



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo de fin de grado

Diseño de un producto electrónico e interactivo para
espectáculos de danza.

Design of an electronic and interactive product for dance
performances.

Autor:

Marta Navarro Anento (542770)

Directores:

José María López Pérez

Eduardo Machado Pérez

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones

Área de Tecnología Electrónica

Diciembre 2016



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

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

D./D^a. Marta Navarro Anento

con nº de DNI 73223972E en aplicación de lo dispuesto en el art.

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

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado en Ingeniería Electrónica y Automática, (Título del Trabajo)

Diseño de un producto electrónico e interactivo para espectáculos de danza
(Design of an electronic and interactive product for dance performances).

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

Zaragoza, 15 de Septiembre de 2016

Fdo: Marta Navarro Anento

Diseño de un producto electrónico e interactivo para espectáculos de danza.

RESUMEN

En este proyecto se diseña y perfecciona un dispositivo electrónico preparado para ser incorporado en espectáculos, especialmente en funciones de danza.

De esta manera, se ha desarrollado un prototipo basado en el uso de microcontroladores para realizar el control de los sensores colocados en el cuerpo del usuario y generar así unas acciones sobre unas tiras de LEDs colocadas estratégicamente para definir y matizar las posturas de los artistas. Además, se ha diseñado un elemento fijo, en nuestro caso una barra electrónica, la cual se comunicará mediante una red bluetooth con los usuarios.

Los circuitos del traje de artistas se alimentarán mediante pilas de botón, mientras que el elemento fijo será alimentado desde la red.

ABSTRACT

This project designs and perfects an electronic device ready to be incorporated into shows, especially on functions of dance.

In this way, we have developed a prototype based on the use of microcontrollers for control of the sensors placed on the user's body and generate some action on some strips of LEDs placed strategically to define and clarify the positions of the artists. Additionally, has been designed an item fixed, in our case an electronic bar, which will contact users via a bluetooth network.

Circuits of artist costume will feed by batteries, while the fixed element will be powered from the electrical supply.

Agradecimientos

En primer lugar, quería agradecerle a mi director que me brindara la posibilidad de no sólo de realizar un proyecto desde cero, el cual he visto crecer y mejorar mediante el trabajo continuo, sino también de trabajar con personas ajenas a mi rama tecnológica, como son Antonio Almenara, coreógrafo, bailarín y profesor en una escuela de danza, e Iris Clavero, compañera y amiga durante este proyecto.

En segundo lugar, darle las gracias a Iris, la cual me ha animado y ayudado en los momentos más difíciles del proceso, y con la que ha sido un enorme placer trabajar, por su gran entusiasmo.

Además, debo de agradecerle todas las facilidades y ayudas que me han dado los maestros de taller, solventando dudas del proceso de fabricación, aconsejando en el diseño de las PCB y con el tema de la compra y elección de los distribuidores de los componentes.

Por otra parte, agradecimientos a todos mis familiares y amigos, los cuales siempre me han apoyado, aconsejándome en los momentos más duros, porque gracias a ellos he conseguido superar todos los obstáculos, siempre viendo el lado bueno de las cosas.

Y finalmente, una mención especial a mis padres, que siempre han estado a mi lado, se quedaban conmigo en las noches de trabajo y siempre me aconsejaban y ayudaban a ver el lado bueno de todas las situaciones y que en ningún momento dudaron de mí; a mi pareja, la cual siempre me animaba y ayudaba en los peores momentos, siendo un gran apoyo; y a mi amiga Nerea, bailarina, a la cual he utilizado de modelo en muchas ocasiones y que me ayudó durante las pruebas de la puesta a punto del prototipo.

Tabla de contenidos

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

LISTADO DE FIGURAS II

LISTADO DE TABLAS IV

GLOSARIO V

LISTADO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS VI

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN 1

1. INTRODUCCIÓN 1
2. OBJETIVOS 2
3. ALCANCE 3
4. ANTECEDENTES 3
5. METODOLOGÍA 5

CAPÍTULO 2. CONCEPTO ELEGIDO 7

1. DESCRIPCIÓN 7
2. NECESIDADES 7
3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS 8
4. DIAGRAMA DE BLOQUES 8
 1. *Diagrama de bloques de la barra* 8
 2. *Diagrama de bloques del bailarín* 9

CAPÍTULO 3. ESTUDIO DE LOS COMPONENTES 10

1. SENSORES 10
 - 1.1. *Sensor de distancia* 10
 - 1.2. *Acelerómetro* 12
2. COMUNICACIÓN 13
 - 2.1. *Configuración de los bluetooth y transmisión de datos* 16

| | |
|--|-----------|
| 3. INTERFAZ | 17 |
| 3.1. LEDs | 17 |
| 3.2. Sensor de proximidad | 19 |
| 4. CONTROL | 20 |
| Placa de la barra | 21 |
| Placa principal del bailarín | 21 |
| 5. ALIMENTACIÓN | 22 |
| 5.1. Alimentación de la barra | 22 |
| 5.2. Alimentación del bailarín | 22 |
| CAPÍTULO 4. DISEÑO DE LAS PCBS | 23 |
| CAPÍTULO 5. DISEÑO FIRMWARE | 25 |
| 1. GRAFOS DE ESTADO | 25 |
| 2. DIAGRAMAS DE FLUJO | 26 |
| CAPÍTULO 6. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS | 30 |
| 1. IMPLANTACIÓN FINAL Y PRUEBAS | 30 |
| 2. CONCLUSIONES Y OPINIÓN PERSONAL | 34 |
| 3. FUTURAS MEJORAS | 36 |
| BIBLIOGRAFÍA | 37 |

Diseño de un producto electrónico e interactivo para espectáculos de danza.

LISTADOS

LISTADO DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 REPRESENTACIÓN DEL CONCEPTO ELEGIDO | 1 |
| FIGURA 2 HISTORIA DE LA DANZA | 3 |
| FIGURA 3. EJEMPLOS DE ESPECTÁCULOS CON LEDs | 4 |
| FIGURA 4 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA BARRA | 8 |
| FIGURA 5 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL BAILARÍN | 9 |
| FIGURA 6 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR HC-SR04 | 11 |
| FIGURA 7 ESQUEMÁTICO DEL SENSOR DE DISTANCIA | 12 |
| FIGURA 8 EJES CORRESPONDIENTES A LA MEDIDA DE LA ACELERACIÓN | 12 |
| FIGURA 9 ESQUEMÁTICO DEL ACELERÓMETRO | 13 |
| FIGURA 10 ESQUEMÁTICO DEL MÓDULO BLUETOOTH | 15 |
| FIGURA 11 RED BLUETOOTH | 15 |
| FIGURA 12 EJEMPLO DE TRANSMISIÓN DE DATOS DE LED | 18 |
| FIGURA 13 ESQUEMÁTICO DE LA TIRA DE LEDs | 19 |
| FIGURA 14 ESQUEMÁTICO DEL SENSOR DE PROXIMIDAD | 20 |
| FIGURA 15 ESQUEMÁTICO DEL MICROCONTROLADOR DE LA BARRA | 21 |
| FIGURA 16 ESQUEMÁTICO DEL MICROCONTROLADOR DEL BAILARÍN | 21 |
| FIGURA 17 ESQUEMÁTICO DE LA ALIMENTACIÓN DE LA BARRA | 22 |
| FIGURA 18 ESQUEMÁTICO DE LA ALIMENTACIÓN DEL BAILARÍN | 22 |
| FIGURA 19 CORRIENTE MÁXIMA ADMISIBLE POR LAS PISTAS | 23 |
| FIGURA 20 CARAS TOP Y BOTTOM DE LA PLACA DE LA BARRA | 24 |
| FIGURA 21 CARAS TOP Y BOTTOM DE LA PLACA DEL TRAJE DEL BAILARÍN | 24 |
| FIGURA 22 GRAFO DE ESTADOS DE LA BARRA | 25 |
| FIGURA 23 GRAFO DE ESTADOS DEL BAILARÍN | 26 |
| FIGURA 24 DIAGRAMA DE FLUJO DEL CONTROL DE LA BARRA | 27 |
| FIGURA 25 DIAGRAMA DE FLUJO DEL CONTROL DEL TRAJE DEL BAILARÍN | 29 |
| FIGURA 26 PLACA FINAL DE LA BARRA | 30 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 27 PLACA FINAL DEL TRAJE DEL BAILARÍN | 31 |
| FIGURA 28 PRUEBA DE LOS LEDs CON EL MATERIAL DE LA BARRA | 31 |
| FIGURA 29 PRUEBA DE LOS LEDs Y COMPROBACIÓN DE LA CORRIENTE REQUERIDA | 32 |
| FIGURA 30 STORYBOARD | 32 |
| FIGURA 31 PROTOTIPO DE TRAJE COLOCADO EN EL BAILARÍN | 33 |
| FIGURA 32 FUNCIONAMIENTO DE LOS LEDs DEL TRAJE | 33 |

LISTADO DE TABLAS

| | |
|---|----|
| TABLA 1 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y FÍSICAS DEL SENSOR DE DISTANCIA..... | 11 |
| TABLA 2 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y FÍSICAS DEL ACCELERÓMETRO | 13 |
| TABLA 3 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y FÍSICAS DEL MÓDULO BLUETOOTH | 15 |
| TABLA 4 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y FÍSICAS DE LAS TIRAS DE LEDs..... | 18 |
| TABLA 5 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y FÍSICAS DEL SENSOR DE PROXIMIDAD | 19 |
| TABLA 6 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y FÍSICAS DEL ATMEGA328P | 20 |

GLOSARIO

Brainstorming: También denominado lluvia de ideas, el *brainstorming* es una técnica creativa usada para la generación de ideas sobre una temática específica. Esta técnica es muy utilizada en las empresas para desarrollar posibles soluciones ante algún tipo de problemática.

Coreografía: Conjunto o serie de movimientos y bailes organizados de manera estructural con un objetivo y sentidos específicos para transmitir una idea previamente desarrollada.

Coreógrafo: Persona encargada de diseñar las coreografías.

Escenografía: Conjunto de elementos (decorado, escenario, vestuario, iluminación, etc.) necesarios para ambientar y representar una función artística.

Firmware: Referido a informática, término inglés que hace referencia a un elemento intermedio entre el hardware y el software. Se refiere al conjunto de microprogramas necesarios para ejecutar cada una de las instrucciones de máquina de un computador con unidad de control microprogramada.

Smartphone: Se denomina *smartphone* a la familia de teléfonos móviles que disponen de un hardware y un sistema operativo propio capaz de realizar tareas y funciones similares a las realizadas por los ordenadores fijos o portátiles, añadiéndole al teléfono funcionalidades extras a la realización y recepción de llamadas y mensajes telefónicos.

Storyboard: Conjunto de ilustraciones mostradas en secuencia con el objetivo de servir de guía para entender una idea o historia.

Wearable: Conjunto de pequeños elementos que son fácilmente incorporables en el cuerpo o la ropa. Algunas de las características de estos elementos son que siempre están encendidos, por lo que no se requiere que se enciendan o se apague, además permite la multitarea. Un ejemplo muy común son las pulseras usadas para detectar las pulsaciones o las famosas *Google Glasses*.

LISTADO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

APP: Application (aplicación)

FSR: Force-sensing resistor (Resistencia sensora de fuerza).

IDE: Integrated development environment (Entorno de desarrollo integrado).

PCB: Printed circuit board (Placa de circuito impreso).

RGB: Red-Green-Blue (Sistema de colores basado en Rojo-Verde-Azul).

SMD: Surface Mount Device (Dispositivos de montaje superficial).

Diseño de un producto electrónico e interactivo para
espectáculos de danza.

MEMORIA

Capítulo 1. Introducción

1. Introducción

Con este proyecto pretendemos desarrollar un producto electrónico destinado al uso en espectáculos de danza, tanto moderna como clásica. Este producto debe satisfacer las necesidades de un cliente, un coreógrafo y bailarín, Antonio Almenara.

La intención de este proyecto es modernizar los espectáculos de danza, realizando efectos que ayuden a la coreografía y a enfatizar aquellos elementos más importantes de dicho espectáculo.

