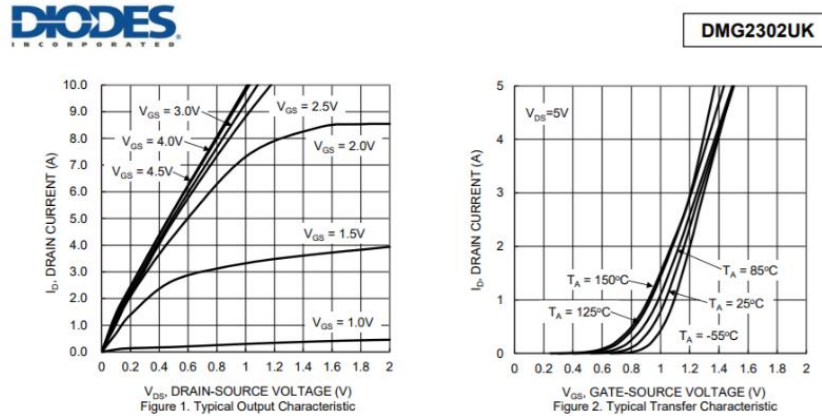


Figura 2.16: Curvas características del transistor DMG2302UK-7

El principal problema fue encontrar un MOFSET que tuviera una VGS baja, ya que el módulo ESP-WROOM-32 en su salida genera unos 2.5 V y una intensidad dependiendo del modo elegido: 0: ~5 mA, 1: ~10 mA, 2: ~20 mA, 3: ~40 mA (por defecto modo 2).

Pero para esa VGS las intensidades permitidas por el MOFSET eran muy reducidas, por ello tras una larga búsqueda seleccionamos el mencionado anteriormente.

Es de tipo N y el encapsulado se buscó que fuera SOT-23-3 debido a su facilidad para soldarlo.

- Elección del diodo

Se incorporó en cada salida un diodo en antiparalelo para proteger al sistema de cargas inductivas, ya que el prototipo ha de ser versátil y aceptar cualquier carga que cumpla los requisitos de tensión y corriente.

El transistor actúa a modo de interruptor y el diodo absorbe los picos de tensión para que no le lleguen a este y así lo protege de sobretensiones. Acorde a las características de estas salidas se eligió el CD1206-S01575. En el caso de que la carga no sea inductiva, el diodo no afecta al circuito.

Hay que mencionar que se realizó una búsqueda de componentes que incluían un array de cuatro transistores con sus diodos en antiparalelo de forma conjunta en un encapsulado SOIC. Esta idea se descartó debido a que no había ninguno que cumpliera los requisitos de las salidas.

### ➤ Salida tira LED

Tal y como se ha explicado anteriormente en la sección de alimentación, al principio se querían incluir las tiras LED de 12 V ya empleada con la bailarina, pero finalmente se deja la opción de alimentarlas a 5 V o a V<sub>HIGH</sub> mediante una ficha.



Se investigó sobre las tiras LED a incluir en el prototipo, destacan las siguientes:

- RGB no direccionable

La primera opción planteada fueron las tiras LED digitales RGB, estas se controlarían mediante tres transistores MOFSET tipo N gracias al procesador. De esta forma, mediante las ondas PWM se seleccionaría el color deseado para toda la tira, pero no se puede programar para mostrar más de un color y ha de estar encendida o apagada en su totalidad.

En primer lugar, esta opción se descartó por el espacio que ocupaban los transistores y la necesidad de emplear tres salidas del procesador para una tira LED. En segundo lugar, hay que mencionar que la bailarina manifestó su interés en que las luces mostraran efectos visuales que no se podían realizar con este tipo de tiras.

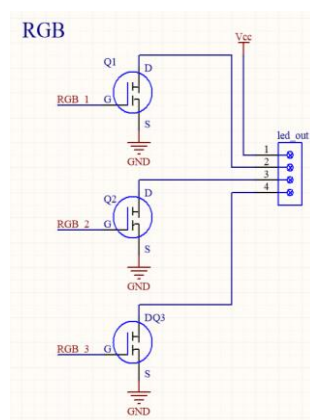


Figura 2.17: Esquemático tiras RGB no direccionables realizado con CircuitMaker

Se eligió esta opción ya que permite más efectos luminosos. Las tiras son digitales, por lo que no se necesita añadir transistores, bastaría con una ficha de salida para conectarlas con GND, el pin digital y VCC.

Debido a que la alimentación final del sistema permite obtener V\_HIGH y 5 V se puede elegir la alimentación de la tira LED de la siguiente forma:

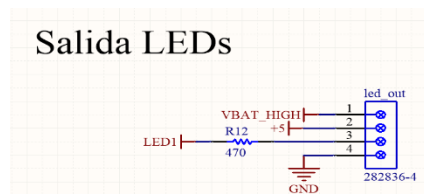
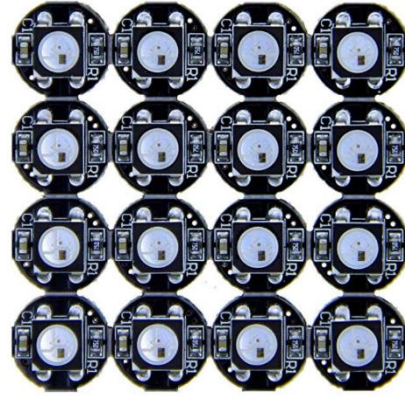


Figura 2.18: Esquemático tira LED direccionable realizado con CircuitMaker

Hay que mencionar que se le da la opción a la bailarina de que la tira LED sea continua o que sean LED separados cosibles a la ropa y conectados entre sí mediante tres cables, de esta forma se podría abarcar mucha más superficie.



(a)



(b)

Figura 2.19: (a) Tira LED continua / (b) LED independientes

En ambos casos la elección del color se basa en RGB, dado para cada uno de estos tres parámetros un valor de entre 0 (nada) y 255 (todo). Modificando esos valores se pueden obtener una amplia gama de colores.

Finalmente, el esquemático del prototipo queda de la siguiente manera:

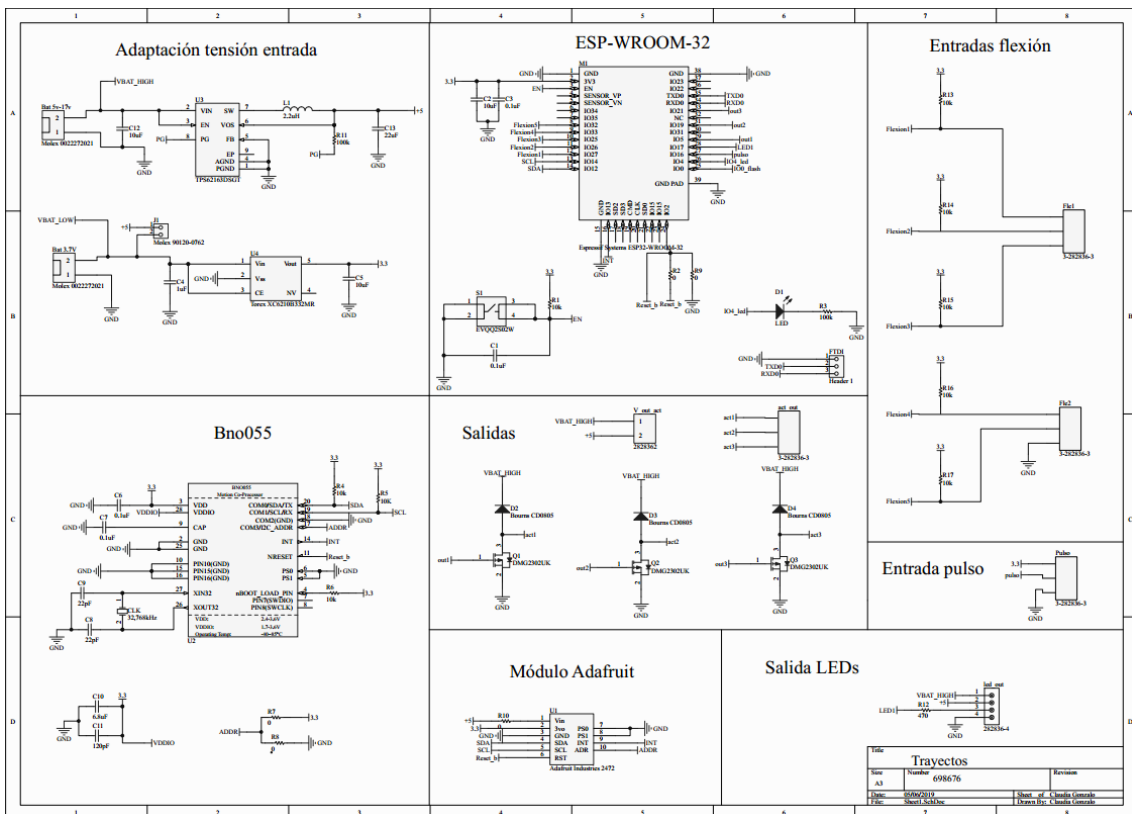


Figura 2.20: Esquemático del prototipo realizado con CircuitMaker

La placa debía ser lo más pequeña posible, por lo que se siguieron una serie de directrices con el fin de conseguir este propósito:

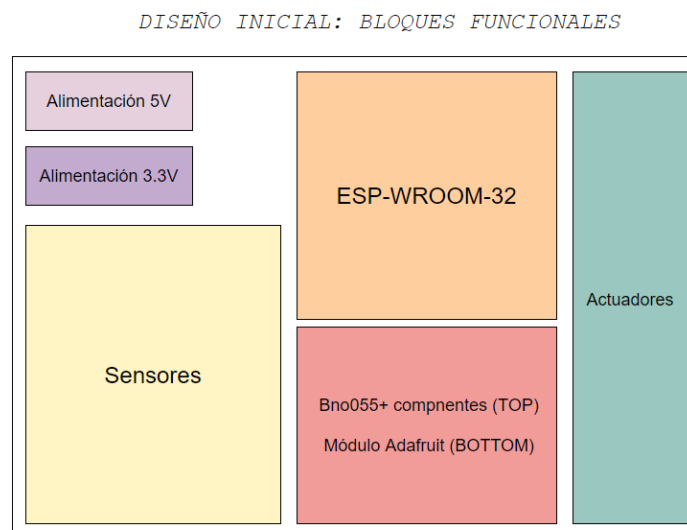
- Todos los componentes son de tipo SMD menos los jumpers y conectores.

- Los sensores de flexión se juntaron en dos fichas en vez de una por cada sensor, haciendo lo mismo para las salidas de propósito general.
- Se evitó poner el pulsador de reset del BNO055, conectando dicha señal al procesador para que pudiera controlarlo sin necesidad de este. El botón de Bootloader del procesador fue sustituido por un jumper.
- Mediante resistencias de 0 Ohm se habilitaron los diferentes caminos para soldar (una vez decidido el caso) y así evitar el uso de interruptores.
- Se cambió el encapsulado de los transistores por uno más pequeño.
- El conector FTDI se sustituyó por un zócalo de 3 pines.

En el Anexo 1 podemos encontrar la selección de componentes para cada caso de los mencionados en este apartado de la Memoria, además del vendedor, proveedor, precio etcétera.

## 2.3 PCB

En primer lugar, se distribuyeron los componentes intentando que ocuparan el menor espacio posible. Se agruparon en bloques funcionales: alimentaciones, ESP-WROOM-32, BNO055, sensores y actuadores. Los bloques que poseían fichas y conectores se situaron en los extremos de la placa (alimentación, sensores y actuadores), mientras que el resto se situaron en el centro. Se realizó un pre-posicionamiento inicial quedando de la siguiente forma:



*Figura 2.21: Bloques funcionales pre-posicionamiento*

Se identificó la antena del ESP-WROOM-32 como el elemento más sensible al ruido, por lo tanto, tenía que estar alejado de las fuentes conmutadas (lo más posible que le permitiera el ruteo del resto de componentes, ya que el tamaño de la placa debía de ser el menor posible). Este es ‘el sol’ del circuito mientras que el resto de los bloques son ‘sus satélites’.

El prototipo se diseñó siguiendo las siguientes normas de ruteo:

- La anchura de las pistas depende de la corriente que vayan a soportar, por ello todas las pistas posibles son de 22 mil y las que salen de los integrados de 16 mil, debido a que el tamaño entre los pads de estos es menor.
- Pistas tan rectas y cortas como sea posible.
- No llevar señales críticas por el borde de la PCB.
- Las pistas entran de forma perpendicular a los pads, no haciendo ángulos.
- No hacer esquinas de 90°, hacerlas de 45°.
- Separación mínima entre pistas de 20 mil siempre que sea posible. Ídem para pistas y pads.
- La corona al doble que el pad, para así poder proveer de la máxima superficie de cobre en la conexión de los pads, para que aguante el calor, y ofrecer de un buen soporte al estaño.
- No pasar demasiadas pistas entre pads y que todos los pads sean circulares.
- Medidas de los pads y coronas normalizados a los taladros del laboratorio.