Para poder realizarlo, se ha recurrido a la ayuda del cliente, el cual nos iba enseñando aspectos de la danza que nos servirían para definir posibles acciones y posteriormente los conceptos. Le presentamos los componentes que teníamos disponibles e hicimos un estudio de las posibilidades¹ que nos podían aportar. De esta manera, se generaron tres conceptos. Tras un estudio de la viabilidad, se le expusieron los tres conceptos² y él escogió aquel que le parecía más interesante.

Tras elegir el concepto, se realiza un estudio de las especificaciones para el desarrollo y posterior análisis de los componentes disponibles. Una vez se ha analizado la disponibilidad y viabilidad, se procede al diseño electrónico de las PCBs que formarán parte del proyecto. Finalmente, se realiza una programación para conseguir el objetivo marcado, tras lo cual se lleva a cabo unas pruebas con nuestro prototipo.



Figura 1 Representación del concepto elegido

El prototipo deberá tener una red de sensores con los cuales deberemos detectar los distintos movimientos más importantes que el bailarín ejecute durante la función y generar una acción visible para el público, enfatizando este movimiento.

¹ Véase Anexo I

² El estudio de los conceptos se realiza en el Anexo I de este documento.

Además, nuestro prototipo deberá contar con una red de comunicación inalámbrica para la recepción y transmisión entre los elementos que conforman el prototipo, para lo cual deberemos analizar las distintas tecnologías que nos realizan esta función y seleccionar aquellas que mejor se adapten a nuestro propósito.

Debido a todo lo anterior, nuestro prototipo constituye un producto formado por un traje interactivo y un elemento fijo y la comunicación entre ambas. En nuestro caso, el traje le enviará los datos referentes a las acciones del traje para aplicarlos al elemento fijo, por lo tanto, éste será el receptor.

La conexión entre ambos elementos se realiza mediante módulos bluetooth, por lo cual trabajaremos a una frecuencia de 40kHz.

2. Objetivos

El trabajo desarrollado deberá cumplir con una serie de objetivos planteados para la demostración de la perfecta aplicación del prototipo en situación real y un futuro próximo. Estos objetivos son los siguientes:

1º Análisis de la tecnología disponible en la cual basaremos los conceptos generados.

2º Búsqueda y selección de los sensores más adecuados para la captación de la información obtenida de los movimientos del bailarín

3º Estudio de las posibilidades de transmisión inalámbrica con el objetivo de encontrar aquel que mejor se adapte a nuestra aplicación.

4º Configuración de los dispositivos de comunicación inalámbrica.

5º Análisis del protocolo de comunicación de la tecnología elegida para la recepción/transmisión de datos entre elementos.

6º Búsqueda y determinación de los elementos visuales o sonoros necesarios para transmitir de información obtenida mediante la red de sensores en forma de acciones lumínicas o sonoras.

7º Estudio del consumo global para el diseño de un circuito de alimentación eficiente y que se adapte a nuestro prototipo, permitiendo la autonomía.

8º Diseño de las placas de los elementos que conforman el prototipo.

9º Puesta a punto de las placas antes diseñadas.

10º Codificación de cada uno de los sensores para recepción de la información.

11º Tratamiento de la información recibida de los sensores para determinar los distintos movimientos del artista y generar una acción.

12º Estudio de las futuras mejoras.

3. Alcance

El prototipo a desarrollar es un dispositivo de propósito general diseñado para ser incorporado en espectáculos artísticos. Por lo tanto, deberá ser un dispositivo de fácil manejo, ya que el nivel tecnológico del usuario final será reducido y muy limitado, y garantizar un mínimo de seguridad al usuario.

Aunque las pruebas del prototipo se realizarán en un espectáculo de danza, la versatilidad del producto permitirá su uso en cualquier espectáculo artístico, véase funciones de prestidigitación, música y danza, tanto moderna como clásica.

En conclusión, mediante este proyecto vamos a alcanzar un público diverso y nuestro producto puede servir para distintos fines artísticos.

4. Antecedentes

La danza existe desde la época prehistórica, usada en los rituales de nacimiento, fecundación, bodas, etc. Fue en la Antigua Grecia cuando la danza comenzó a considerarse un arte. Con el paso del tiempo, la danza se convirtió en un espectáculo, generalmente acompañado de música, el cual iba evolucionando, tanto en ritmo como en nuevos pasos cada vez más espectaculares. La consideración de la danza como arte —más propiamente llamado ballet— comenzó en el Renacimiento. En la época actual, gracias al gran desarrollo de la ciencia, se ha querido integrar esta creciente tecnología en la danza, elevando el nivel de impacto hacia el público.

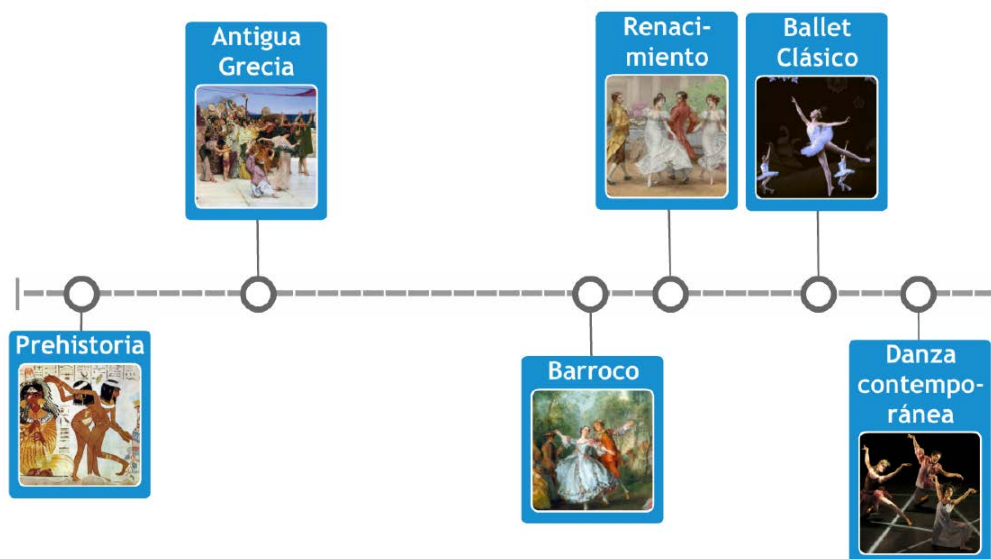


Figura 2 Historia de la danza

(Fuentes:

- Prehistoria: <http://historiaarteculturakika.blogspot.com.es/2012/02/normal-0-21-false-false-false-es-co-x.html>
- Antigua Grecia: http://recofusion2012.blogspot.com.es/2012_10_01_archive.html
- Barroco: http://clasica2.com/?_=/clasica/Enciclopedia-Musical/Las-Danzas-y-sus-Nombres-El-Passepied
- Renacimiento: <http://5cpda.blogspot.com.es/2015/02/danza-en-el-renacimiento.html>
- Ballet clásico: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/be/Snowdance.jpg>
- Danza contemporánea: <http://www.orgullosocitadino.com/2015/07/presentaran-danza-contemporanea-basada.html>).

Con el uso de pequeños elementos electrónicos (sensores, LEDs, botones, microcontroladores, comunicación, etc) se pueden desarrollar interfaces *wearables* (elementos que se incorporan en el cuerpo o la ropa) para ser usado por artistas, bailarines, prestidigitadores, etc. Con esto permitimos una sinergia entre arte y tecnología. Mediante estos dispositivos, podemos generar efectos luminosos incorporados en el cuerpo de los bailarines que serán controlados con eventos relacionados con sus propios movimientos o con la interacción entre ellos e incluso con objetos del escenario. Este control se llevará a cabo mediante los sensores colocados estratégicamente en el cuerpo del bailarín.

Actualmente existen diversas compañías que utilizan LEDs, colocados en los tutús de sus bailarinas, para sus espectáculos. La problemática reside en que estos tutús, además de ser caros son para uso exclusivo, ya que cada persona es única. Por lo tanto, nosotros hemos querido realizar un producto basado en esta idea pero que pueda llegar a un mayor mercado, siendo más asequible y versátil.



Figura 3. Ejemplos de espectáculos con LEDs

(Fuentes:

- <https://www.pinterest.com/ludmidavid/pelis/>
- <https://es.aliexpress.com/item/RGB-Colorful-Led-Ballroom-Costume-With-Led-Mask-Luminous-Robot-Suit-Stage-Performance-Dance-Wear-3/32653527955.html?spm=2114.43010208.4.76.x161J1>
- <https://www.pinterest.com/smnndesignz/led-costume-inspiration/>
- <http://www.china.scarlettentertainment.com/content/led-ballet-dancers-china>)

En conclusión, con nuestro proyecto queremos modernizar la danza, a través de las nuevas tecnologías disponibles, mediante un producto versátil, pudiendo llegar a un mayor mercado.

5. Metodología

Este proyecto nace de la idea de Antonio, el cual había trabajado anteriormente con la Universidad de Zaragoza. Con el auge de las nuevas tecnologías se podrían hacer espectáculos más impactantes. Y bajo esta premisa, Antonio decide acudir a la Universidad de Zaragoza, presentado su idea.

Es entonces cuando comienza todo el proceso. Como se pretendía diseñar un producto, era necesario un trabajo cooperativo entre una diseñadora, la cual se encargaba del estudio de mercado inicial, del diseño del traje y de la barra así como del *packaging* final, y una electrónica, la cual se debe encargarse del estudio de los posibles componentes, del diseño del circuito electrónico y de la posterior puesta a punto. Además entre ambas se definieron los conceptos mostrados a Antonio.

Por lo tanto, el éxito de este proyecto se basa en la colaboración de ambas partes durante todo el proceso. Consiguiendo así un prototipo funcional.

A continuación, vamos a exponer la planificación de las distintas fases realizadas para el diseño, desarrollo y puesta a punto del prototipo.

Fase 1

Para iniciar el proyecto, se realizó una visita al cliente en el centro de danza. Allí nos mostró una clase habitual, en la que pudimos observar los pasos más interesantes que nos podían ayudar en la elección del producto que se desarrollaría más adelante. En esta visita además se tanteó el terreno respecto a lo que el cliente, Antonio, buscaba con este proyecto. A partir de las acciones que a Antonio le parecían más interesantes de aplicar en un espectáculo, se generó una tabla con las distintas acciones³.

Tras esta toma de contacto inicial, se procedió a un análisis de las opciones que los distintos dispositivos electrónicos disponibles para nuestro proyecto. Para estudiar los componentes, nos basamos en la tabla generada durante la visita a la escuela.

Fase 2

A partir de toda la información recabada en la fase anterior, comenzamos con la fase de conceptualización, en la cual se generan los tres conceptos⁴. Para elaborarlos, se necesitó la colaboración de ambas integrantes del grupo, Iris, alumna de Ingeniería de Diseño del Producto Industrial y Desarrollo del Producto, y Marta, alumna de Ingeniería Electrónica y Automática. Tras una sesión de *brainstorming*, se definieron los tres conceptos, los cuales fueron expuestos al cliente en la siguiente visita al centro de danza. Allí, Antonio escogió aquel concepto que le pareció más interesante.

En esta misma visita, con el concepto ya elegido, le propusimos las ideas que teníamos para llevarlo a cabo. Tras una interesante conversación, en la que ambas partes, las desarrolladoras y el cliente, se pusieron de acuerdo, el concepto evolucionó. La forma central inicial era una figura de un árbol, pero tras la visita, este elemento pasó a ser una barra típica de ballet electrónica, la cual interactuará y comunicará con los bailarines durante la función.

³ Véase Anexo I, apartado 1.

⁴ Véase Anexo I.

Fase 3

Una vez tuvimos el concepto final, mi compañera comenzó con el diseño de la barra y el traje, así como de las necesidades del cliente. Tras la definición de estas necesidades, se comenzó con la generación de las especificaciones técnicas para el diseño, las cuales se usarían para la posterior elaboración de los diagramas de bloques que conforman el prototipo.

A partir de los diagramas de bloques generados en la fase anterior, se procede al análisis de los componentes que formarán parte del prototipo. Se estudiarán los distintos dispositivos que llevan a cabo las distintas funcionalidades y se procederá a la elección del más adecuado. Además, se realizarán los cálculos necesarios para diseñar los circuitos de adaptación de los distintos elementos cuando sea oportuno.

Fase 4

Tras la elección de los elementos y los cálculos necesarios, se comienza con el diseño de las PCBs del proyecto. En esta fase, además, se generarán los planos de las placas y del montaje⁵. Con estos planos, se mandan fabricar las placas y comenzará la fase de montaje del prototipo.

Para el diseño de las placas hemos utilizado una herramienta de RS utilizada durante el Grado, Design Spark. Este programa no sólo nos ha ayudado a diseñar las placas, también nos genera los planos relativos a ellas. Para los planos de montaje se ha usado AutoCAD, una herramienta de diseño y dibujo muy divulgada y utilizada.

Con las placas ya fabricadas, se inicia el proceso de montaje, el cual se explica más adelante en este documento.

Fase 5

Finalmente, se procede a la realización de la última fase. En esta fase se realiza el diseño del *firmware* del prototipo. Para ello se comienza con un diseño de un grafo de estados y un diagrama de flujo en el que se ve el funcionamiento básico del prototipo. Basándonos en ambas herramientas, se genera el código, en lenguaje C, que llevará a cabo el control de los sensores y la realización de las distintas acciones.

Para la codificación del programa de los microcontroladores se ha utilizado la IDE de Arduino, por su fácil manejo.

Para concluir, se desarrollarán las distintas pruebas para comprobar el correcto funcionamiento del prototipo y la elaboración de la memoria, donde se documenta toda la información recogida a lo largo de las distintas fases.

Hemos de destacar que los costes del producto vienen determinados por la fabricación de la barra⁶, ya que la longitud era considerable y el material muy específico, y por la tira de LEDs y los módulos bluetooth, ya que era necesaria mayor cantidad.

Por el contrario, los costes de mantenimiento y consumo son mínimos, por lo que el coste del producto queda amortizado en un breve plazo.

⁵ Véase Anexo IV

⁶ Véase Anexo VI Presupuesto

Capítulo 2. Concepto elegido

1. Descripción

El concepto elegido se basa en la interacción mixta entre bailarines y escenografía. Consta de un elemento fijo externo al bailarín que formará parte de la escenografía, en nuestro caso una barra electrónica, y con el cual el bailarín interactuará a lo largo de la función. Además, el propio bailarín llevará un traje con sensores para realizar acciones sobre la barra y él mismo, en función de lo que esté realizando (saltos, giros, cambios de distancia, etc.), así como elementos decorativos para resaltar su figura y las acciones que realiza.

2. Necesidades

-Resistencia: el producto debe aguantar la fuerza que aplica el bailarín al apoyarse en él sin doblarse ni romperse, además de ser adaptable en cuanto a talla o complejidad.

-Visual: debemos fundamentarnos en los efectos visuales, puesto que el baile en sí se prepara con una melodía de fondo, lo que interesa es potenciarla a nivel visual. (Se emplearán cambios de color e intensidades principalmente).

-Capacidad de interacción: el producto debe permitir reaccionar ante dos estímulos distintos.

-Jerarquía: la interacción, entre bailarín con bailarín y bailarín con barra, debe quedar clara para que el espectador comprenda la coreografía, para por ello se recurrirá a jerarquizar los movimientos.

-Componentes electrónicos: compactos y lo más ligeros posible para que los bailarines lo puedan llevar, que interfiera en sus movimientos lo mínimo posible y que sea fácilmente manipulado durante el proceso de montaje. (También es deseable emplear en el traje la menor cantidad de cables que recorran el cuerpo del bailarín).

-Duración baterías: deben mantener en funcionamiento el circuito durante toda la coreografía.

-Detección de los diferentes movimientos: la red de sensores del traje debe ser capaz de detectar los diferentes movimientos realizados por el bailarín, como saltos, giros, etc.

3. Especificaciones técnicas

A partir de las necesidades de diseño vamos a determinar las especificaciones técnicas de nuestro producto.

- Como el producto debe ser visual, deberá contar con elementos de iluminación, tanto en el elemento central como en el traje del bailarín, por lo que será necesario el uso de LEDs.

- No debe interferir en el movimiento del bailarín. Esto nos implica que el cableado para los sensores del traje debe ser lo más reducido posible.

- Debe de ser ligero y con el mínimo tamaño, por lo que los componentes que elijamos para nuestro circuito deben ser lo más pequeños posible, reduciendo las dimensiones de la placa final y posibilitando así su menor manejo posterior.

- La duración de las baterías debe ser lo máxima posible, por lo tanto, elegiremos aquellos elementos cuyo consumo sea menor, permitiendo así una mayor duración a la batería que alimenta el circuito.

4. Diagrama de bloques

A partir de las especificaciones definidas en el apartado anterior, se diseñan los diagramas de bloques, los cuales estudiaremos en el siguiente capítulo del documento. Debido a que nuestro producto está dividido en dos partes, el elemento fijo, -la barra-, y los bailarines, es necesario diseñar dos diagramas, ya que ambas partes no serán iguales.

1. Diagrama de bloques de la barra

Tal como podemos observar en la figura 4, la barra está formada por cuatro elementos distintos: la interfaz, la cual consiste en la tira de LEDs que los espectadores visualizarán y en la que se verán reflejadas las acciones y los sensores de proximidad, los cuales detectarán que el bailarín se ha colocado en la barra, es decir, que tiene la mano apoyada en la barra; el control se llevará a cabo mediante un microcontrolador; la comunicación entre la barra y los bailarines; y por último la alimentación de todos los bloques anteriores.

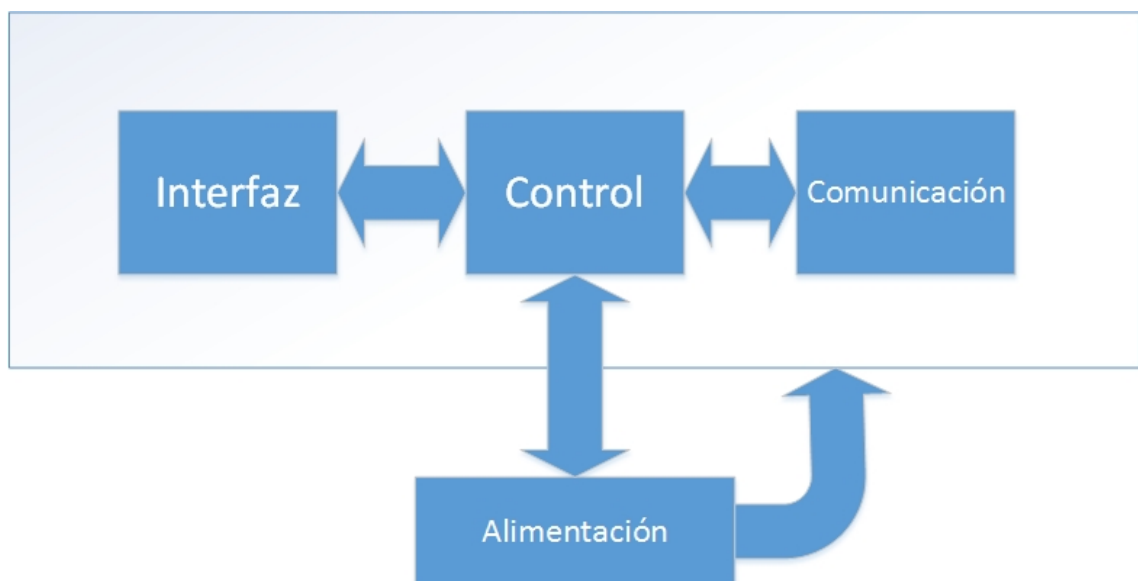


Figura 4 Diagrama de bloques de la barra

2. Diagrama de bloques del bailarín

En la siguiente figura, se observan los diferentes bloques que conforman el traje del bailarín: al igual que en el caso anterior, tenemos una interfaz con el usuario, la cual estará formada por las tiras de LEDs colocadas en el traje del bailarín; también tenemos un bloque de sensores, formado por el acelerómetro y el sensor de distancia; el control de estos sensores y de los LEDs se llevará a cabo mediante el uso de un microcontrolador; y para finalizar tenemos el bloque de la alimentación de todo el traje.

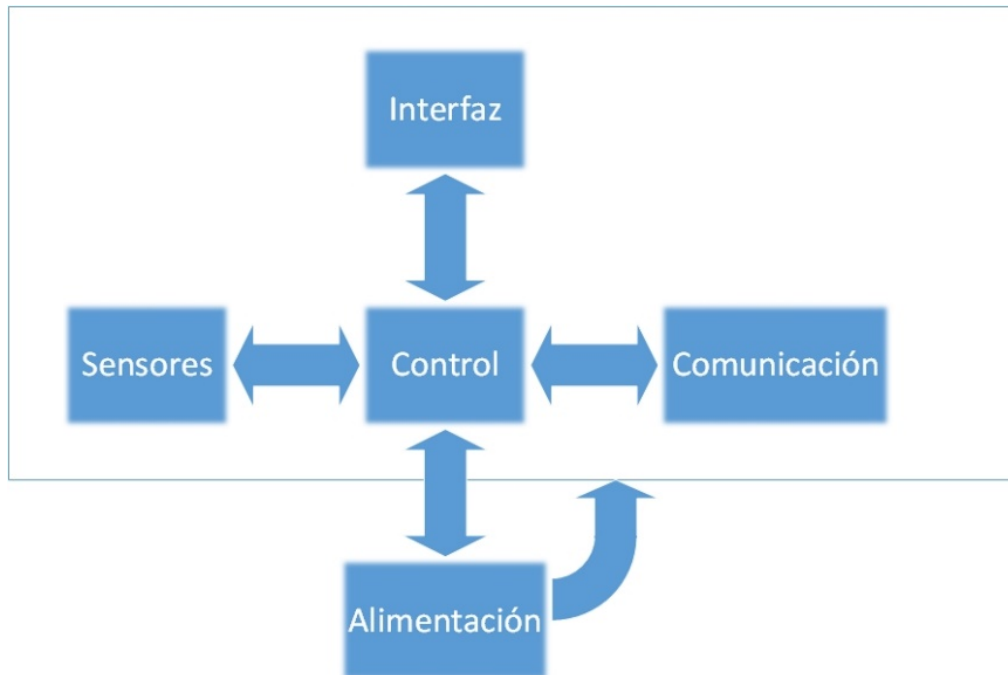


Figura 5 Diagrama de bloques del bailarín

Capítulo 3. Estudio de los componentes

En este apartado vamos a realizar el estudio de los distintos bloques que deberemos diseñar para poder llevar a cabo nuestro producto.

1. Sensores

1.1. Sensor de distancia

Además del sensor de fuerza, para realizar la interacción con los bailarines, usaremos un sensor de proximidad.

Para poder realizar esta función existen varias tecnologías las cuales vamos a estudiar para poder elegir cuál es la que mejor nos funciona en nuestra aplicación:

- **Ultrasonidos:** El sensor emite un sonido y mide el tiempo que tarda en recibir la señal. Si hay un objeto, el sonido se reflejará y el sensor recibirá el eco producido. Puede detectar objetos a varios metros (los de uso general a unos 10m).
- **Infrarrojos:** El sensor de infrarrojos tiene un funcionamiento similar al ultrasónico. Consta de dos elementos, un dispositivo emisor y un receptor. Detecta los objetos situados a varios centímetros (para uso general, unos 10 cm).

Debido a que los bailarines se pueden encontrar a varios metros, para nuestro producto elegiremos un sensor ultrasónico para medir la distancia entre bailarines o la distancia entre bailarín y barra.

HC-SR04

Para nuestro prototipo hemos escogido el sensor ultrasónico HC-SR04. Este sensor se caracteriza por ser un componente de bajo consumo y económico, además de tener un fácil manejo.

Es un sensor de medida sin contacto, usando el sonido. Es capaz de medir de 2cm a 400cm con una precisión de 3mm. Por lo tanto, tenemos un sensor con un rango de medida suficiente para nuestra aplicación, así como un error de medida reducido, siendo un sensor preciso, aunque este error aumenta a partir de los 250cm.