Además, hay que prestar atención en el camino de retorno de las corrientes, para no hacer bucles ni generar interferencias [6].

La mayoría de los componentes se escogieron tipo SMD con un encapsulado de 0805 (componentes del BNO055) o 1206 (resto de componentes), para que pudiera aprovecharse más el espacio que con los componentes tipo THD.

Con la idea de aprovechar el espacio, se colocó el módulo de Adafruit en la cara contraria a la del BNO055 y sus componentes, de forma superpuesta.

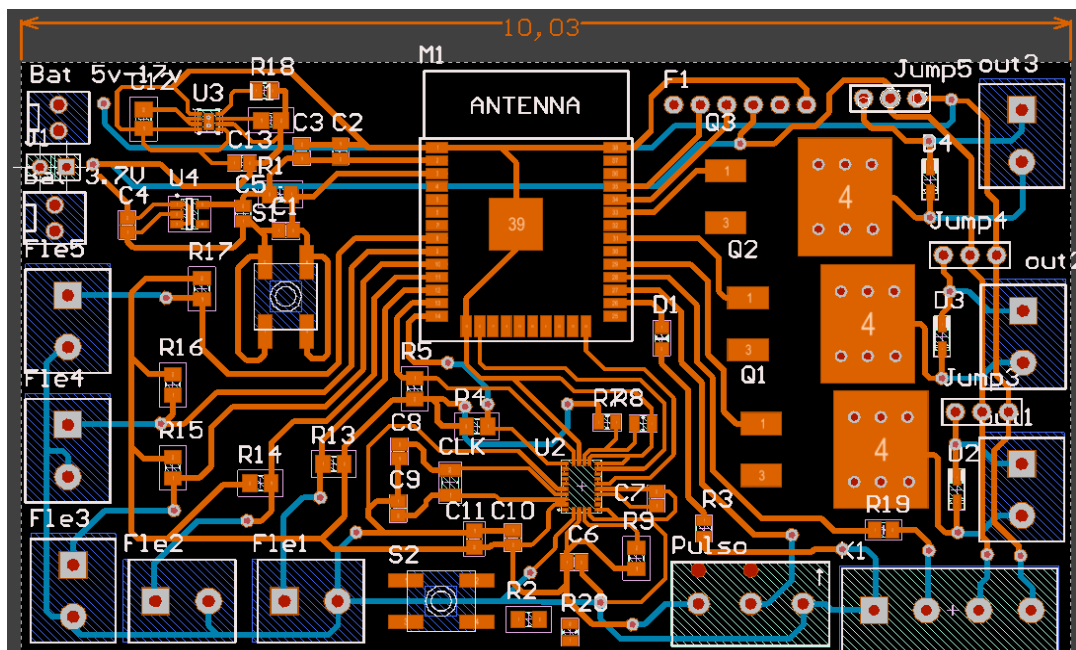


Figura 2.22: Primer ruteo del prototipo realizado con CircuitMaker

Estando a punto de finalizar el ruteo del prototipo, las medidas eran de 10 cm x 5.7 cm y se observó que este no era tan pequeño como se deseaba para que fuera portable por la bailarina, por ello se decidió dividir los componentes entre la cara top y bottom. La cara contraria a la antena debía estar vacía para no generar ruido e interferencias y alejada de los conmutadores.

Pese a esta nueva disposición el tamaño no era el requerido, por ello se realizaron los cambios en los componentes mencionados en el punto anterior. Se volvieron a distribuir los bloques quedando de la siguiente manera:

DISEÑO FINAL: BLOQUES FUNCIONALES

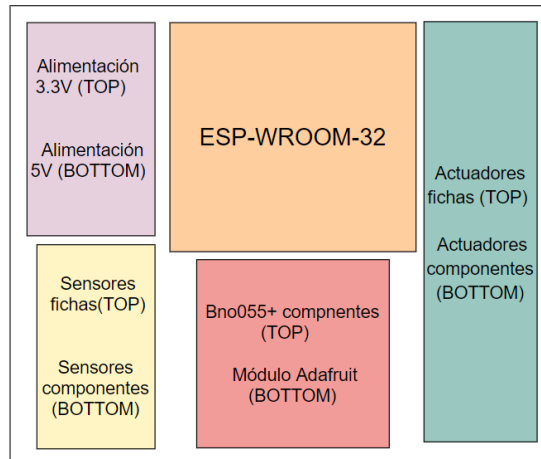


Figura 2.23: Bloques funcionales finales

Gracias a esto la placa finalmente obtuvo un tamaño de 5.2 cm x 6.7 cm, sin añadir los planos de masa para ofrecer una mejor visibilidad de los componentes. Quedó finalmente de la siguiente manera:

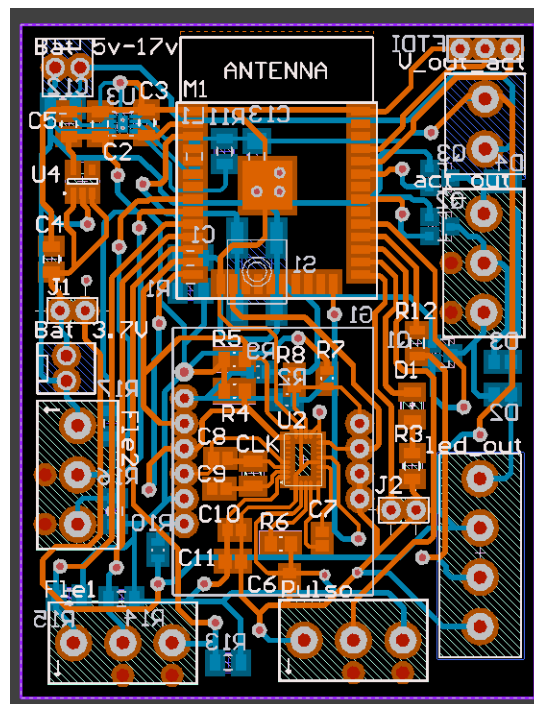
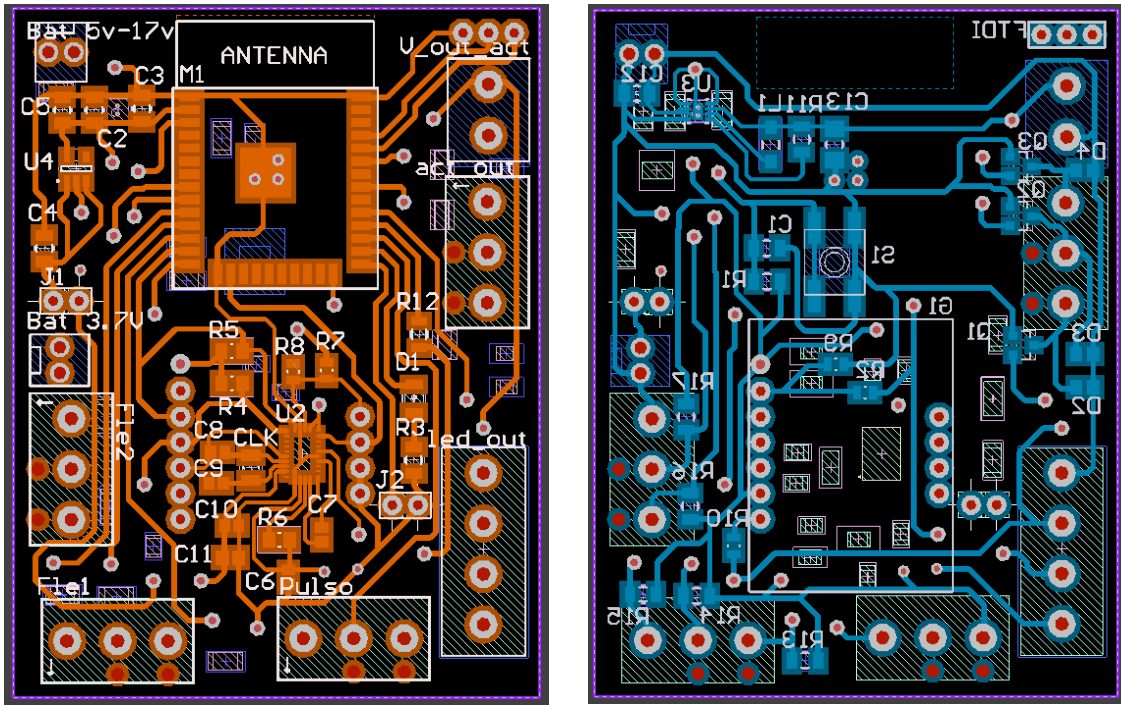


Figura 2.24: Ruteo completo sin planos de masa realizado con CircuitMaker



(a)

(b)

Figura 2.25: (a) Ruteo cara TOP / (b) Ruteo cara BOTTOM

Quedando finalmente con los planos de masa de la siguiente manera:

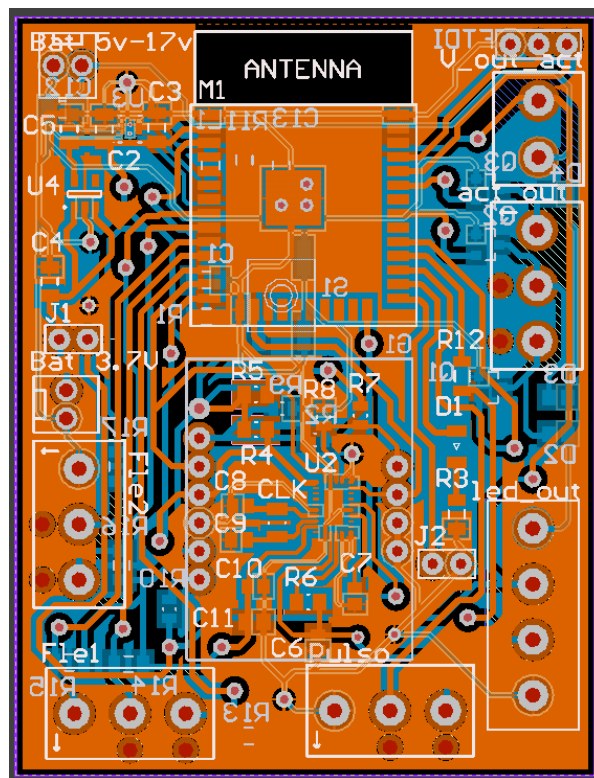
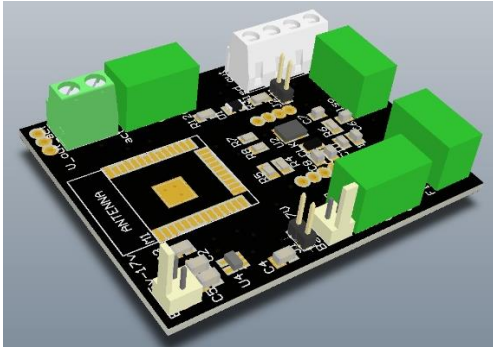
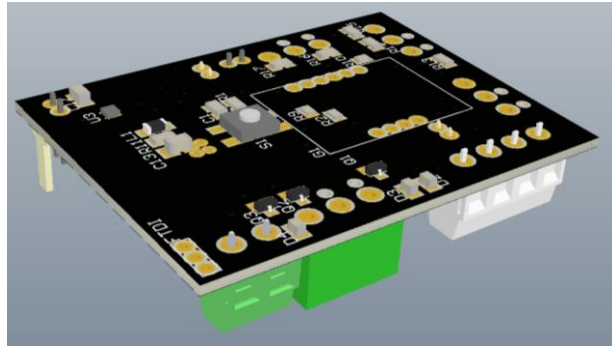


Figura 2.26: Ruteo completo con planos de masa realizado con CircuitMaker



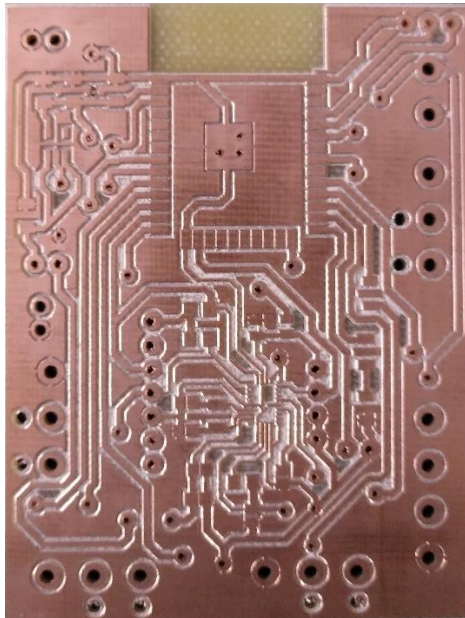
(a)



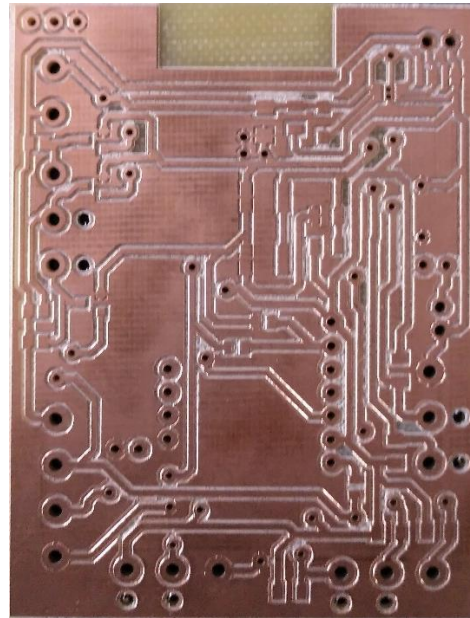
(b)

Figura 2.27: (a) Visionado 3D de la cara TOP / (b) Visionado 3D de la cara BOTTOM

Se fabricó una unidad en el taller del departamento de electrónica, quedando de la siguiente manera:



(a)



(b)

Figura 2.28: (a) Cara TOP placa fabricada / (b) Cara BOTTOM placa fabricada

En el Anexo 3 podemos encontrar prints del esquemático y de la placa para una mejor visualización.