Cada uno de estos sensores posee un transmisor de pulsos ultrasónicos, un receptor del pulso que rebota al chocar con el objeto y un circuito de control. El emisor y receptor de ultrasonidos trabajan a una frecuencia de 40kHz.

El principio en el que se basa es el comentado anteriormente. Se genera una onda ultrasónica desde el emisor (patilla *Trigger* del sensor), esta onda rebotará cuando se encuentre con algún obstáculo, por lo que el pulso rebotado volverá al sensor, siendo registrado por el receptor (patilla *Echo*).

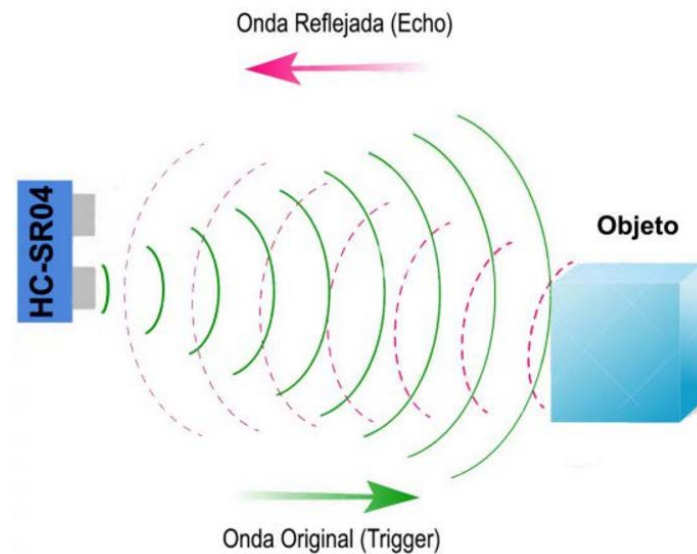


Figura 6 Esquema de funcionamiento del sensor HC-SR04

(Fuente: <https://www.zonamaker.com/arduino/modulos-sensores-y-shields/ultrasonido-hc-sr04>)

Para saber la distancia con el objeto, mediremos el tiempo transcurrido entre el envío del pulso ultrasónico y la recepción de la onda rebotada. Además, como conocemos la velocidad del sonido, podemos determinar la distancia mediante las siguientes expresiones:

$$v_{sonido} = 340 \frac{m}{s} = 0,034 \frac{cm}{\mu s}$$

Como recorre el camino dos veces (ida y vuelta) hay que dividir en dos para conocer la distancia, quedando la siguiente expresión:

$$d (cm) = 0.017 \left(\frac{cm}{\mu s} \right) * t (\mu s)$$

A continuación, mostramos algunas de las características del sensor de ultrasonidos:

Tabla 1 Características eléctricas y físicas del sensor de distancia

| Consumo | |
|-----------------------|------|
| Corriente de trabajo | 15mA |
| Tensión de trabajo | 5V |
| Medidas | |
| (45mm × 20mm × 15mm) | |

Sensor de distancia

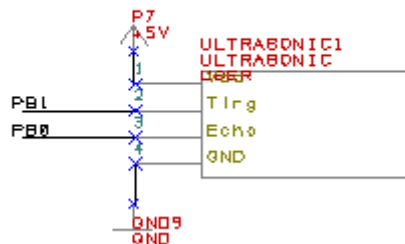


Figura 7 Esquemático del sensor de distancia

En la imagen que mostramos, podemos observar el circuito eléctrico para el sensor de distancia.

Lo alimentamos mediante 5V y las patillas de emisión de sonido y recepción, las llevamos a las patitas PB1 y PB0 respectivamente.

PB1 es una patilla de salida del micro, la cual activa el trigger del sensor de ultrasonidos sacando 5V por la patilla. Por otro lado, PB0 será una señal de entrada al micro, cuando reciba 5V significará que ha detectado un objeto. Ambas patillas son digitales.

1.2. Acelerómetro

Otras funciones a realizar son la detección del salto del bailarín o de si está realizando una pirueta, así como la velocidad del bailarín.

En un principio, se pensó en usar un sensor de fuerza⁷ para realizar la tarea de detección del salto. Esto nos complicaba mucho el proyecto, ya que el sensor debía colocarse en el pie del bailarín. Por su complejidad y problemática con el cableado se desechó la idea.

Finalmente se decidió realizar todas las tareas descritas mediante el acelerómetro, el cual se basa en la capacidad de los elementos piezoeléctricos de generar una tensión a partir de un cambio de fuerza. Cuando el conjunto sufre cualquier tipo de vibración, el elemento piezoeléctrico sufre una fuerza variable proporcional a la aceleración de la masa. Esto crea una diferencia de potencial variable proporcional a la aceleración, que puede medirse con un instrumento de medición.

ADXL335

El sensor elegido para nuestra aplicación es el acelerómetro ADXL335, un acelerómetro analógico de 3 ejes. En un sensor de tamaño reducido y de bajo consumo, siendo fácilmente integrable en el traje del bailarín.

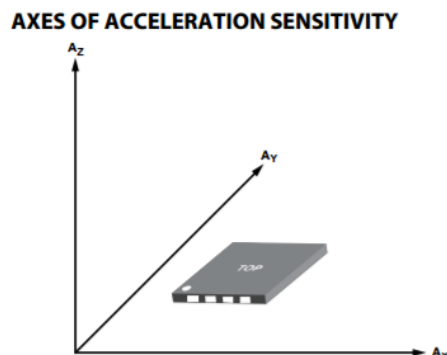


Figura 8 Ejes correspondientes a la medida de la aceleración

Fuente: <https://www.electronicblog.net/simple-angle-meter-using-adxl335-accelerometer-arduino/>

⁷ Anexo V del documento

Este acelerómetro mide la aceleración con un rango de escala entre $\pm 3g$. Se alimenta mediante 3.3V, por lo que las salidas están reguladas a esta tensión. Por lo tanto, 0g será 1.65V, -3g será 0V y 3g será 3.3V.

El ADXL335 mide tanto la aceleración de la gravedad estática (por ejemplo, en aplicaciones de detección de la inclinación) como la aceleración dinámica producida por el movimiento, choque o vibración. Como respuesta a esta medida, el ADXL335 envía al microcontrolador tres tensiones proporcionales a la aceleración medida en cada eje.

En la siguiente tabla mostramos algunas de las características del acelerómetro:

Tabla 2 Características eléctricas y físicas del acelerómetro

| Consumo | |
|----------------------|--------|
| Corriente de trabajo | 0.35mA |
| Tensión de trabajo | 3.3V |

| | |
|---------|-----------------------|
| Medidas | (¿?mm × ¿?mm × ¿?mm) |
|---------|-----------------------|

A continuación, mostramos el esquemático del acelerómetro:

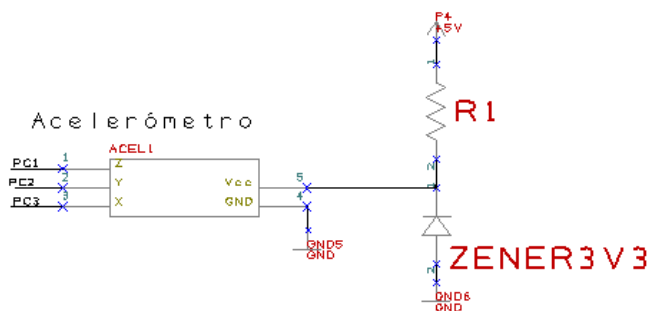


Figura 9 Esquemático del acelerómetro

Tal como se especifica en la tabla, alimentamos el sensor a 3.3V. Para ello, usaremos un Zener que nos fije la tensión en ese punto.

Además, tenemos 3 patillas, correspondientes a las señales del eje X, Y y Z. Estas señales serán de entrada para el micro y, debido a que la tensión puede variar en función de la medida del sensor, se han colocado en las entradas analógicas del micro.

El cálculo de la resistencia usada para polarizar el Zener se encuentra en el Anexo III de este documento.

2. Comunicación

Debido a que en nuestra aplicación vamos a interactuar con los bailarines y la escenografía, será necesaria la comunicación entre los elementos.

Para llevar a cabo esta función debemos elegir entre las distintas tecnologías disponibles la más adecuada para nuestra aplicación:

- **Infrarrojos:** La comunicación por infrarrojos utiliza luz infrarroja para transferir datos. Para poder llevar a cabo esta comunicación es necesario que ambos elementos estén perfectamente alineados y a una distancia corta.
- **Bluetooth:** El estándar Bluetooth se basa en el modo de operación maestro/esclavo. El sistema Bluetooth no sólo permite la conexión punto a punto, también permite conexión punto-multipunto. El Bluetooth posee un alcance de unas decenas de metros.

- **WiFi:** es un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica. A través de la red wifi podemos conectar los distintos dispositivos en un rango de hasta unas pocas centenas de metros. La conexión de los dispositivos se realiza mediante Internet, siendo más segura y fiable.
- **XBee:** Este sistema de comunicación inalámbrica usado en circuitos diseñados para trabajar con Arduino. Es un sistema de radiofrecuencia usado para transmitir datos entre dispositivos. Si lo usamos en interiores, posee un rango de 30m, mientras que si lo usamos en el exterior permite llegar a 100m.

Los sistemas infrarrojos al tener tan bajo rango de operación, no nos sirven para nuestra aplicación ya que los elementos se pueden encontrar a varios metros, por lo que la conexión no se realizaría. El wifi, aunque es un modo muy fiable y usado para transmitir datos, al necesitar internet impide la conexión en aquellos lugares sin punto de conexión a internet o con baja cobertura en caso de usar datos. Por lo tanto, para no depender del lugar donde se realiza la función, este sistema no lo vamos a usar. Respecto a Xbee, aunque es un sistema de muy bajo consumo (45mA al transmitir y 50mA al recibir datos), el dispositivo es muy caro, por lo que encarecería nuestro producto.

Por lo tanto, para nuestro producto usaremos módulos Bluetooth para conectarnos entre los distintos elementos, ya que es de bajo consumo, permite un rango de conexión suficiente para la aplicación y es de bajo coste.

HC-05

Dentro de los módulos bluetooth hay una diversa gama, por lo cual deberemos elegir el módulo que mejor se adapte a nuestro prototipo.

Para este tipo de funcionalidad existen dos módulos muy divulgados, el HC05 y el HC06. En apariencia son idénticos, la única diferencia es el firmware que los controla. Para nuestra red nos conviene usar el HC05, ya que permite una mayor configuración del módulo mediante los comandos AT.

Este módulo nos permite una conexión punto a punto con otros dispositivos bluetooth, pero sólo puede tener una conexión a la vez. Existen otros dispositivos multiconexión, que permiten que el módulo reciba información de varios dispositivos a la vez.

Este módulo se caracteriza por ser Maestro-Esclavo (dependiendo de la configuración), por lo que no sólo puede recibir conexiones (esclavo), también puede generarlas (maestro). Por defecto el módulo será esclavo, por lo que si queremos que alguno de nuestros módulos sea maestro, deberemos configurarlo mediante los *AT commands*, tal como se muestra en el siguiente apartado.

La conexión entre bluetooth puede ser general, por lo que el módulo puede conectarse a cualquier otro dispositivo, o específica. En nuestra aplicación hemos optado por una conexión específica entre módulos, asegurando que los distintos bluetooths realizan la transmisión de datos con el dispositivo correcto.

En la siguiente tabla podemos observar las distintas características del módulo bluetooth:

Tabla 3 Características eléctricas y físicas del módulo bluetooth

| Consumo | |
|---------------------------|---------------------|
| Corriente en comunicación | 8mA |
| Corriente en | 30-40mA |
| Tensión de trabajo | 3.1-4.2V |
| Sensibilidad | -80dB |
| Frecuencia de trabajo | 2.4GHz |
| Medidas | (27mm × 13mm × 2mm) |

Aquí mostramos el esquemático del módulo Bluetooth.

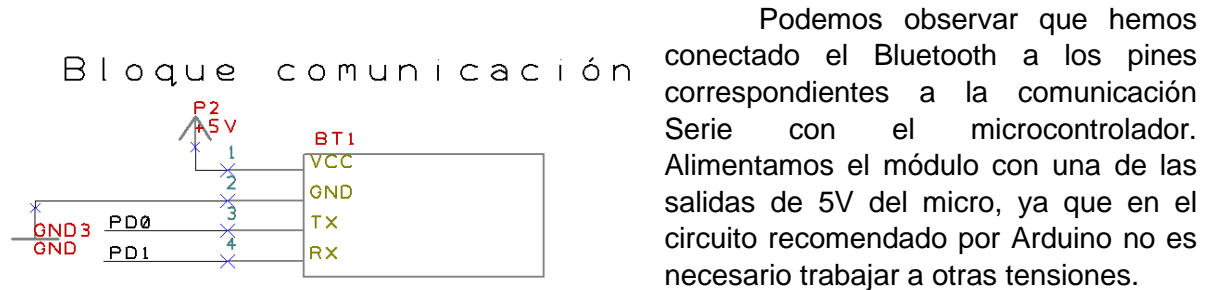


Figura 10 Esquemático del módulo bluetooth

Tal como podemos observar, el módulo tiene dos patas más, la correspondiente a TxD y RxD. La patilla TxD del módulo está conectada a la pata RxD del micro, mientras que la RxD del módulo se conecta con la TxD del micro. Ambas patillas son digitales.

Mediante la comunicación entre los elementos vamos a generar una red bluetooth formada por los tres elementos, los dos bailarines y la barra electrónica.



Figura 11 Red bluetooth

2.1. Configuración de los bluetooth y transmisión de datos

Tal como se ve en la figura 11, existen tres elementos en nuestra red bluetooth, los cuales tenemos que configurar para poder realizar una correcta conexión entre ellos. En primer lugar, debemos determinar cuál de los elementos será el maestro y cuales los esclavos. Para ello observamos en la figura que la barra se conecta con ambos bailarines, de los cuales recibirá los datos y realizará las acciones en función de los datos recibidos. Por tanto, la barra será el maestro y los bailarines los esclavos.

A continuación, se muestra un ejemplo de configuración del módulo bluetooth:

Enter AT commands:

```
AT                //Check the connection PC-Bluetooth
OK
AT+ROLE=1        //Config as master
OK
AT+ROLE          //Check master config
+ROLE:1
OK
AT+ADDR          //Get Bluetooth address
+ADDR:2016:2:224160
OK
AT+CMODE=0       //Set connect mode: connect fixed addres
OK
AT+BIND=2016,1,182644 //Set fixed address
OK
AT+NAME=BT3      //Set the name
OK
```

En el ejemplo anterior, se muestra la configuración del tipo de bluetooth y añade la dirección del bluetooth con el que se tiene que unir.

Una vez tenemos configurados los cuatro módulos, se debe proceder al emparejamiento de ellos: Este proceso sólo se realiza una vez, por lo que no será necesario repetirlo cada vez que se utilice el prototipo.

3. Interfaz

Otro de los bloques que debemos analizar es el bloque de la interfaz con el usuario. Este bloque consta de aquellos elementos que forman parte de las operaciones de interacción con el usuario: LEDs.

3.1. LEDs

Los principales elementos de la interfaz con el usuario son los LED RGB. A través de los LED vamos a realizar interacciones entre elementos, vamos a poder resaltar las distintas posturas del bailarín dando mayor intensidad al espectáculo.

Para poder llevar a cabo esta funcionalidad, podemos hacer uso de:

- **LEDs individuales**
 - **Monocolor:** aunque los LEDs individuales son más sencillos de controlar, necesitaríamos una gran cantidad de LEDs de diferentes colores, por lo que el consumo sería muy elevado imposibilitando la viabilidad y la autonomía del producto.
 - **Multicolor:** generalmente los LEDs multicolores son RGB. Mediante este sistema podríamos reducir el tema de la cantidad de LEDs necesarios, ya que con un solo LED podríamos elegir una gama de colores. AL igual que antes, necesitaríamos una gran cantidad de LEDs RGB para poder colocarlos en todos los sitios donde se requiere, por lo que el consumo también sería muy elevado.
- **Tira de LED**
 - **Control analógico:** Las tiras de LEDs nos reducen la problemática del consumo de LED. Generalmente las tiras de LEDs pueden ser monocolor o multicolor (mayor consumo para las monocolor al necesitar tiras de distintos colores). El control de este tipo de tiras es sencillo ya que todos los LEDs se encienden del mismo color.
 - **Control digital:** Son tiras de LEDs RGB al igual que en el caso anterior, pero se puede controlar el color de cada LED de forma independiente.

Para nuestro producto nos decantamos por una tira de LEDs controlada bit a bit, ya que el consumo no es muy elevado y además se puede conseguir de mejor manera el objetivo al que se quiere llegar con los LEDs.

WS2812B

Los WS2812B son LED que disponen de lógica integrada, por lo que podemos controlar el color de cada LED de forma individual. Están basados en el led 5050, un LED RGB de bajo consumo y con alto brillo. A este tipo de tiras se les denomina *individual addressable* ya que posee un integrado dentro de cada LED, permitiendo el acceso individual.

Cada uno de estos integrados almacena 3 bytes (24 bits), que corresponden a los 3 colores del RGB, cada pixel puede tener 256 niveles de brillo en 3 colores, lo que supone un total de 16,777.216 posibles colores.

Cuando un LED recibe un flujo de datos, almacena los últimos bytes recibidos y transmite los que contenía al siguiente. Finalmente, con una señal de *resetcode*, cada LED muestra el último valor almacenado.

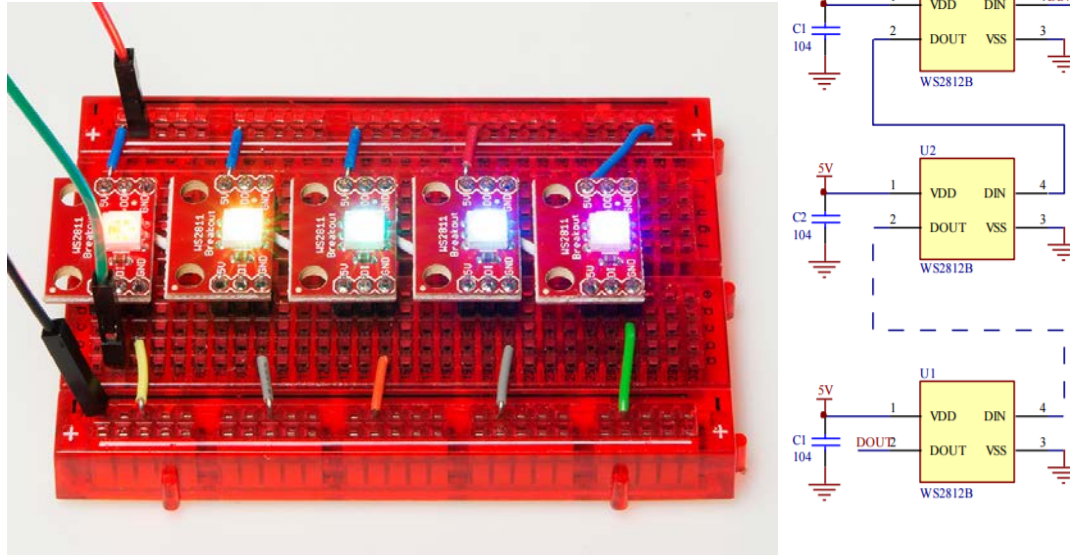


Figura 12 Ejemplo de transmisión de datos de LED

Fuente: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/ws2812-breakout-hookup-guide>

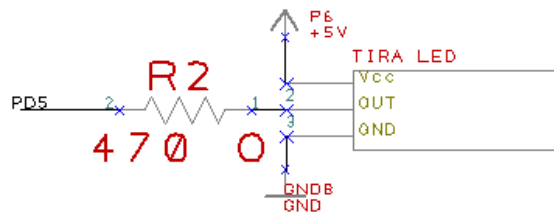
Cada vez que un punto transmite al siguiente una señal, realiza una reconstrucción de forma que la distorsión y el ruido no se acumulan, evitando el uso de varios metros de tiras sin necesidad de dispositivos adicionales.

A continuación, mostramos algunas de las características de nuestra tira de LEDs elegida:

Tabla 4 Características eléctricas y físicas de las tiras de LEDs

| Consumo | |
|--------------------|--------------------------------|
| Corriente | 20mA |
| Tensión de trabajo | 3.5-5.3V |
| Potencia | 9W (30 LEDs al máximo consumo) |
| | 30 LEDs/m |
| Nº de colores | $256^3 = 16777216$ |
| Medidas | 10mm × 2.5mm × 5m |

En la imagen visualizamos el esquemático de la tira de LED. Será necesario uno por cada fragmento de tira usado.



Usamos una resistencia de 470Ω ya que es la recomendada por el fabricante.

Figura 13 Esquemático de la tira de LEDs

La patilla PD5 corresponde a una patilla digital PWM del micro, ya que en función de la tensión de salida del microcontrolador, controlada por software, estamos eligiendo un color determinado para la tira.

3.2. Sensor de proximidad

Para realizar la interacción entre barra y bailarín, no sólo haremos uso de la comunicación inalámbrica, también usaremos un sensor que nos detecte si el bailarín está en la barra.

Para realizar esta tarea disponemos de diferentes tecnologías:

- **Botón:** cuando el bailarín ponga la mano encima de la barra, pulsará el botón y comenzará la interacción.
- **Sensor de proximidad:** otra forma de detectar al bailarín sería mediante un sensor de proximidad.
 - Fotodiodo: El fotodiodo serviría para detectar la mano al no recibir luz.
 - Capacitivos: Detectan la variación de un campo eléctrico, mostrando así que el bailarín ha colocado la mano en la barra.
 - Inductivos: Generan un campo magnético y detectando las pérdidas de corriente de dicho campo generadas al introducirse en él los objetos de detección férricos y no férricos.

Para nuestro producto hemos elegido un sensor basado en la tecnología de los fotodiodos, ya que es de sencillo manejo y fácilmente incorporables a la barra.

Line Finder

Se compone de dos elementos, uno activo y otro pasivo. Cuando el bailarín coloque la mano, el fotodiodo dejará de recibir la luz del LED, por lo tanto, cambiará la corriente y con ello la tensión detectando así la presencia del bailarín.

En la siguiente tabla se muestran las características del sensor elegido:

Tabla 5 Características eléctricas y físicas del sensor de proximidad

| CONSUMO | |
|------------------------------------|-------------------|
| Rango de tensión de funcionamiento | 3.3-5V |
| Medidas | 20mm × 20 mm × 5m |

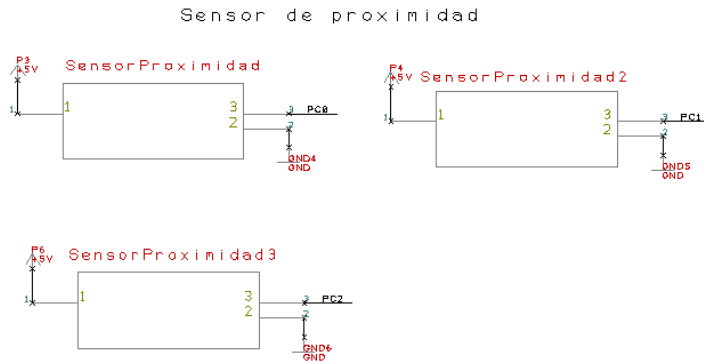


Figura 14 Esquemático del sensor de proximidad

En la siguiente imagen podemos observar el esquemático de los fotodiodos. En nuestra barra electrónica se hallarán tres sensores colocados de forma estratégica y los cuales podrán ser intercambiados de lugar en la barra dependiendo de la función del producto para ese momento.

Al igual que en el sensor de ultrasonidos, la salida del sensor de proximidad es digital, 0V si detecta la

luz y 5V si detecta oscuro, por lo tanto, las patitas de los sensores se conectarán a 3 patillas digitales del microcontrolador y éstas deberán configurarse como entrada.

4. Control

Tendremos que contar con un microcontrolador que haga la gestión de todos los elementos presentes en nuestro producto. En nuestro caso usaremos un microcontrolador de Arduino, el ATmega328P, por sus prestaciones, precio y disponibilidad en el laboratorio.