## 3 Colaboración electrónica

Desde el comienzo del TFG hasta su final, ha habido un canal constante de comunicación abierto entre la bailarina, el departamento de Etopia y el de electrónica. En esta sección de la memoria se desarrolla sobre colaboración de forma más detallada y sobre la intervención que se realiza para presentar el festival de Trayectos.

### 3.1 Desarrollo de la colaboración

En primer lugar, comienza la comunicación con Etopia. El departamento de danza selecciona a la danesa Manon Siv como bailarina para gozar de una residencia de trabajo en Etopia que tenga como resultado una actuación en el festival de danza Trayectos de Zaragoza a finales de junio. Durante el tiempo que ella estuvo fuera de España, a espera de realizar una reunión, se investiga sobre su baile, sus movimientos y sus formas de expresarse para, a partir de ello buscar sensores y actuadores con los que ella pudiera interactuar.

Este reflexivo apunte de su canal de YouTube refleja su constante evolución como artista y su interés por investigar nuevos movimientos y nuevas disciplinas:

‘Animal instinct is an ongoing movement research. The hardcore of this practice is to gain freedom in motion. By moving away from any ideology, style or form, we can reexamine our physical abilities with fresh eyes. The work refers to information from various movement disciplines (functional anatomy and biomechanics, martial arts, somatic practices, contemporary dance & C.I.) and offers a wide spectrum of tools to study our body, to understand movement and communicate physically. The work consists solo, partner and group drills/scores. It is a never-ending study of the possibilities that occurs in dynamic improvisations. A road for self empowerment through physical exploration’ [7].

Se realiza una primera reunión con Etopia (sin Manon) para conocernos los departamentos, reunión en la que la representante del festival (Alba Lorca) explica la trayectoria de Manon y su baile altamente creativo, lo que aporta mayor grado artístico al proyecto frente a la matemática inicial con la que se planteó.

Tras ver un ensayo (boceto) de lo que ella estaba creando para el festival de danza Trayectos, se sacan diferentes conclusiones respecto a la parte electrónica:

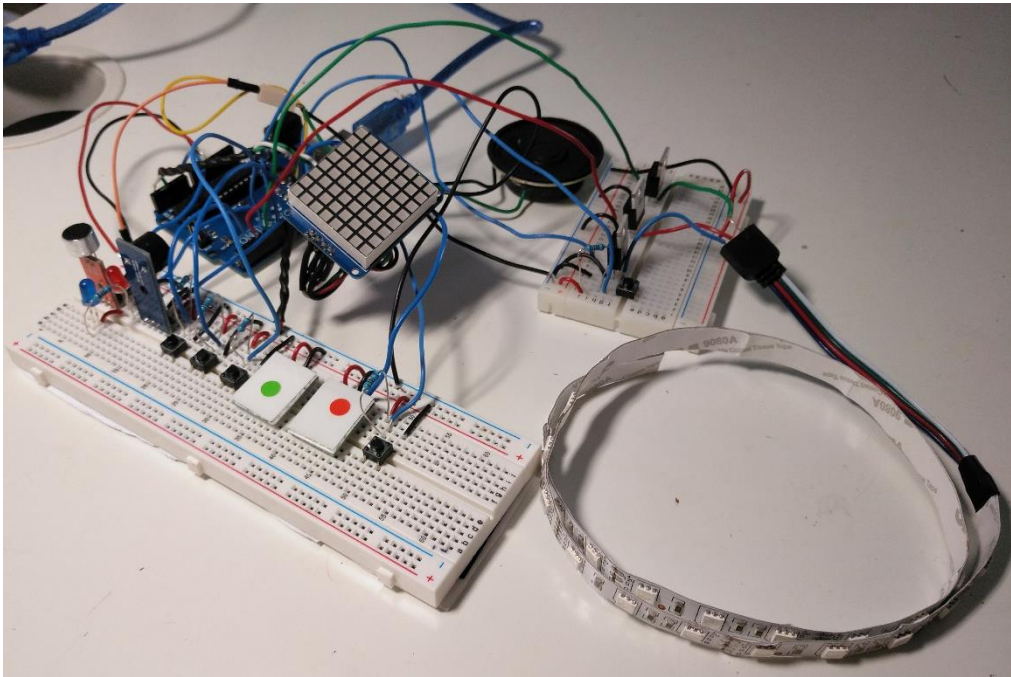
- Sus movimientos son rápidos, aparentemente desordenados e imprecisos, lo cual dificulta el poder sensorizarlos. Además, el prototipo, en caso de estar sobre ella, debe de ser pequeño y ligero.
- En su ensayo hay una proyección y una modulación de las luces ambientes, por lo que una opción sería automatizarlas. Se podrían utilizar más luces y sonido.



-Grita y habla en directo, por lo que se pueden filtrar esos sonidos para accionar actuadores.

-Se golpea la pierna durante la actuación, por lo que puede ser interesante usar un accionador a partir de ese impulso.

La primera interacción con Manon es por Skype, ya que ella no estaba en España todavía. Ella había explorado poco en lo que respecta a la electrónica, así que se prepara una 'presentación electrónica' con los actuadores y sensores que, tras la investigación y las conclusiones anteriores, se decide que pueden encajar mejor con su baile.



*Figura 3.1: Montaje realizado para Manon, 'presentación electrónica'*

El muestrario se programa con un módulo de Arduino Uno debido a su sencillo manejo, programación y su gran almacén de librerías. Se programa con su entorno de desarrollo.

El código se encuentra en el Anexo 4. Los componentes mostrados son los siguientes:

- Micrófono Max9812

Se introduce con la idea de detectar los gritos de la bailarina al principio de la actuación. Se utiliza un módulo analógico que integra el sensor y que está alimentado a 5 V.



*Figura 3.2: Módulo Max9812*

Por lo que respecta a su programación, hay que mencionar que la señal obtenida por el módulo es variante, por ello, no podemos trabajar con las señales que llegan de forma individual, sino que hay que establecer una ventana temporal. Esa ventana se establece de 50 ms, en este periodo de tiempo se van tomando y actualizando los valores máximos y mínimos que ofrece el sensor, siendo el 0 el máximo valor posible y el 1024 el menor de ellos. Posteriormente se realiza una conversión de esta amplitud a un parámetro llamado voltios el cual se emplea para detectar tanto un grito como un chasquido de dedos [8].

Con la idea de familiarizar al máximo a la bailarina con la electrónica y de que pueda ver las diferentes opciones, se introduce un pulsador: en caso de que no se pulse, cuando el módulo detecte una incidencia encenderá 2 LED de colores (rojo y azul) dispuestos en serie con una resistencia de 1 kOhm; en caso de estar pulsado se activa un zumbador que emite un sonido proporcional al tiempo que dura la incidencia.

- Matriz de LED 8x8

Actuador digital, alimentado a 5 V, es un elemento fácilmente portable por la bailarina y que ofrece diversos efectos luminosos, estos pueden ser tanto abstractos como dibujos o letras.

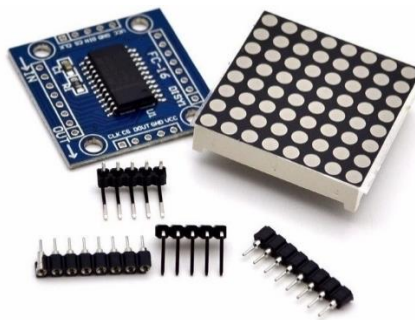


Figura 3.3: Módulo Matriz Led 8x8

Como se emplea el módulo completo, se utilizan las bibliotecas que incluye Arduino para facilitar su programación y así se puede mostrar una secuencia de diferentes efectos cuando se presione un pulsador.

- Altavoz

Se integra con la idea de programar sonidos para generar confusión en el público. Se elige de pequeño tamaño para que sea portable y que se pueda esconder en el escenario o entre el público. Se activa con un pulsador.



Figura 3.4: Altavoz portable

Para su programación basta con determinar el puerto de salida, la frecuencia y la duración de cada uno de los sonidos, para así poder crear con facilidad una secuencia.

- Zumbador programable

Incluido en un módulo de Arduino para facilitar su programación. Tras ser activado por un pulsador, comienza una secuencia de notas caóticas acorde al ensayo de la bailarina.



Figura 3.5: Módulo Buzzer programable

Al igual que en el caso del altavoz, basta con determinar el puerto, las frecuencias y duración de los sonidos para generar la secuencia.

- Botones LED capacitivos

Como la bailarina se golpea en la pierna en diversos momentos de la actuación, surgió la idea de emplear estos pulsadores para activar posteriormente un actuador.

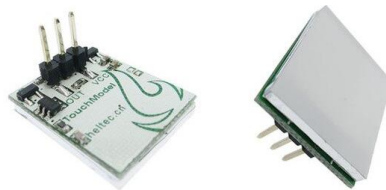


Figura 3.6: Botón LED capacitivo

Se iluminan cada uno de un color y son muy precisos. En la presentación electrónica (figura 3.1) uno de ellos solo actúa de efecto luminoso y el otro activa un zumbador. Esto se hizo con la idea de que la bailarina entendiera que los componentes son versátiles y cómo un mismo componente programado de otra forma puede hacer cosas diferentes.

- Tiras LED RGB

La tira LED es de tipo RGB no direccionables, por lo tanto, se controla con tres salidas mediante tres transistores que habilitan el camino a la masa.

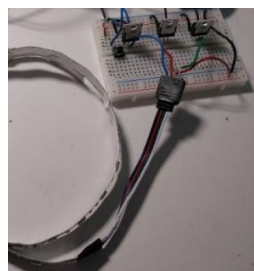


Figura 3.7: Montaje tira LED con tres transistores

Para ello, en primer lugar se eligió que el transistor fuera de tipo MOSFET para minimizar las pérdidas: se selecciona el IRFZ34N. Este cumple los requisitos necesarios y está disponible en el laboratorio; posee una buena relación tensión de puerta-corriente colector. Una vez realizado el montaje se programa para que muestre diversos colores en una secuencia.

A medida que se va avanzando en el proyecto, descartamos de entre los componentes la matriz de LED y el altavoz. Centrando nuestro interés principalmente en las tiras LED y los zumbadores.

La primera reunión presencial con Manon se concierta en Etopia, lugar donde se realizaron los encuentros posteriores de forma constante. En suma, se establecen las bases sobre la colaboración y se comienzan a acercar los lenguajes de la danza y la electrónica. Se le presenta el prototipo que se va a desarrollar (el explicado en el punto 2 de la Memoria) para empezar a darle forma al proyecto, pero principalmente se habla de su forma de expresarse y su baile.

Pasados unos días, se realiza otra reunión para mostrarle los componentes en persona y que así se familiarice más con ellos. Se llevan los componentes mencionados anteriormente eliminando los descartados y añadiendo los siguientes:

- Diferentes tipos de zumbadores para probar su sonido y crear una secuencia con todos ellos lo más caótica posible.

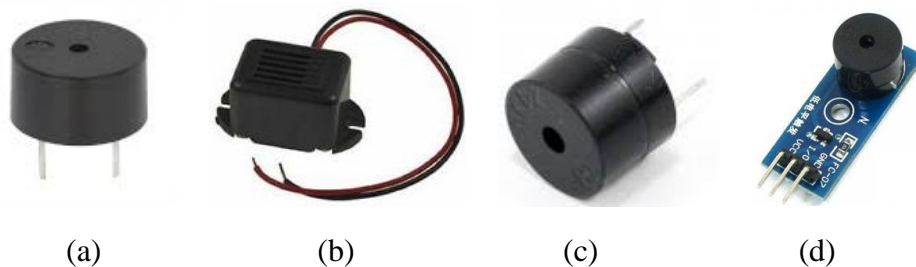


Figura 3.8: (a) Zumbador pasivo 5 V / (b) Zumbador electromecánico / (c) Zumbador 3 V-12 V / (d) Zumbador activo

Hay tanto un zumbador activo, que se programa haciendo una secuencia de sonidos, como varios pasivos, los cuales emiten el mismo sonido para la misma tensión de alimentación.

- Tiras LED, pero esta vez direccionables y activadas mediante sensor de presencia.

Las tiras direccionables poseen un chip cada tres LED que permiten el uso de estos de forma independiente al resto de la tira, gracias a ello se pueden lograr muchos más efectos luminosos. Además, como es una tira digital, no precisa de los tres transistores, basta con una salida digital para su programación, lo cual simplifica el montaje.

Por lo que respecta al sensor de presencia, emite una luz infrarroja, de modo que cuando el fototransistor que posee detecta un cambio en la luz activa una señal. De esta forma la bailarina podría activar un actuador sin la necesidad de presionar un botón. En la figura 3.9 podemos ver su conexión al módulo de Arduino Uno.

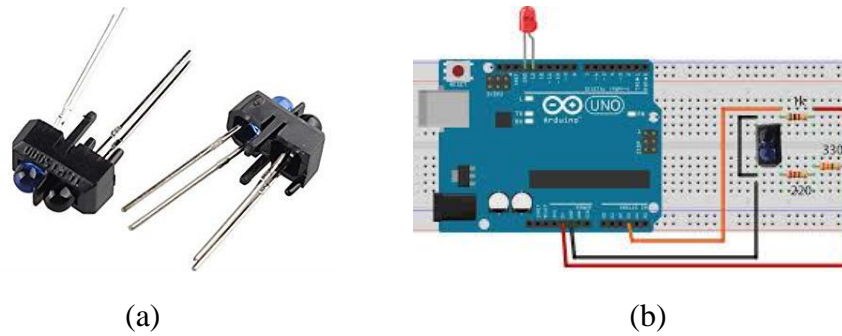


Figura 3.9: (a) Sensor infrarrojo TCRT5000 / (b) Conexión sensor TCRT5000 con módulo Arduino Uno

Se crean dos secuencias activadas por diferentes sensores de presencia donde se muestra la independencia de los LED de la tira y la variedad de colores que puede lograrse mediante su programación. Se reutilizan los trajes empleados por Etopia el año anterior en Trayectos. En el Anexo 4 se encuentra la programación de esta presentación.

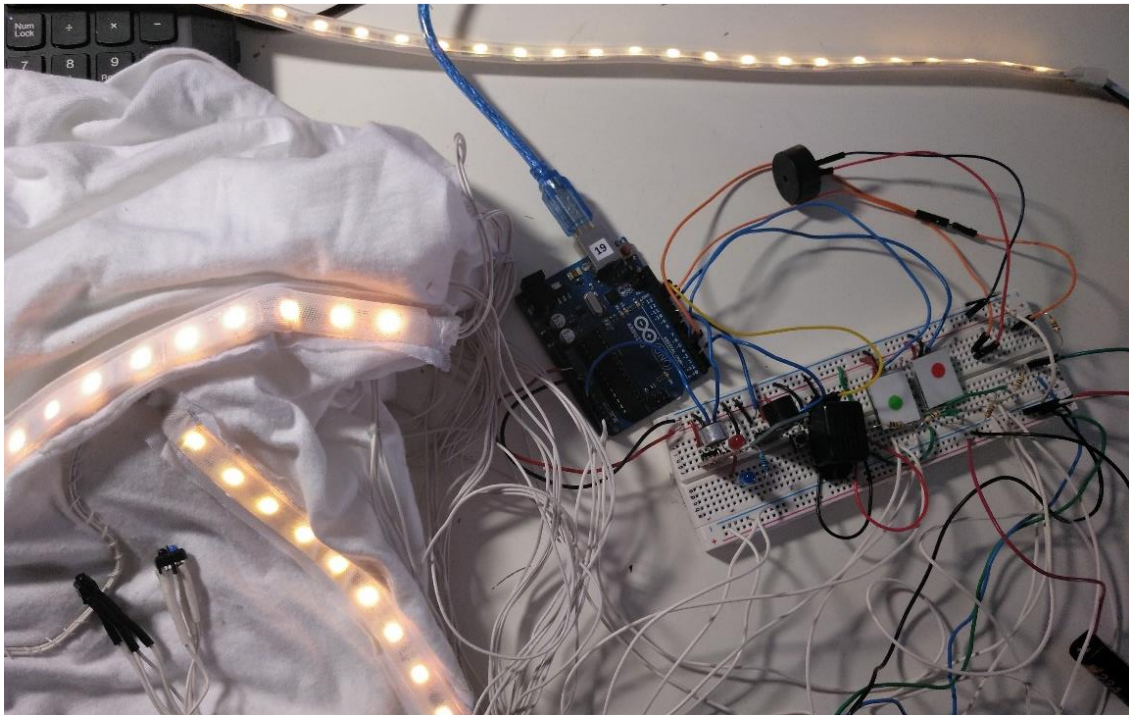


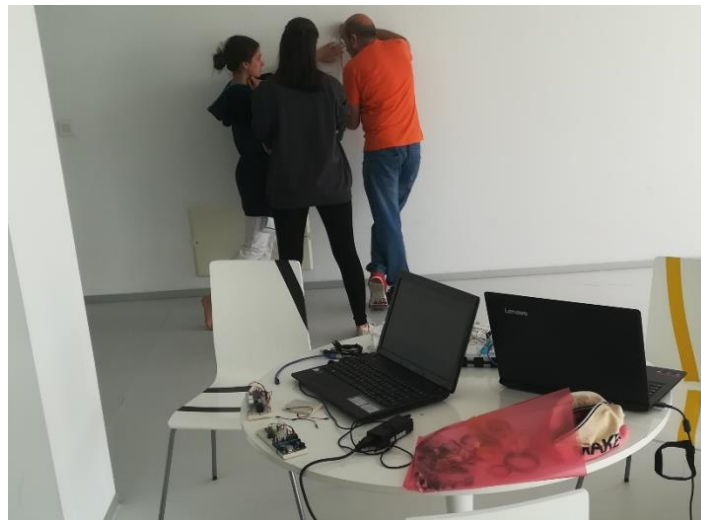
Figura 3.10: Nuevo montaje presentado a la bailarina

En estas dos ocasiones nos acompaña Francesco Ferrati, quien se encargará del Firmware del prototipo una vez que esté diseñado e implementado el hardware. Además, Ferrati le muestra a la bailarina el funcionamiento de un sensor de movimientos y de un ultrasonido.

Una vez que la bailarina ya está más relacionada con el mundo de la electrónica, trabajamos sobre nuevas ideas relacionadas con los componentes anteriores para ponerlas en práctica en el festival de danza:

- Interacción con la proyección mediante pulsadores o secuencias. Proyectar de forma aleatoria imágenes junto a sonidos, todo ello de forma estridente ya que al principio de la obra se trabaja el caos.

- Cuando se golpea en la pierna detectar el movimiento y activar un zumbador en el escenario o entre el público.
- Con el acelerómetro medir la intensidad del momento con luces o sonidos y así generar tensión en el espectador.
- Interacción con el suelo y paredes para encender tiras LED verticales en el escenario y entre el público de forma aleatoria.
- Sensorizar los movimientos de sus brazos o piernas con el fin de producir luces o sonidos.
- En la parte final de la actuación, cuando realiza la técnica de suspensión capilar, detectar su distancia con el suelo para activar un foco que portará en la ropa con la idea de sugerir tranquilidad al final de la obra.
- En los últimos segundos de la obra, mediante un sensor de presencia, activar un zumbador con un sonido limpio para realzar esa idea de serenidad.



*Figura 3.11: Grupo de trabajo– empezando por la izquierda-: Manon Siv (bailarina), Claudia Gonzalo (estudiante de electrónica) y Chema López (profesor de electrónica, Unizar)*

Hay que destacar que durante este proceso se nota mucho la diferencia de lenguajes y el desconocimiento de la bailarina sobre la electrónica, ya que aporta ideas no aplicables dentro de este campo, lo que ralentiza el proceso. Hay una constante comunicación para agilizar lo máximo este proyecto.

## 3.2 Exhibición: presentación de Trayectos

Durante el proceso de diseñar el prototipo principal y, después de lo mencionado en el punto 3.1 de la Memoria, surge la necesidad de hacer una exhibición o ensayo abierto a finales del mes de abril. Este acontecimiento supone una paralización temporal del diseño.

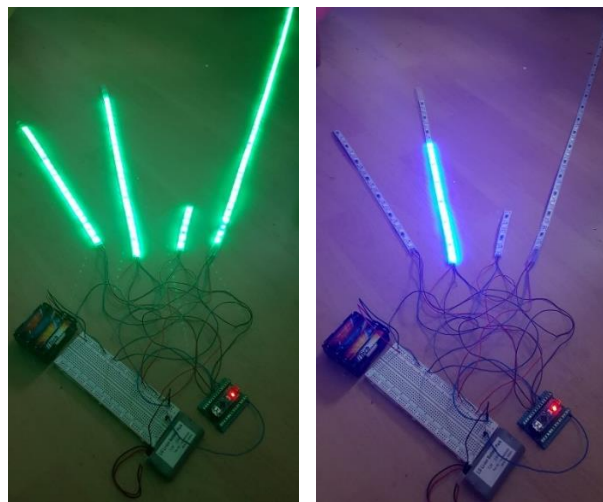
Como consecuencia, se amplía el número de reuniones y la carga de trabajo ya que inicialmente no se tenía previsto la realización de esta exhibición a mitad del proceso y

el prototipo principal no estaba totalmente desarrollado. Por tanto, se realiza con el entorno y hardware de Arduino unos pequeños prototipos para esta exhibición.

Tras varias reuniones descartando y añadiendo ideas, seleccionamos tres de ellas, su programación se encuentra en el Anexo 4:

- Tiras LED en la pared

Se acuerda utilizar cuatro tiras LED direccionables de tamaños diferentes para que realicen una secuencia al ser activadas por un pulsador, estas se disponen verticalmente en la pared del auditorio de Etopia. Se programa una secuencia de diferentes colores usando los LED de forma independiente. Se emplea el Arduino Nano y se alimenta con una batería Li-ion de 7.4 V, mientras que las luces se alimentan con un porta-pilas de 12 V.



(a)

(b)

*Figura 3.12: (a) Secuencia tiras LED color verde / (b) Secuencia tiras LED color blanco*

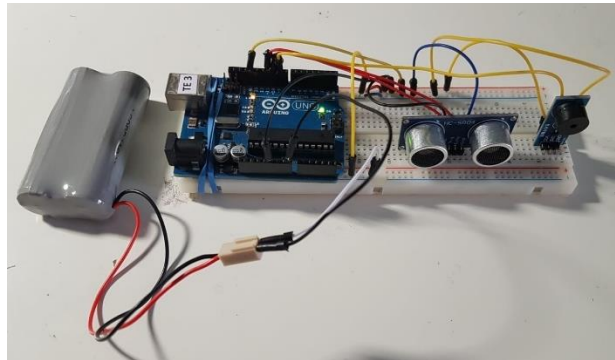
Tras otra reunión, se determina que finalmente se situaran solo dos tiras lo más largas posibles (se sueldan todas de las que disponíamos en dos tiras), para que estas generaran sensación de agobio y claustrofobia por estar en un espacio pequeño. Se programan dos secuencias activadas con el mismo pulsador. Se visita el auditorio para ver cuál sería la colocación óptima y se decide esconder la electrónica debajo del escenario, mediante unas baldosas móviles, y el pulsador se oculta en la pared.



*Figura 3.13: Manon Siv probando la electrónica en el auditorio de Etopia*

- **Sensor ultrasonidos con zumbador**

Con un Arduino Uno y un sensor de ultrasonidos se detecta la presencia de la bailarina a una distancia menor de 20 cm. Este sensor emite ultrasonidos y mide cuanto tiempo tardan en regresar, si algún objeto se interpone entre estos, los refleja y el sensor genera una señal eléctrica que es tratada. Se coge el valor de esta señal y se compara con la referencia de 20 cm: cuando eso ocurre se activa el zumbador.