Características eléctricas del Arduino UNO:

Tabla 6 Características eléctricas y físicas del ATmega328P

| Rango de tensión de funcionamiento | 5V |
|------------------------------------|-------------|
| Corriente de alimentación | 200mA |
| Corriente por I/O pin | 20mA |
| Velocidad del reloj | 16MHz |
| Temperatura de trabajo | -55 a 125°C |

A continuación, se muestra el esquemático de este bloque:

Placa de la barra

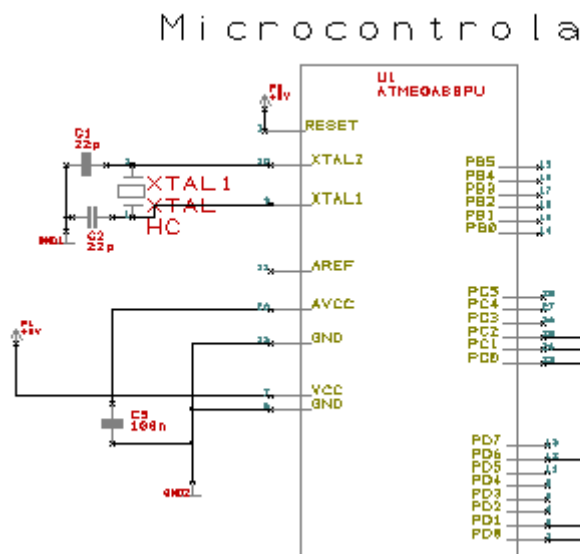


Figura 15 Esquemático del microcontrolador de la barra

Placa principal del bailarín

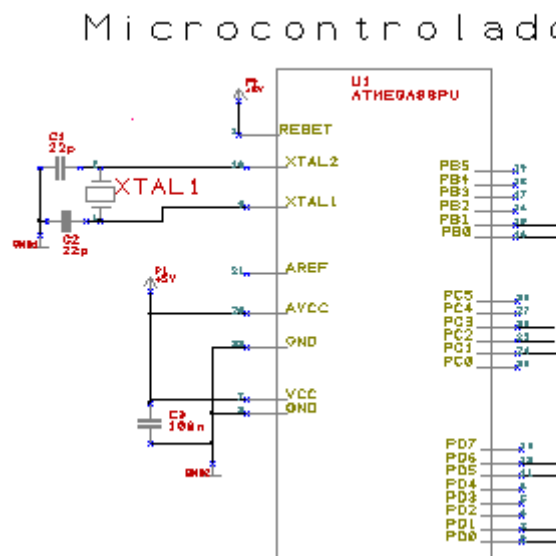


Figura 16 Esquemático del microcontrolador del bailarín

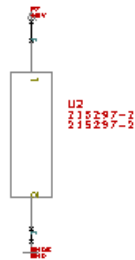
La patilla de RESET no la vamos a utilizar, por lo que la conectaremos a 5V. Tendremos que incorporar los elementos necesarios para instalar el cristal. Tanto la alimentación digital como la analógica las llevamos a 5V. Las patillas de GND las llevamos a 0V.

5. Alimentación

5.1. Alimentación de la barra

Debido al exceso de corriente requerida⁸ de los componentes necesarios para la barra, se ha optado alimentarla directamente a la red, adaptando la tensión mediante un transformador CC.

Bloque alimentación



A continuación podemos observar el esquemático de la alimentación de la barra.

Tal como hemos comentado, al alimentarnos a través de la red, sólo es necesario un conector para la entrada de la alimentación.

Figura 17 Esquemático de la alimentación de la barra

5.2. Alimentación del bailarín

Tanto la placa principal como la del pie deberán alimentarse por medio de pilas o baterías. Para nuestro producto hemos escogido unas pilas redondas, ya que son más fáciles de colocar y no ocupan mucho espacio.

Cómo su tensión es inferior a la necesaria para alimentar nuestro circuito, deberemos realizar una adaptación de tensiones mediante un boost.

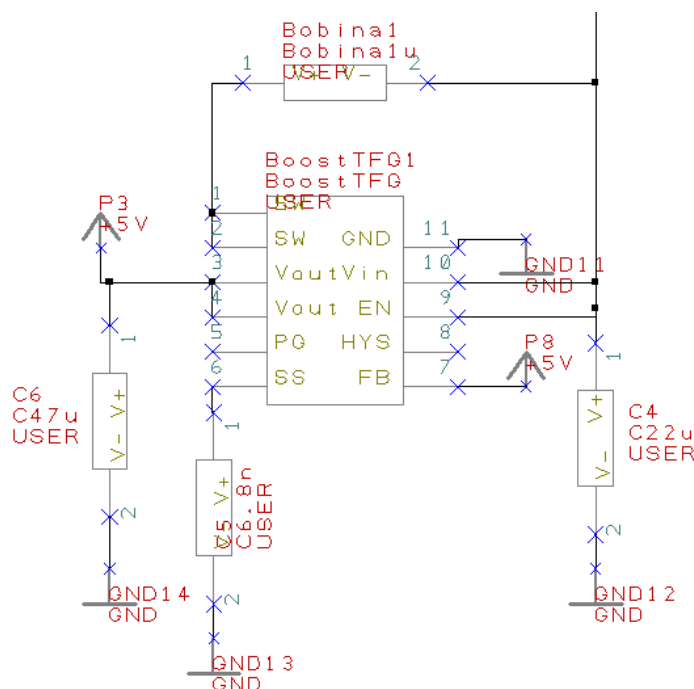


Figura 18 Esquemático de la alimentación del bailarín

Aquí mostramos el esquemático del circuito de adaptación (tanto para la placa principal como para la del pie).

Los componentes elegidos se muestran en el Anexo III del documento.

En el webench⁹ se puede observar el circuito devuelto, en el cual nos hemos basado

⁸ Los cálculos se recogen en el Anexo III de este documento

⁹ Véase Anexo II Datasheet

Capítulo 4. Diseño de las PCBs

Para el diseño de las PCB se han tenido en cuenta varios criterios:

- Seguir la norma en el trazado de las pistas.

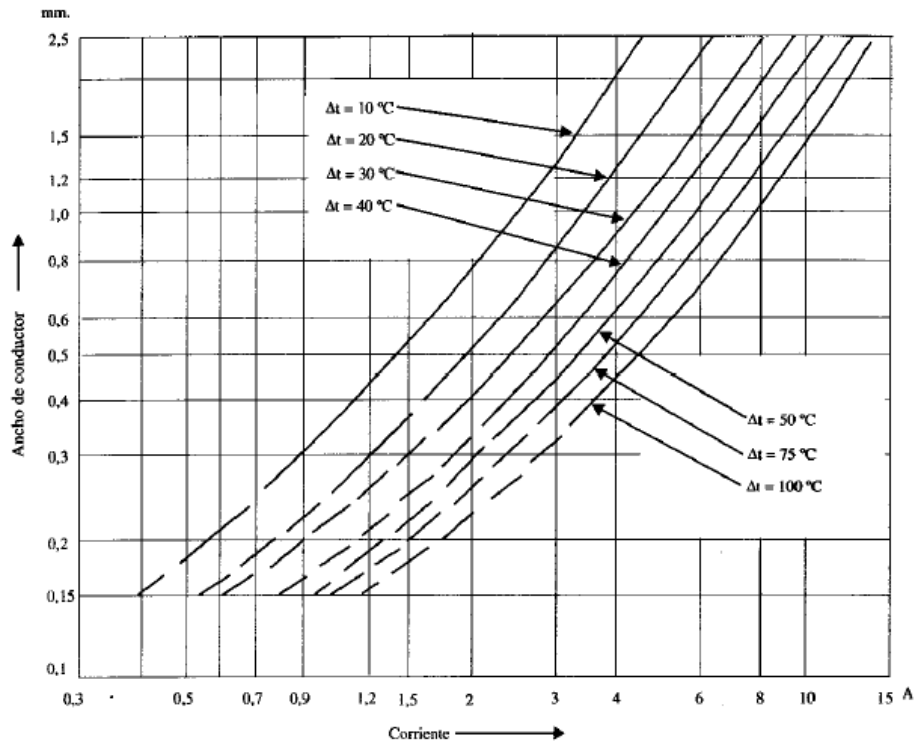


Figura 19 Corriente máxima admisible por las pistas

(Fuente: Torres Portero, Miguel Ángel, *Oficina de proyectos*, Dpto de Ingeniería de proyectos, Universidad de Zaragoza, 2016.)

- Separar la parte analógica del micro, evitando así el ruido.
- Separar la parte de potencia y alimentación de los sensores.
- Soldar los componentes con patillas cortas por la cara inferior ya que resulta más sencillo.
- Las pistas de los conectores en la cara BOTTOM y las pistas de los SMD en la cara TOP (siempre que sea posible).
- Generar planos de masa en ambas caras para favorecer el retorno de las corrientes, evitando posibles ruidos.

Los planos de las PCB y los esquemáticos se encuentran en el Anexo IV, mostrados en el siguiente orden:

- Esquemático y PCB de la barra
- Esquemático y PCB de la placa principal del bailarín