*Figura 3.14: Montaje que incluye el sensor de ultrasonidos para la actuación*

En el momento en el que se detecte su presencia, debe sonar un zumbador durante 8 segundos. Se decide colocar el circuito escondido detrás de una rampa en el auditorio para extrañar y confundir al público.



*Figura 3.15: Circuito que incluye el sensor de ultrasonidos colocado para la actuación*

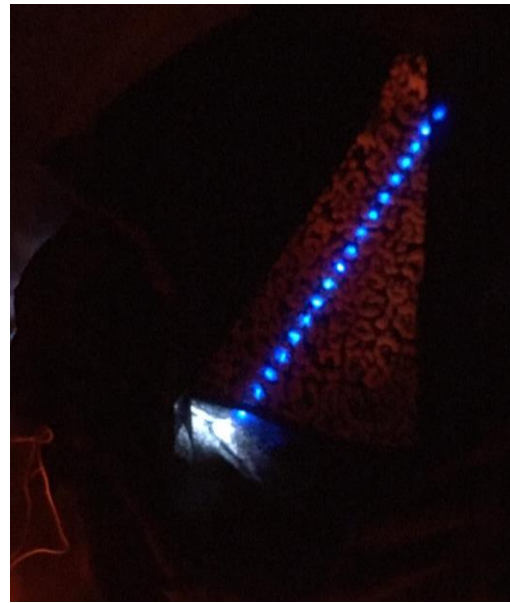
- **Tira LED con sensor de pulso, circuito portable**

La bailarina quiere medir en tiempo real su pulso cardiaco y mediante luces LED indicarlo, todo esto de forma portable por dentro de su ropa. En primer lugar, se comprueba si las tiras se podían ver desde lejos al incluirlas debajo del vestuario.





(a)



(b)

Figura 3.16: (a) Manon Siv realizando pruebas para la colocación de la electrónica / (b) Tira LED colocada debajo del vestuario

Una vez verificado esto, se emplea el sensor de pulso de Arduino y se implementa un programa para medir el pulso y proyectarlo en tiempo real sobre un led (este led parpadea a la vez que el pulso). Se emplean las librerías que incluye Arduino de este sensor para facilitar su programación.

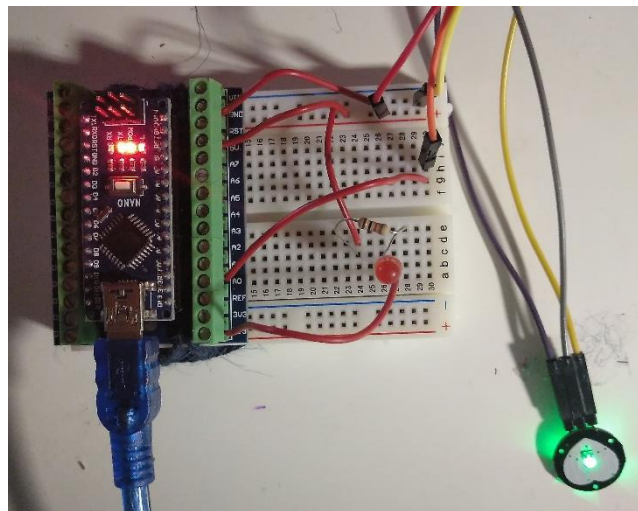


Figura 3.17: Circuito medidor de pulso

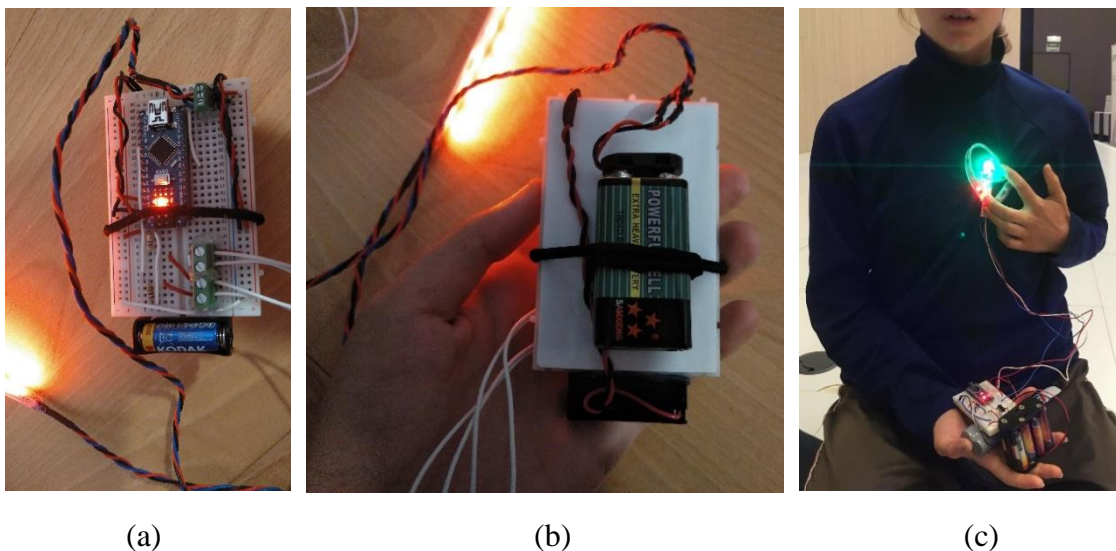
El problema reside en que no hay forma de sostener el prototipo porque se implementa sobre una protoboard y no da tiempo a fabricar una PCB para asegurar la sujeción. El sensor tiene que estar en el dedo y no moverse para ser eficiente, pero no encontramos modo de sujetarlo. Además, tras diversas pruebas, nos damos cuenta de que no se obtiene el resultado requerido, ya que el final de la obra tiene que transmitir tranquilidad y eso no se consigue transmitir al público porque las pulsaciones son altas tras la exhaustiva

actuación. Por lo tanto, se descarta esta idea y se pasa a usar una tira LED cosida en la ropa que se active con un sensor de presencia.

Se emplea una protoboard de pequeño tamaño y el Arduino Nano. Se programan cinco secuencias que muestran los diferentes estados de la actuación mediante la variación de luces y de colores, además se determinan los tiempos de estas:

- La tira se ilumina entera de color blanco durante un minuto, la intención es generar intriga en el espectador y que este piense que se trata de una luz normal no cambiante.
- La tira se ilumina de tres en tres luces de forma acumulada y consecutiva en color rojo, con esto la bailarina quiere encontrar el asombro del espectador por el cambio de color y representar como su corazón poco a poco se va encendiendo.
- La tira se enciende de forma completa en color rojo y posteriormente se apaga. Esto se realiza durante un minuto y quiere representar el latido de su corazón de forma constante.
- La tira empieza una secuencia caótica con muchos colores que se encienden de forma independiente y desordenada durante un minuto. Esto es accionado en el momento de mayor intensidad de la actuación y ayuda a crear un desorden acorde al conjunto.
- La tira se enciende nuevamente entera de color blanco hasta finalizar la actuación, durante tres minutos. En la última parte de la pieza se quiere transmitir la tranquilidad que ofrece el mar, esto ayuda a generar serenidad a la vez que cierra un ciclo ya que de esta forma comienza la actuación.

Cada secuencia es activada mediante un mismo pulsador, al finalizar cada una de estas la tira LED se apaga hasta volver a ser pulsado.



*Figura 3.18: (a) Parte delantera del circuito portable / (b) Parte trasera del circuito portable / (c) Manon Siv probando el circuito portable*

De cara a la actuación se introduce la electrónica en un bolsillo para no dañar la ropa ni a la bailarina.

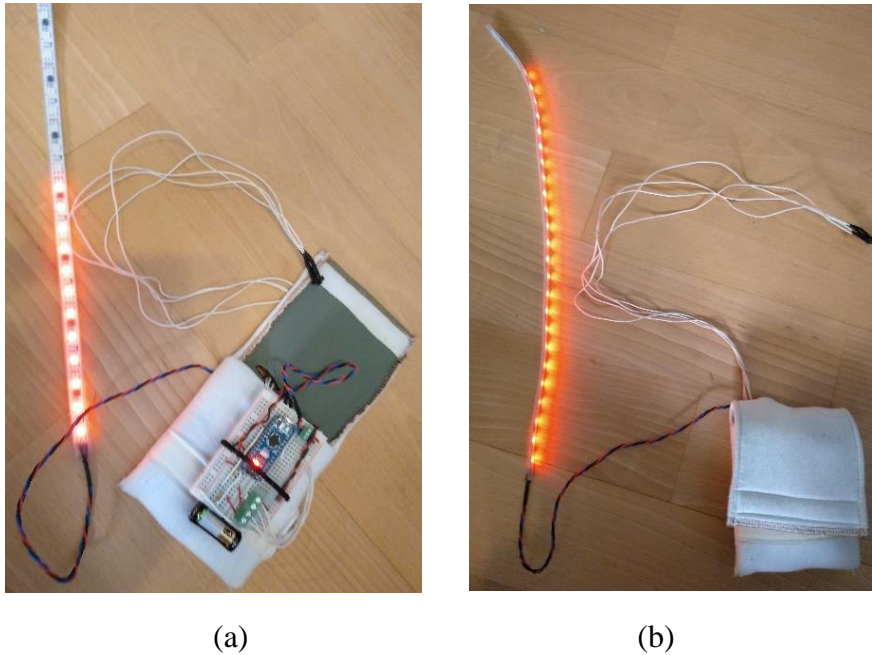
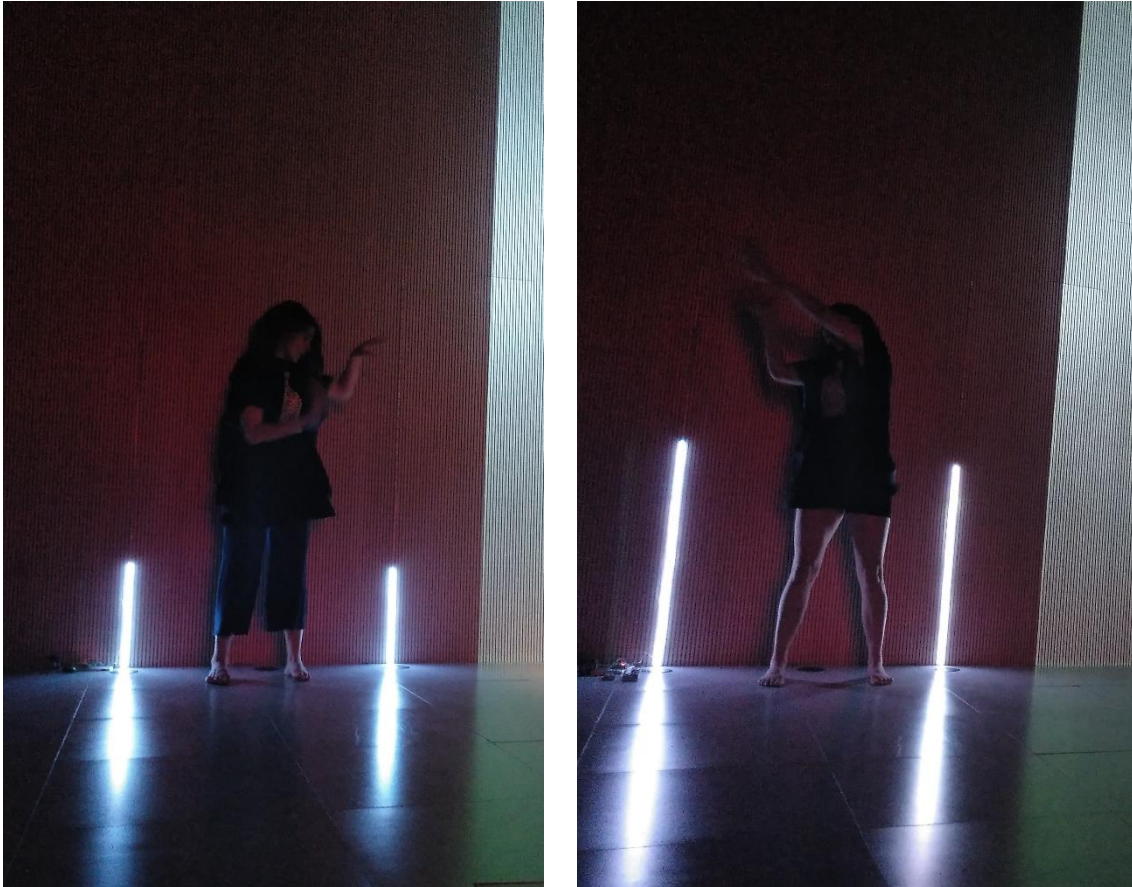


Figura 3.19: (a) Circuito portable fuera del bolsillo / (b) Circuito portable dentro del bolsillo

Finalmente, en la última reunión antes de la exhibición, se elimina una de las secuencias de las tiras de la pared, quedando solo una que se activa mediante un pulsador. También se modifica el tiempo de dicha secuencia. Las dos tiras paralelas van encendiendo los LED de forma independiente (de tres en tres) y sucesiva (sin apagarse los que ya lucen), todo en color blanco y con la idea de generar una columna de caos que sube cerrando el espacio y creando angustia. La bailarina y su asesor deciden que la electrónica esté a la vista, por lo que se mueve la placa del sensor de ultrasonidos cerca de las tiras de la pared con la idea de generar un espacio visible también para la tecnología, así ambos actuadores se encenderán a la vez y se modifican los tiempos para que acaben simultáneamente. Se plantea unir las dos placas, pero no daba tiempo de las modificaciones necesarias a escasas horas de la exhibición.

Por lo que respecta a la tira de LED portable, cuando se procede a su implementación nos damos cuenta de que el sensor de presencia se activa continuamente por el roce con el vestido. Esto supone sustituirlo por un pulsador y se cambia la programación a una sola secuencia en color blanco para que la bailarina la active al final de la obra y así contribuir a expresar esa serenidad con la proyección del mar.

Durante la actuación, el circuito de los ultrasonidos y de las tiras LED de la pared funcionan de forma correcta tal y como se ha ensayado. Por el contrario, la tira LED portable, que en los ensayos había funcionado sin problema, no se activa ya que al moverse tanto la bailarina se desconecta la pila, quedándose sin alimentación el circuito. Esto ocurre debido a que la sujeción a su ropa no es la óptima al no estar disponible el sastre. Debemos recordar que no hay tiempo para realizarlo sobre una PCB impresa, por lo que se improvisa dicha sujeción.



(a)

(b)

*Figura 3.20: (a y b) Interacción entre electrónica y baile durante la actuación*

Tras la actuación, se realiza un coloquio en el que se desarrolla un feedback entre el público y los colaboradores del proyecto. Las impresiones generales son positivas, poniéndose de manifiesto que la electrónica ha ayudado a entender mejor lo que quiere expresar la bailarina, pero, sobre todo, se destaca el desconcierto generado por no haber presenciado anteriormente algo similar a lo expuesto aquella tarde: se prima la originalidad e innovación. Además, todos se mostraron muy interesados tanto por la unión de estas dos modalidades (electrónica y danza) como por la colaboración que se realizará entre el departamento de ingeniería de Unizar y festival Trayectos. Por su parte, Manon, queda muy contenta con la electrónica y con ganas de incluir el prototipo final que se está diseñando para el festival.

## 4 Actuación Festival Trayectos

Después de la exhibición realizada con Manon Siv recibimos la triste noticia de que, por motivos personales ajenos al proyecto, ella no participaría en el festival de danza. Este acontecimiento supone un duro revés para todo el equipo de colaboración a escasas semanas de la fecha límite: Trayectos. Tras un periodo de incertidumbre sobre la colaboración final, se crea un nuevo grupo de trabajo de cara al festival integrando a una nueva bailarina: Raquel Buil.

La temática de este año de Trayectos exige una colaboración a largo plazo, pero el nuevo grupo se forma a un mes del festival, por lo tanto, la dirección decide que se puede participar en formato de video. Esto conlleva adelantar los tiempos de electrónica y danza, ya que el video se grabaría necesariamente con un cierto tiempo antes del festival.

El principal problema radica en el poco tiempo del que disponemos hasta la grabación, cabe recordar que el proceso de enseñanza a la bailarina sobre electrónica había durado bastante en el caso anterior, con Manon. Por suerte, Raquel ya había realizado otras colaboraciones con electrónica, lo que facilitó la agilidad en todo el proceso. Además, hay que buscar una idea que integre el sensor de movimientos y el wifi.

Después de varias reuniones se decide que la colaboración consistirá en la interacción entre electrónica, música y danza. Los integrantes de este nuevo grupo de colaboración son: la bailarina Raquel Buil, el profesor de clave y organista Jesús Gonzalo y la estudiante de ingeniería electrónica y antigua estudiante de violín Claudia Gonzalo.



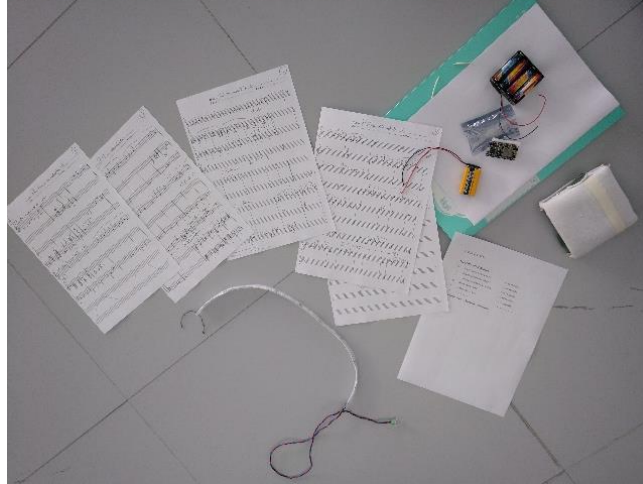
*Figura 4.1: Nuevo equipo de colaboración de cara al festival Trayectos*

### 4.1 Música y danza

Con la colaboración de Jesús Gonzalo, músico profesional, se compone una pieza para violín y clave en la que se marcan y evidencian con claridad los tiempos de ambos instrumentos para así, obtener el mayor partido a la electrónica y danza.

La obra presenta un leitmotiv que se sucede con diferentes variaciones de tempo y de armonía, de forma que al principio es más lenta y alterna de forma separada a los dos instrumentos, mientras que la parte final es más rápida y con ambos instrumentos juntos.

Posteriormente a su composición, se le entregan y explican las partituras a la bailarina para que pueda expresar al máximo la colaboración. Además, se le explica los componentes electrónicos disponibles de cara al festival para que se familiarice con su tamaño.



*Figura 4.2: Partitura de la pieza con componentes electrónicos*

Por lo que respecta a la danza, la bailarina quiere incluir una tira led que se ilumine de forma completa, en una de sus articulaciones, cuando el violín suene. Tras escuchar y preparar la pieza, decide que se la colocará en la muñeca ya que así puede jugar con el movimiento mientras se enciende y se apaga. La bailarina decide usar el color azul para los LED debido a la iluminación de las instalaciones donde se realizará la grabación.

## 4.2 Electrónica

El prototipo mencionado en capítulos anteriores se está fabricando en una empresa externa. Mientras tanto, en el laboratorio del departamento de electrónica, se fabrica una placa. Por desgracia, los componentes no iban a llegar para la actuación, porque, como se ha comentado anteriormente, se han adelantado los tiempos. Fue necesario idear un plan alternativo, un plan 'B'.

Gracias a la colaboración del estudiante Francesco Ferrati se diseña una placa que incluye:

- El módulo Nodemcu ESP32, ya que emplea el ESP32 -WROOM-32, el cual está incluido en el diseño inicial del prototipo y contiene la comunicación wifi.



*Figura 4.3: Módulo wifi ESP32 Nodemcu*

- El sensor de movimientos MPU-9265, porque hay unidades disponibles en el laboratorio y ya hemos trabajado con él: es poco preciso y ocupa poco espacio.
- Una salida analógica.
- Tres salidas de propósito general.
- Una salida digital para una tira LED direccionable.

Por lo que respecta a la alimentación se emplea el regulador TR10S05, para reducir la tensión de entrada de un rango entre 8 V-28 V a 5 V y así poder alimentar el módulo Nodemcu ESP32. Las salidas están alimentadas con la VCC de entrada para así darle una mayor versatilidad a la placa. De esta forma la tira de LED, por ejemplo, podríamos alimentarla a su correspondiente tensión de entrada dependiendo de cual empleáramos.

En el laboratorio se están fabricando varias de estas placas, pero finalmente la grabación se adelanta otra vez (se necesita más tiempo entre la grabación y la proyección, para el montaje del vídeo) por lo que los componentes no llegan para la actuación. Finalmente, para poder solucionar esto, se emplea el Nodemcu ESP8266 y el MPU-9265, ya que hay existencias en el laboratorio, y se readapta la placa para portar los componentes con algunas modificaciones, ya que los pines no coincidían al cambiar el módulo Nodemcu.



(a)



(b)

Figura 4.4: (a) Soldado de las placas / (b) Placas fabricadas en el departamento de electrónica

Se realiza el diseño, de forma experimental, para la sensorización de dos instrumentos por lo que se realizaron dos circuitos, uno para el violín y otro para el clave. Se programaron y funcionaron, pero pasado un tiempo se generaban interferencias entre ellos y se desconectaban por lo que para la actuación se decidió sensorizar solo el violín.

A continuación, se explica, para el caso el violín, los circuitos realizados.

## 4.2.1 Firmware circuito receptor

Empleamos el módulo Nodemcu ESP82666. Este es capaz de generar una red wifi, por ello, una vez incluidas en su programación las librerías necesarias, lo definimos como servidor y establecemos sus parámetros (nombre de la red, contraseña, IP, gateway y subnet). Este servidor se conectará a la URL dada en la IP para acceder a datos que se suban en tiempo real y así poder tratarlos. Se programa la ruta de acceso a dicha URL y se define e inicializa la tira LED de uno de sus pines digitales establecido como salida.

En el loop del programa se actualiza constantemente la URL y se accede al último valor almacenado en esta. Estos valores se corresponden con la aceleración en el eje 'x' del sensor de movimientos del circuito sensorizador del violín, que incluye un módulo Nodemcu ESP82666 que se programa para tener acceso a la misma URL.

Cuando el valor del último dato sea de 2.0 o superior, la tira LED se encenderá representando así que se ha recogido un movimiento en el eje 'x' del circuito sensorizador del violín. En caso de ser menor o erróneo se mantendrá apagada. La tira se programa para que sea de color azul, correspondiéndose con unos valores de (0,255,0) de RGB. En la figura 4.5 se encuentra el diagrama de flujo que explica el funcionamiento de este circuito.

Conforme se empiezan a realizar las diferentes pruebas para ver su efectividad encontramos un delay de 3 segundos entre que el sensor sube a la página un valor y el circuito receptor puede analizarlo. Necesitamos que nuestra aplicación sea en tiempo real ya que la música es muy cambiante, por ello se limpia el código lo máximo posible y con esto se consigue que la sensorización y la tira led trabajen al mismo tiempo. Ese valor de 2.0 se selecciona tras numerosas pruebas de comprobación buscando el valor que mejor se adecue a nuestro caso ya que el sensor es poco preciso. El código se muestra en el Anexo 4.