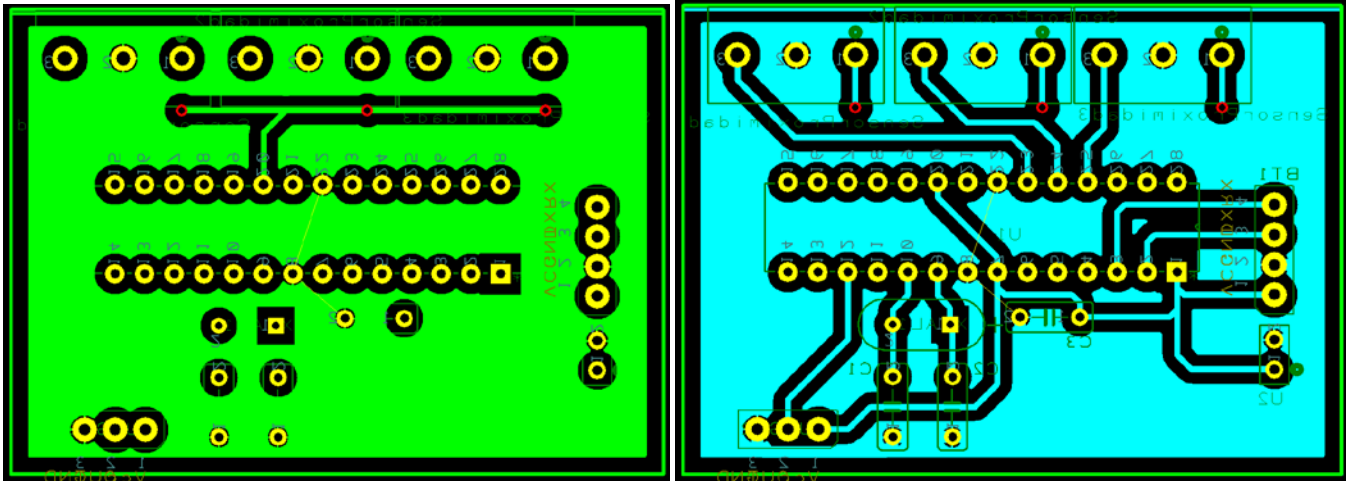


Figura 20 Caras TOP y BOTTOM de la placa de la barra

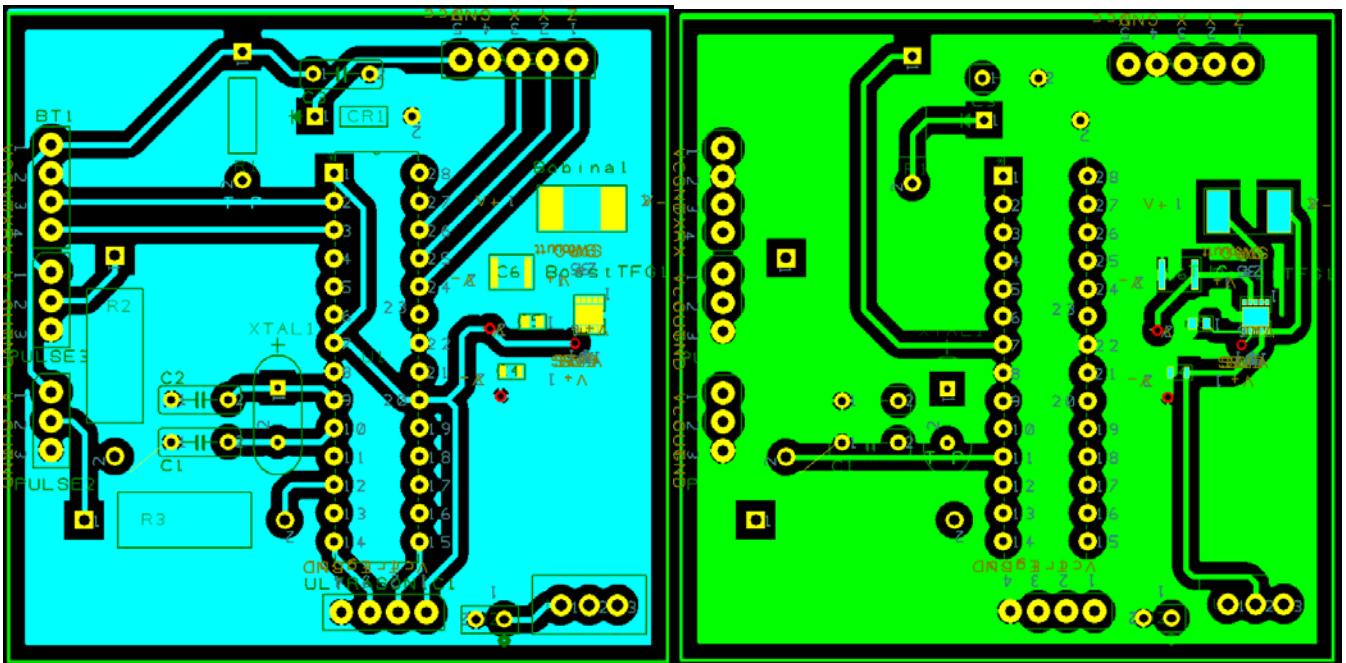


Figura 21 Caras TOP y BOTTOM de la placa del traje del bailarín

Capítulo 5. Diseño firmware

En este capítulo vamos a realizar el diseño del firmware de nuestro proyecto. Tal como hemos comentado en capítulos anteriores, en nuestro prototipo poseemos dos elementos, bailarín y barra, los cuales tienen microcontroladores para gestionar la información recibida y controlar los actuadores. Por lo tanto, deberemos diseñar el firmware para ambos controles.

1. Grafos de estado

Para comenzar, diseñamos un sencillo grafo de estados, en el que se muestra de forma muy sencilla el funcionamiento que deberán tener ambos elementos.

En la figura 22 se observa el grafo de estados de la barra, formado por cuatro estados. En el estado de *Reposo*, la barra esperará a recibir la información de los fotodiodos. Cuando uno o dos de los fotodiodos detecta a los bailarines, la patilla de datos del fotodiodo se pone a 5V, por lo que se cambiará al estado *Comunicación*. En este estado se procede al proceso de envío/transmisión de datos, cuando se recibe el color o colores en el caso de haber dos bailarines, se termina este tratamiento, se inicia el estado *Colorear*, el cual consiste en aplicar el color recibido a la tira de LEDs de la barra. En el caso de hubiese dos bailarines, se producirá el efecto enfrentamiento.

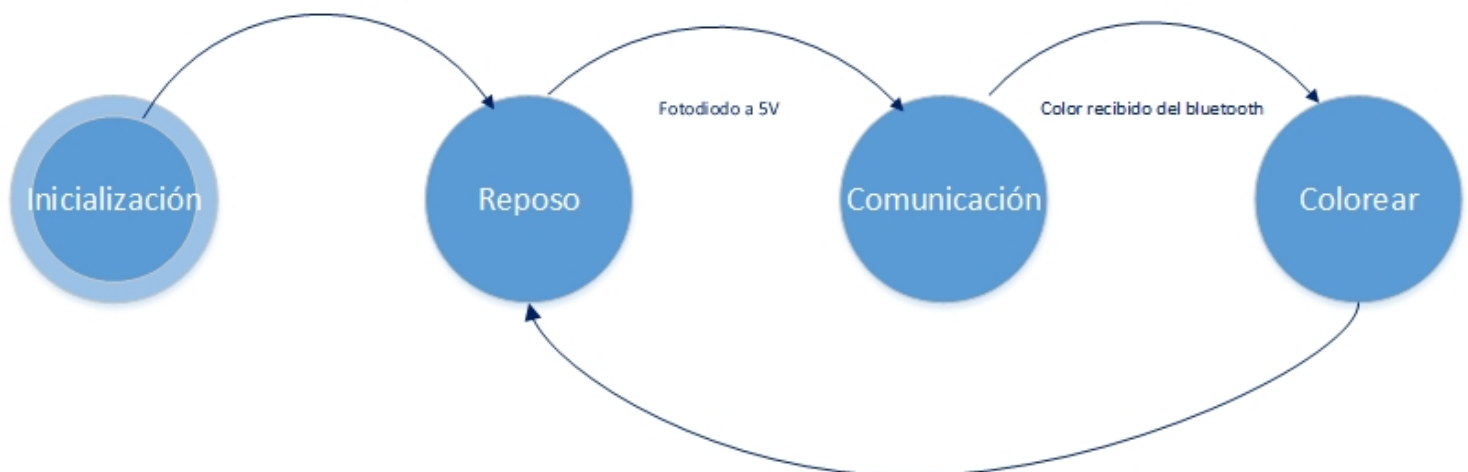


Figura 22 Grafo de estados de la barra

En la figura 23 podemos comprobar el funcionamiento del traje del bailarín. Al igual que en el grafo anterior, comenzamos con un estado en el que se inicializan todas las patillas, la comunicación *serial*, etc. Una vez hemos terminado, nos encontramos en el estado de *Reposo* del cual se saldrá cuando recibamos algún dato de alguno de los sensores del traje, por lo tanto, pasaremos al estado *Control sensores*. Si por el cambio hemos recibido un dato de la barra, se procederá a comenzar la comunicación entre ambos elementos. Si hemos entrado en el estado del control de los sensores, comprobaremos qué sensor se ha activado y aplicaremos la acción correspondiente. Si tras este proceso recibimos un dato de la barra, entraremos en el estado *Comunicación*. En el estado *Comunicación* trataremos el dato leído y le enviaremos el color que lleve el bailarín en ese momento a la barra. Cuando termine la comunicación, volveremos al estado de *Reposo* y esperaremos a la activación de un nuevo sensor o la comunicación.

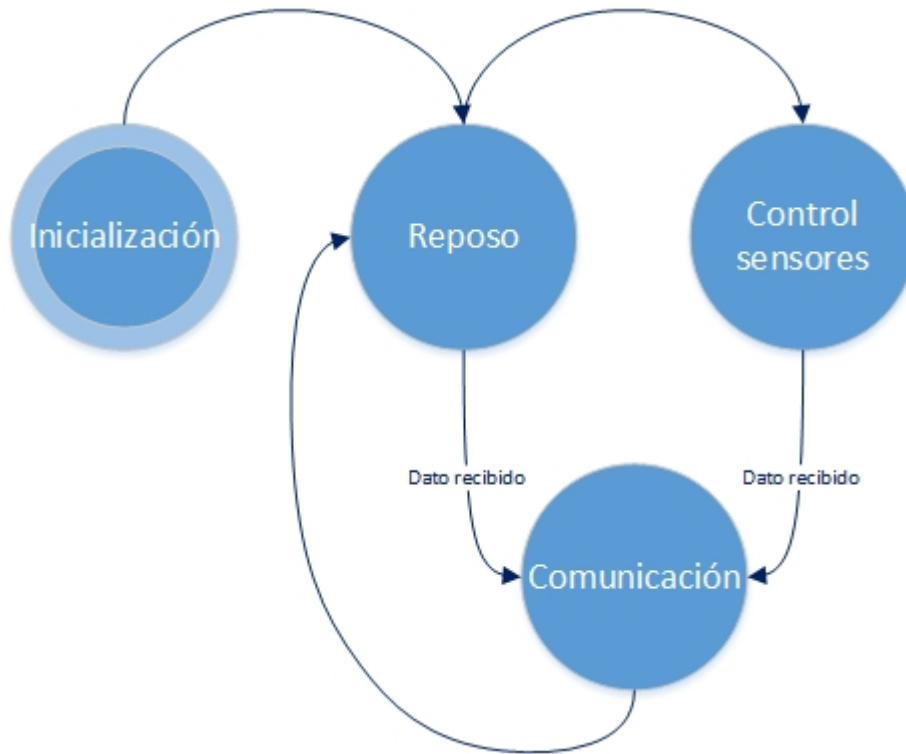


Figura 23 Grafo de estados del bailarín

Una vez tenemos definidos los grafos de estado, se procede al diseño del diagrama de flujo, el cual nos servirá de base y facilitará la posterior codificación del programa del control de los microcontroladores.

2. Diagramas de flujo

Diagrama de flujo del control de la barra electrónica

Tal como podemos observar en la figura 24, cuando el bailarín coloca la mano en la barra, el fotodiodo, colocado en la superficie, detectará la mano del bailarín. Entonces se le enviará un dato al bailarín, el cual responderá con el color que el bailarín lleve en ese momento y se le aplicará una acción dependiente de la situación. Si sólo existe un solo bailarín colocado en la barra, el color del bailarín se mostrará completamente en la barra encendiendo LED a LED haciendo el efecto de contagio. En el caso de que haya dos bailarines colocados, se procederá al mismo efecto, pero sólo rellenaremos la mitad de la barra con el color, mostrando también el efecto de enfrentamiento entre colores.