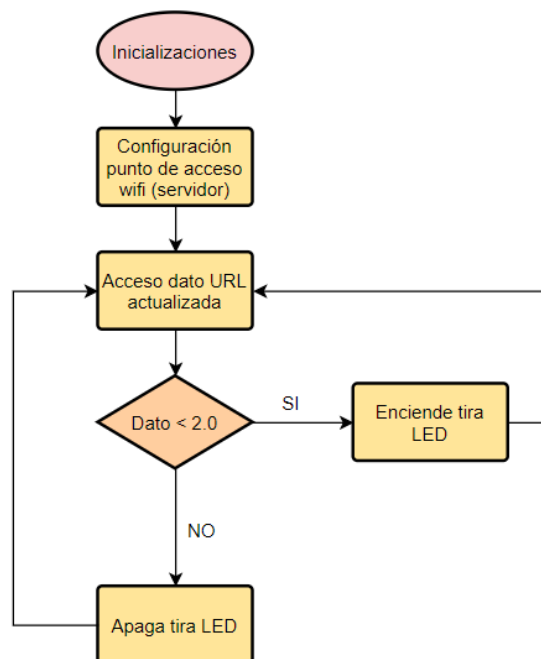
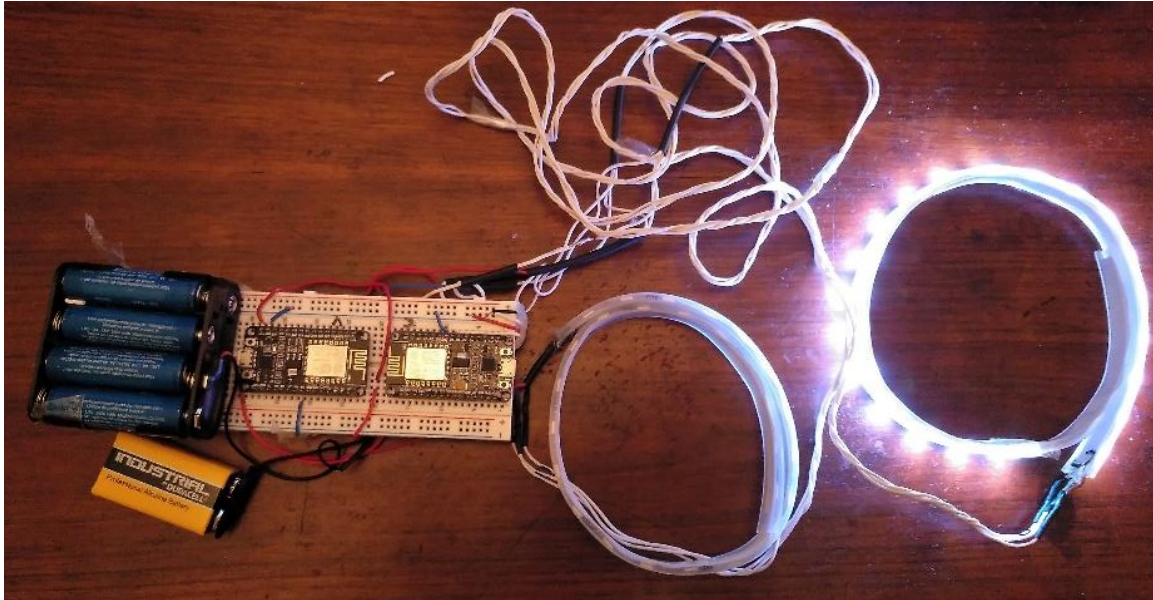


Figura 4.5: Diagrama de flujo del circuito receptor



Por lo que respecta al hardware, para la alimentación se emplean dos baterías: una de 9 V para alimentar al módulo y un porta-pilas de 12 V para alimentar las tiras LED, ya que no es recomendable que el modulo soporte esa tensión en su entrada. Además, así nos aseguramos la duración de las pilas, ya que se va a estar grabando durante muchas horas y así no se entorpece la filmación.



*Figura 4.6: Circuitos receptores*

#### 4.2.2 Firmware circuito sensorizador

Al igual que con el circuito receptor, empleamos el módulo Nodemcu ESP8266, pero esta vez después de incluir las librerías necesarias lo definimos como cliente. Se le proporcionan los parámetros de la red wifi generada por el circuito receptor: nombre, contraseña y host, de esta forma ambos circuitos tendrán acceso al mismo punto. Además, se inicializa el sensor de movimientos y sus pines.

La programación del loop consiste en leer la aceleración el eje 'x' proporcionada por el sensor de movimiento y, si se dispone de acceso a la URL dada, subirlo para que pueda tratarlo el circuito receptor. El código se muestra en el Anexo 4.

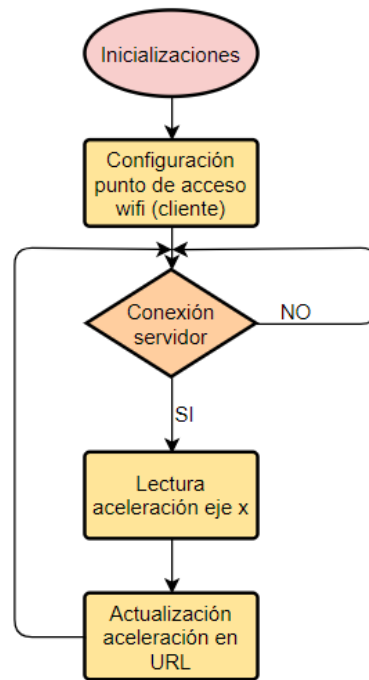
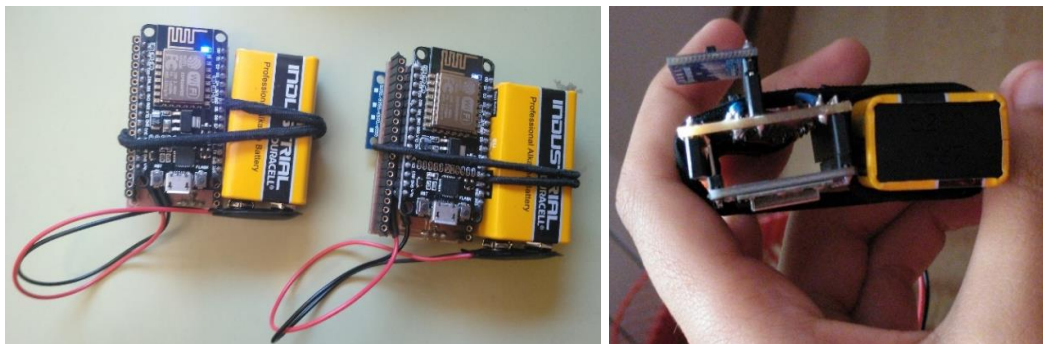


Figura 4.7: Diagrama de flujo del circuito sensorizador

Por lo que respecta al hardware, se emplea una de las placas diseñadas en el plan ‘B’ y se sueldan zócalos para introducir el Nodemcu ESP82666 y el MPU-9265, además de algunas modificaciones para que los pines coincidan. Se añade una pila de 9 V para alimentar al módulo y este a su vez alimenta al sensor que necesita 5 V en su entrada.



(a)

(b)

Figura 4.8: (a y b) Circuitos sensorizadores

### 4.3 Montaje y grabación

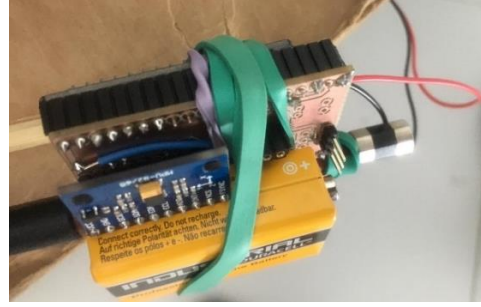
En lo que respecta al montaje de los circuitos el día de la actuación se realiza de la siguiente manera:

- Sensor

Tras muchas pruebas sobre dónde colocar el sensor, finalmente se decide sujetarlo sobre el arco del violín, ya que es como mejor se percibe el movimiento de forma visual y, además la señal del sensor es más precisa.



(a)



(b)

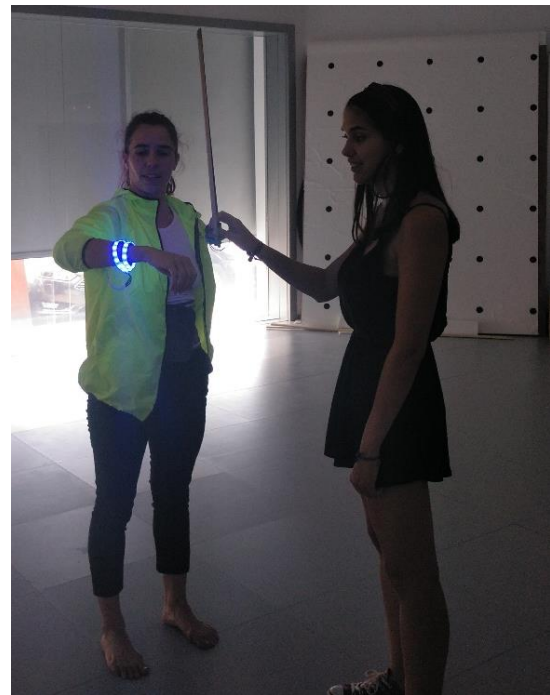
Figura 4.9: (a y b) Circuito sensorizado colocado sobre el arco del violín

De esta forma, si se produce una aceleración positiva en el eje 'x' se enciende la luz de la bailarina. Inicialmente la tira de LED se ilumina cuando el sensor daba un valor mayor de 2.0 o menor de -2.0, porque cuando se prueba mientras se programa (sin el violín) da un buen resultado. Pero una vez creado el circuito definitivo y colocado sobre el arco nos dimos cuenta de que era ineficiente.

Cuando se deja de tocar el violín, la luz sigue encendida debido a que, al medirse la aceleración en el eje 'x', es difícil colocarse en una posición totalmente plana para conseguir aceleración cero. El arco del violín no se puede mover de la zona de las cuatro cuerdas, es decir, no se puede dejar en el atril, en vertical o en el suelo. Por ello, se elimina la condición negativa del valor y así mientras el violín no se está tocando hay una posición de seguridad para que no se encienda la tira LED.



(a)



(b)

Figura 4.10: (a) Posición de seguridad del circuito / (b) Posición que simula tocar el violín

Como podemos observar en la figura 4.8, cuando el arco se coloca en posición de seguridad la tira LED no se ilumina, en cambio, cuando se adopta una posición que simula estar tocando el violín si lo hace.

- Bailarina

El circuito de la bailarina se introduce en un bolsillo y las tiras LED se llevan a sus muñecas mediante cables blancos flexibles que salen desde el bolsillo y tienen suficiente longitud como para no interferir en el baile: se tapan bajo una chaqueta.



Figura 4.9: Bolsillo que contiene el circuito receptor

Se posiciona el bolsillo en la zona lumbar de la bailarina y se procede a su sujeción mediante una faja. Se llevan las dos tiras LED desde el bolsillo a sus manos pasando por la espalda y sujetándose mediante gomas en los brazos, tal y como se puede ver seguidamente en la figura 4.10.



(a)



(b)

Figura 4.11: (a) Posicionamiento del bolsillo / (b) Sujeción del bolsillo

La tira de la mano derecha (que se enciende de color azul) corresponde a la sensorización del violín, mientras que la de la izquierda es de color blanco y luce de forma continua, evidenciándose así, la idea de integrar la electrónica en el baile como algo permanente e inmutable en el tiempo.

Gracias al wifi los circuitos de la sensorización del violín y de la bailarina pueden ser independientes, teniendo la bailarina libertad para realizar todo tipo de movimientos.

Como se ha mencionado anteriormente, los circuitos relacionados con la sensorización y actuación del clave se crean y chequean, pero finalmente no se introducen el día de la grabación por problemas de interferencias. Por lo que respecta al clave, los circuitos son iguales a los del violín, aunque cambiando en su programación la IP de la página web, el nombre de esta, su contraseña, la subnet, etcétera, programando así mismo el sensor para que mida aceleración en el eje 'z'. Se realizan pruebas para establecer el valor dado por el sensor necesario para encender la tira LED y se establece una aceleración en el eje 'z' de 2,5.

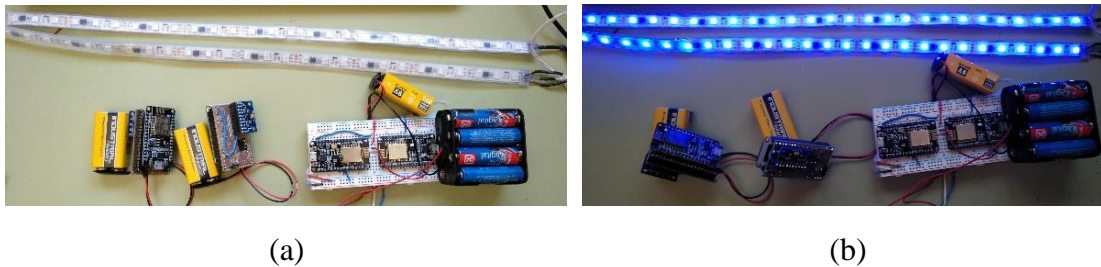


Figura 4.12: (a) Circuitos simulando no estar en movimiento / (b) Circuitos simulando estar en movimiento

Tal y como se muestra en la figura 4.11, cuando los circuitos de sensorización de ambos instrumentos están en posición horizontal, es decir, simulando que no hay movimiento, las tiras están apagadas, mientras que cuando adquieren una cierta inclinación, simulando que se están tocando los instrumentos, ambas están encendidas.

La grabación se produce en primer lugar en la Sala reverberante de Etopia para sacar el máximo partido a los instrumentos musicales. Se interpreta múltiples veces la pieza mientras un cámara de la empresa Nanuc graba todos los detalles necesarios para el vídeo. Los dispositivos funcionan a la perfección y la conexión entre música-electrónica y danza queda claramente reflejada.



Figura 4.13: Equipo de Nanuc grabando la instrumentación



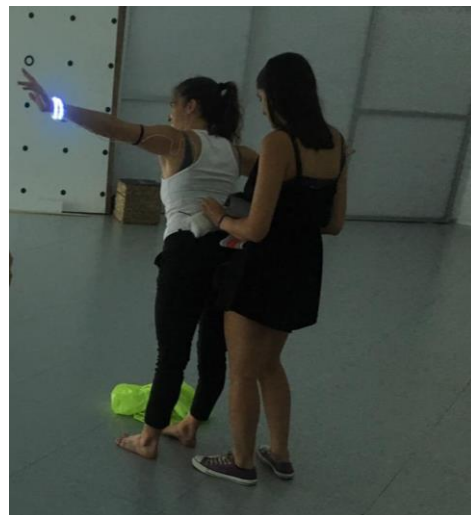
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 4.14: (a) Violín sensorizado / (b) Equipo de Nanuc grabando a la bailarina / (c) Posicionamiento del bolsillo / (d) Sujeción del bolsillo / (e) Equipo el día de la grabación

Como para el festival Trayectos se quiere mostrar un documental, al que, entre todos los miembros del equipo se decide llamar Poética escondida, atentos a lo poco visible de la electrónica y su importante contribución al espectáculo artístico. El documental pretende mostrar al detalle las diferentes fases de colaboración entre electrónica y danza, por lo que una parte también se graba en mi espacio personal de trabajo, mi casa. Se generan varios diálogos con la bailarina sobre la partitura, la electrónica, la programación en Arduino, la disposición de los sensores, el tamaño del prototipo, etcétera. La idea de esta grabación es mostrar los componentes electrónicos sueltos y su programación, además de la parte artística musical. Finalmente, se acude también a grabar a un laboratorio de la EINA para remarcar el trabajo que conlleva soldar una placa y ponerla a punto.

Con el video se quiere mostrar la diferencia entre los tiempos de bailarina y electrónica, el proceso que hay detrás para construir y programar un prototipo electrónico aplicado a la danza, además de la conexión final entre ambas modalidades.

Finalmente, el día de inicio del festival Trayectos en Etopia, tras una breve introducción sobre el proyecto y la colaboración, se procede a proyectar el vídeo editado.



*Figura 4.15: Presentación de poética escondida en Trayectos*

El vídeo se encuentra disponible en la plataforma Google Drive, en el siguiente enlace, se precisa contraseña.

[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfNw8PNB\\_Y7A833hFCOAB6MxvOcY5BJeR89T1D7BhsA45a-Vw/viewform?usp=sf\\_link](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfNw8PNB_Y7A833hFCOAB6MxvOcY5BJeR89T1D7BhsA45a-Vw/viewform?usp=sf_link)

# 5 Conclusiones

## 5.1 Trabajo futuro

La placa diseñada inicialmente ofrece una gran versatilidad, habría que explorar dónde sería eficaz y cuáles serían sus mejores usos. Se creó con la intencionalidad de incorporarla en una actuación de baile, pero cambiando los parámetros y los actuadores se puede incorporar a muchos más ámbitos.

En fase experimental, se desarrollaron los prototipos para la sensorización de dos instrumentos. Por ello, como trabajo futuro, podemos encontrar mejorar esta comunicación con dos instrumentos e ir añadiendo los que se necesite hasta poder completar una orquesta entera y muchos bailarines para un musical o recital. Además, tanto con placa diseñada como con el plan 'B', se pueden obtener diversos efectos, ya sean sonoros o luminosos.

Se pueden buscar más interacciones entre danza y electrónica con el prototipo creado.

## 5.2 Conclusiones del proyecto

El proyecto ha estado formado por diferentes procesos que podemos dividir en los siguientes apartados:

- Desarrollo colaborativo de una intervención electrónica en danza con Manon Siv

Desde el comienzo de esta colaboración se refuerza la comunicación entre bailarina y electrónica con la finalidad de generar un buen aprendizaje sobre ambas modalidades. Esto es necesario para dar forma tanto al desarrollo de la coreografía como a los circuitos electrónicos. Como Manon no había trabajado anteriormente con electrónica, el exponerle varias 'presentaciones electrónicas' ayuda al aprendizaje, pero este periodo finalmente resulta extenso ya que ella quiere ver y disponer de todos los recursos posibles.

Cuando surge su participación en un Ensayo abierto dentro de DANM de Trayectos, elegimos los componentes que mejor encajan en su obra. La programación de estos se modifica numerosas veces hasta se refuerzan las ideas que Manon quiere transmitir al público, lo que resulta ser un trabajo costoso. Mencionar la problemática que surgió con los distintos sensores para activar los circuitos, ya que los movimientos de su baile eran aparentemente desordenados, a la vez que dinámicos.

Se generan así tres sistemas electrónicos que la bailarina activa durante su ensayo, con la expectativa de sorprender al espectador y determinar cuáles de esos circuitos se emplearán en su actuación final en Trayectos. El público valoró la colaboración establecida de forma satisfactoria, al igual que ambos departamentos: el de danza y el de electrónica. Se primó la originalidad y la innovación.



- Generación de un segundo sistema electrónico para la grabación del vídeo

Debido a la ausencia de Manon en el festival Trayectos por motivos ajenos a este proyecto, los plazos de ensamblaje y programación se adelantan, por ello se idea un ‘plan B’ que conlleva la fabricación, en el taller del departamento de electrónica, de unas placas. Pero como estos plazos vuelven otra vez a adelantarse, se realiza un reajuste de dicha placa, modificándola para poder emplear componentes disponibles en el departamento.

Se crea un nuevo equipo de trabajo que rápidamente se implica al máximo con este proyecto, todos adquieren una gran carga de trabajo. Mencionar el poco tiempo disponible que hay para conformar estos circuitos, generando una sensación de incertidumbre en el nuevo equipo. Finalmente se consigue dar forma al proyecto gracias a que cada integrante aporta ideas e información sobre su ámbito.

- Manejo de incertidumbres e imprevistos determinantes

En primer lugar, la participación de Manon en el Ensayo abierto supuso una larga pausa en el diseño del prototipo inicial. Todo el trabajo se dirige hacia la elección y programación de componentes para poder integrarlos y exponerlos el día de la actuación, lo que resta tiempo a otras tareas.

Posteriormente, la no participación de Manon en el festival de danza Trayectos genera una incertidumbre sobre si se realizará otra colaboración entre electrónica y danza. Finalmente se forma un nuevo grupo de trabajo y el proyecto se saca adelante gracias a ideas innovadoras y la buena coordinación entre los integrantes del equipo.

En este segundo equipo, el principal problema reside en el poco tiempo del que se dispone para conformar todo el proyecto, además los plazos de la grabación del vídeo se adelantan más de lo previsto inicialmente, por lo que los componentes no llegan a tiempo. Finalmente se emplean los componentes disponibles en el departamento para realizar su ensamblaje, ajustando algunas modificaciones a las placas, y se programan en cuestión de unos días.

- Documental Poética escondida

En colaboración con las responsables, creadoras, de Trayectos se ha elaborado un reportaje sobre el proceso creativo-colaborativo creado entre el último equipo de trabajo. Es un documental remarcable de cara a la docencia, la metodología y el arte. Muestra el proceso que ha dado lugar a la unión de danza, electrónica y música a modo experimental en las instalaciones de Etopia.

Este documental se presenta en público en el Festival de Danza Trayectos.

- Diseño del primer sistema electrónico

Paralelamente se ha diseñado el sistema electrónico de sensorización inalámbrica en miniatura, desarrollando estrategias de trazado avanzadas. Aunque no se ha llegado a implementar completamente, lo más importante es lo que se ha avanzado en el estudio de componentes, circuito y trazado, que será de gran valor para futuras implementaciones. Además, el prototipo ofrece una gran versatilidad, por lo que puede emplearse en numerosos ámbitos.

**Reflexión.** Para el Laboratorio de Danza y Nuevos Medios lo más importante es el proceso, este se ha cristalizado en dos actuaciones concretas que resultaron satisfactorias en el festival Trayectos.

Se ha conseguido mostrar esa conexión entre danza, música y electrónica, en donde esta última, que era la más difícil de encajar, ha sido la encargada de fusionarlas de forma visual en una única entidad. Podemos afirmar que se han explorado nuevas formas de expresión con este proyecto. Además, se han mostrado las diferentes capas de relaciones que se establecen, empezando por que el músico activa un sensor y acabando con que el cuerpo del bailarín modifica un espacio mientras es condicionado por la música. Estas capas se superponen formando una Poética escondida.

### 5.3 Conclusiones personales

Tras finalizar todo el proceso puedo decir que el proyecto ha cumplido mis expectativas. Al comienzo de este, buscaba una experiencia nueva en la cual poder desenvolverme dentro de un equipo multidisciplinar donde cada uno aportara sobre su especialidad.

Lo que más me costó fue acercar los lenguajes entre danza y tecnología a la vez que adaptar los tiempos. El proceso electrónico es más lento que el de la danza y a su vez tiene que estar más acotado. Para evitar esto, nada más comenzar, se le realizó un muestrario electrónico a la primera bailarina, Manon Siv, esto sirvió para adecuar los lenguajes, pero no ayudó en lo que respecta a los tiempos. Estos se fueron acelerando paulatinamente conforme se avanzaba en el proyecto, sobre todo al final de este.

La ausencia de Manon en el festival fue un punto de inflexión en la colaboración que complicó todo el proceso, pero a nivel personal me aportó muchísimo. Me dio la oportunidad de buscar soluciones aportando ideas nuevas y de repetir todo el proceso de los meses pasados, pero ahora en menos tiempo, lo cual a su vez me generaba cierta preocupación. Esta situación me obligó a trabajar bajo presión y verme en la tesitura del verdadero mundo laboral, donde ocurren imprevistos y hay fechas límite que pueden variar. Quizás estos obstáculos no me hayan hecho crecer como ingeniera, pero sí como persona y futura trabajadora.

Desde que se formó el nuevo grupo de trabajo, todos nos concienciamos de esta falta de tiempo y nos volcamos con la actuación. Los tiempos se adaptaron mucho más y se generó un buen ambiente de trabajo, cada uno aportaba lo que podía hasta que se llegó a una pieza final. Además, gracias a este proyecto he tenido la oportunidad de volver a tocar el violín ya que hacía seis años que no lo hacía.

Tuve la oportunidad de trabajar con dos bailarinas que sentían y se expresaban de forma diferente y pude ver lo que eso significaba a nivel electrónico. Manon buscaba generar un caos con componentes como zumbadores, mientras que Raquel buscaba la claridad y la limpieza centrándose en el uso de tiras LED. Además, pude observar la versatilidad de los componentes ya que dependiendo de su programación pueden transmitir sensaciones muy diferentes.

Lo que más me ha gustado del TFG ha sido poder desenvolverme en un entorno diferente, a la vez que nuevo, en donde teníamos muchos horizontes abiertos. Disponíamos de muchos tipos de componentes y comunicaciones para usar, y progresivamente se han ido acotando horizontes hasta llegar a un prototipo final donde todas las partes implicadas estuvieran a gusto.

Por lo que respecta a la parte técnica, he aprendido a investigar sobre los distintos componentes e interpretar sus Datasheet de forma correcta. He mejorado mucho el manejo con la herramienta CircuitMaker y he ampliado mi conocimiento sobre las placas de circuito impreso. Además, he ganado gran versatilidad sobre el hardware y software de Arduino.

Finalmente, se ha conseguido mostrar esa unión entre electrónica y danza que era el objetivo principal del proyecto y en lo que más se incidió durante todo el proceso. Estoy contenta con el resultado final y el proceso, este trabajo, me ha aportado mucho a nivel personal.

## 6 Bibliografía

- [1] Trayectos, Laboratorio de danza y nuevos medios, edición 2018. [Consulta: 22 mayo 2019]. Disponible en : <http://www.danzatrayectos.com/portfolio/laboratorio-de-danza-y-nuevos-medios-2018/>
- [2] Trayectos, Laboratorio de danza y nuevos medios, edición 2019. [Consulta: 25 mayo 2019]. Disponible en: <http://www.danzatrayectos.com/portfolio/laboratorio-de-danza-y-nuevos-medios-2018/>
- [3] Espressif, Datasheet ESP\_WROOM-32. [Consulta: 5 abril 2019]. Disponible en: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf)
- [4] Bosch, Datasheet BNO055. [Consulta: 10 mayo 2019]. Disponible en: [https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all\\_products/bno055](https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all_products/bno055)
- [5] Luis Llamas, Opciones para alimentar Arduino con baterías. [Consulta: 12 junio 2019]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/alimentar-arduino-baterias/>
- [6] Casas,R.,López J.M. (2018), Diseño de circuitos electrónicos
- [7] Manon Siv, Animal Instinct Practice. [Consulta: 27 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=MotJnjpzeio>
- [8] Luis Llamas, Medir sonido con Arduino y micrófono amplificado MAX9812. [Consulta: 2 agosto 2019]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/medir-sonido-con-arduino-y-microfono-amplificado-max9812/>

## 7 Anexos

Anexo 1. Boom de componentes

Anexo 2. Casos de implementación

Anexo 3. Prints PCB

Anexo 4. Códigos