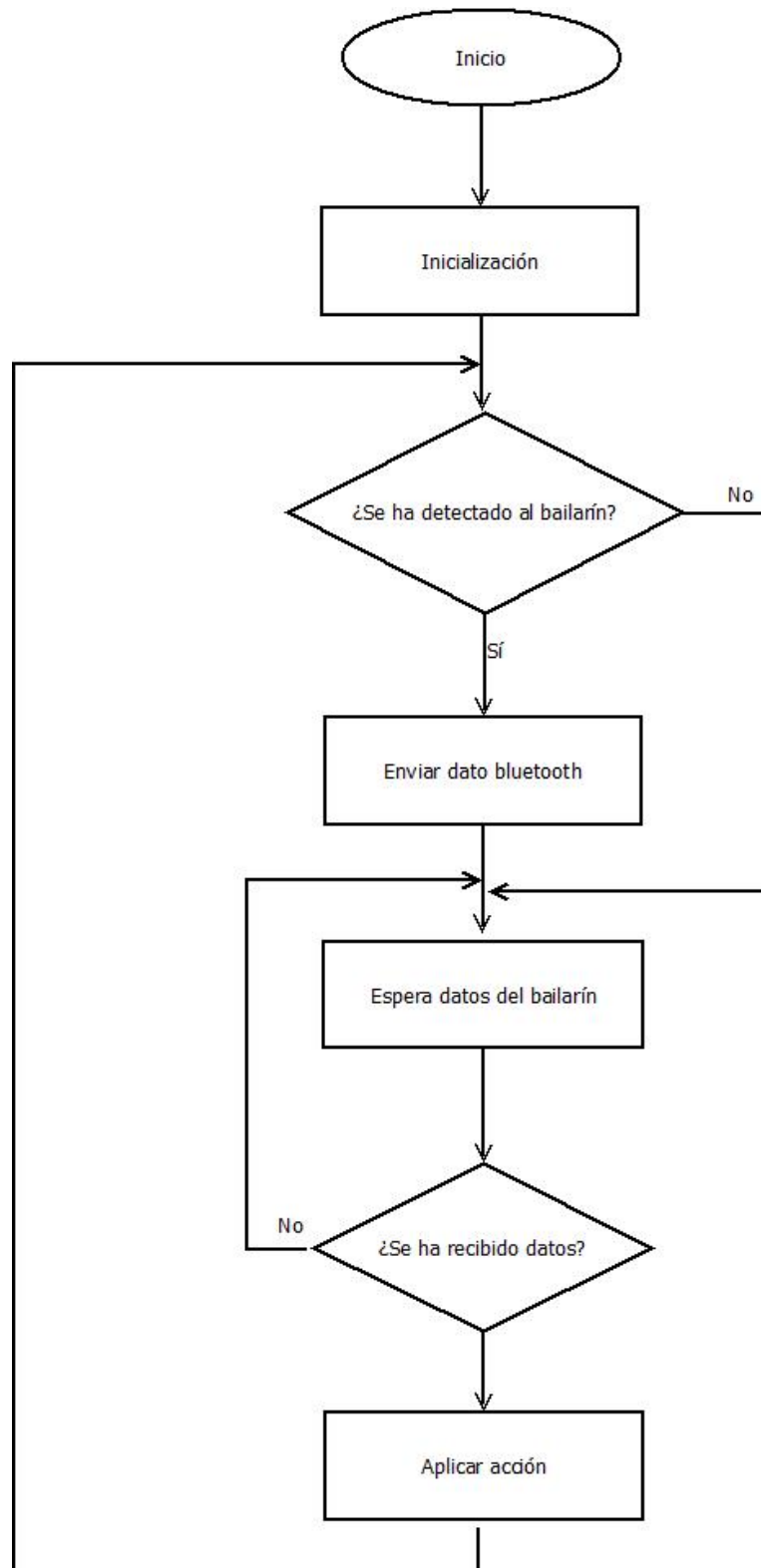


Figura 24 Diagrama de flujo del control de la barra

Diagrama de flujo del control principal del bailarín

Respecto a la figura 25, ésta nos muestra el comportamiento principal del traje del bailarín. Cuando el sensor de distancia detecte un cambio en la distancia con el bailarín, la acción que debe realizar es un cambio de intensidad en el color del traje. En el caso de que la distancia sea mayor, reduciremos la intensidad, por el contrario, si el bailarín se ha acercado, aumentaremos la intensidad. Otra de las acciones que realizará será un pequeño parpadeo cuando el bailarín realice algún giro durante la coreografía.

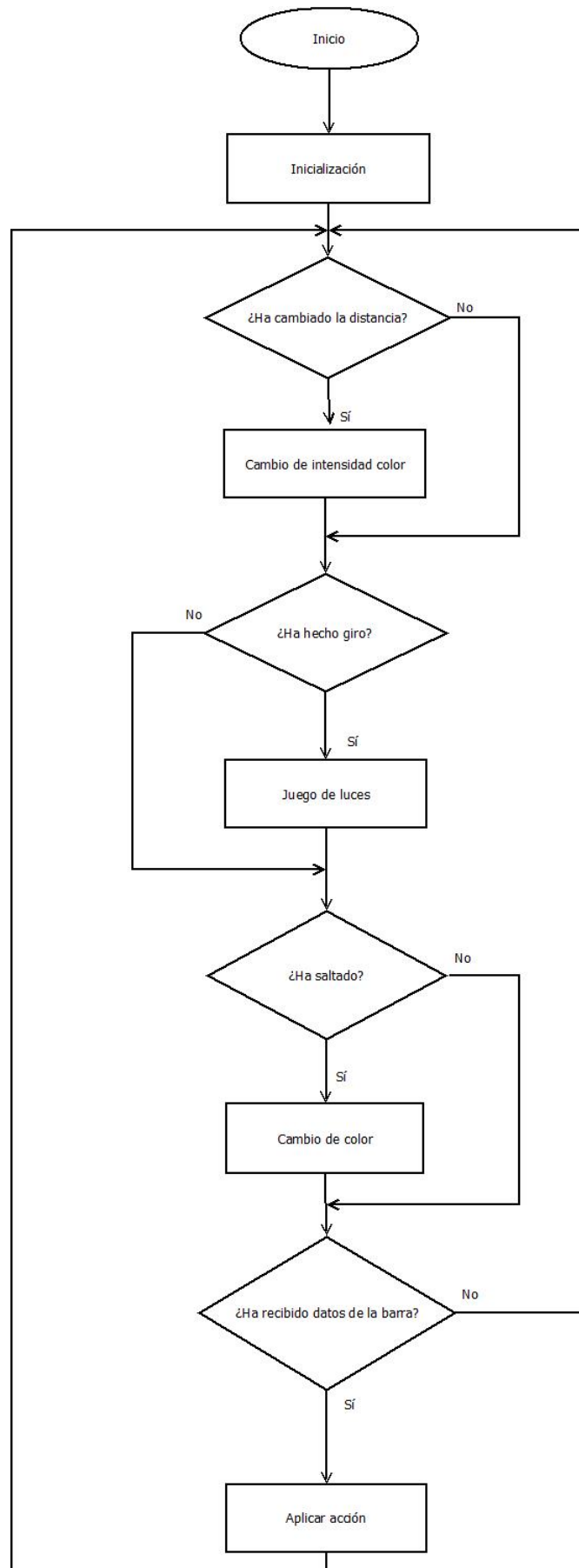


Figura 25 Diagrama de flujo del control del traje del bailarín

Capítulo 6. Resultados, conclusiones y líneas futuras

En este capítulo vamos a final el desarrollo del producto.

1. Implantación final y pruebas

Una vez tenemos las placas fabricadas, se realiza el proceso de soldadura. Este proceso se realiza en varias fases. Inicialmente se comprueba la continuidad de las masas, en ocasiones los dos planos de masa no están conectados, ya que esta conexión se realiza mediante un componente. Una vez hemos asegurado que todas las masas están unidas (o unidas en cuanto se añada el componente), comienza la fase de soldado del circuito de alimentación.

Tras ello, procedemos a comprobar que el circuito funciona correctamente, es decir, que llega la tensión necesaria. A continuación, mostramos un enlace al vídeo donde se prueba el circuito de tensión de la placa del bailarín:

<https://www.youtube.com/watch?v=qp5mgw2BJTA>

Finalmente terminamos el proceso de soldadura con los componentes restantes.

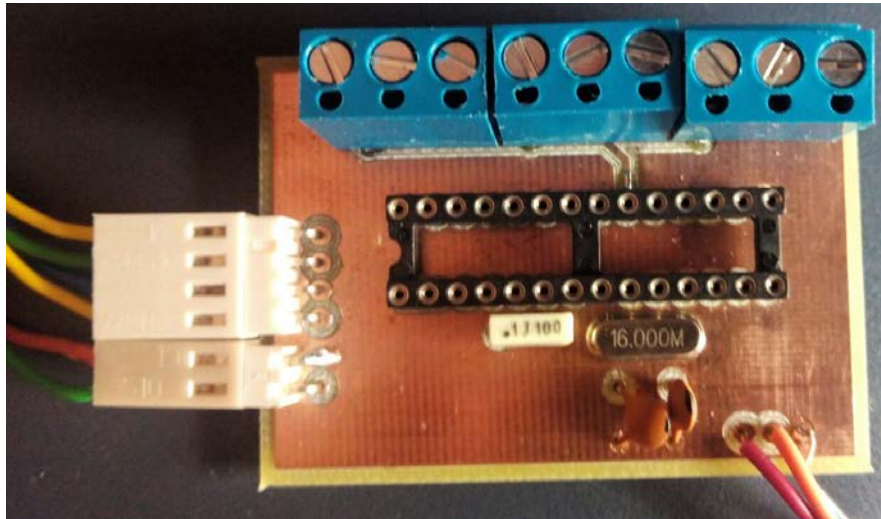


Figura 26 Placa final de la barra

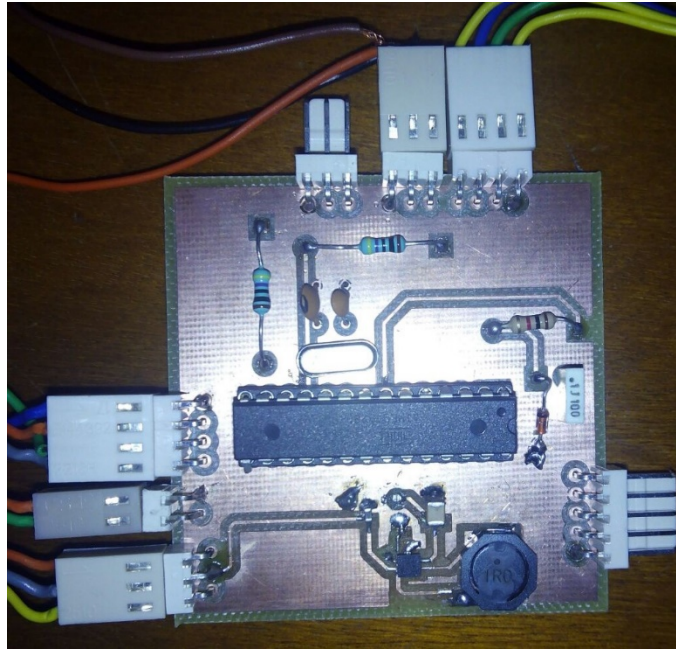


Figura 27 Placa final del traje del bailarín

Una vez hemos finalizado este proceso, comienzan las pruebas del firmware. En primer lugar, se comienza con el testeado de los sensores, asegurando que devuelven los valores correctos.

En el siguiente enlace, podemos observar el vídeo dónde realizamos las pruebas con nuestros sensores:

- Ultrasonidos: <https://youtu.be/ysZ1PtKudVs>

En segundo lugar, se deben probar los actuadores, en nuestro caso la tira de LEDs. Esta prueba no sólo se usó para comprobar el estado de los LEDs, también se usó para probar el material de la barra. En la figura 28 podemos observar el resultado de esta prueba.



Figura 28 Prueba de los LEDs con el material de la barra

A continuación, mostramos el enlace al vídeo en el que se realiza la prueba de los LEDs de la barra. En el vídeo se utiliza una tira de un metro, con 30 LEDs. Con esta prueba, además comprobábamos el consumo de la tira.

<https://youtu.be/m14tHyRAjh8>

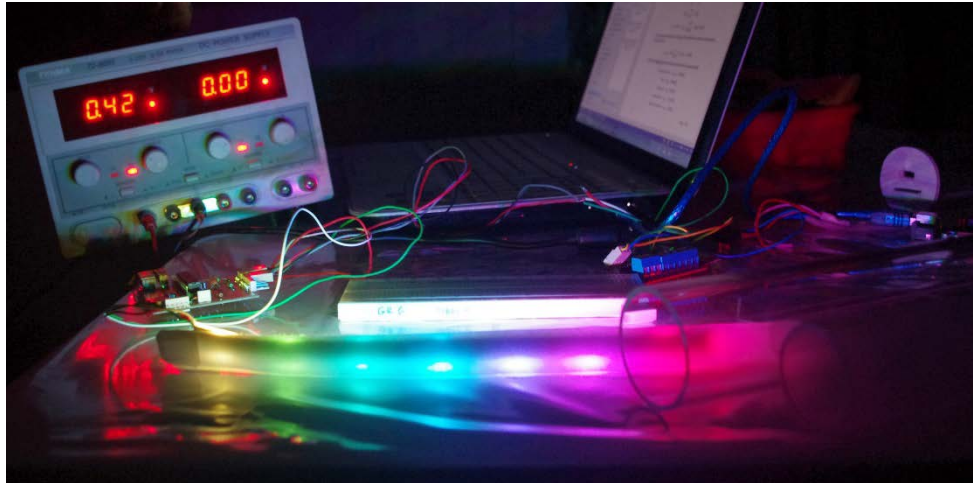


Figura 29 Prueba de los LEDs y comprobación de la corriente requerida

Finalmente, se debe examinar la red bluetooth, mostrada en la figura 11. Para ello, inicialmente se deberán configurar mediante los comandos AT usados en los módulos bluetooth. Para entrar en el *Command Mode* deberá haber 5V en el pin *Enable* del módulo. Una vez configurados, debemos emparejarlos y conectarlos.

En el siguiente enlace podemos visualizar un breve vídeo en el que se verifica la conexión de los bluetooth y el envío y transmisión de datos entre ellos.

<https://youtu.be/OGSICD46XvM>

Tras todo ello, deberemos probar todos los elementos juntos. En el *storyboard*, Fig.30, se muestra de forma gráfica el funcionamiento del producto.

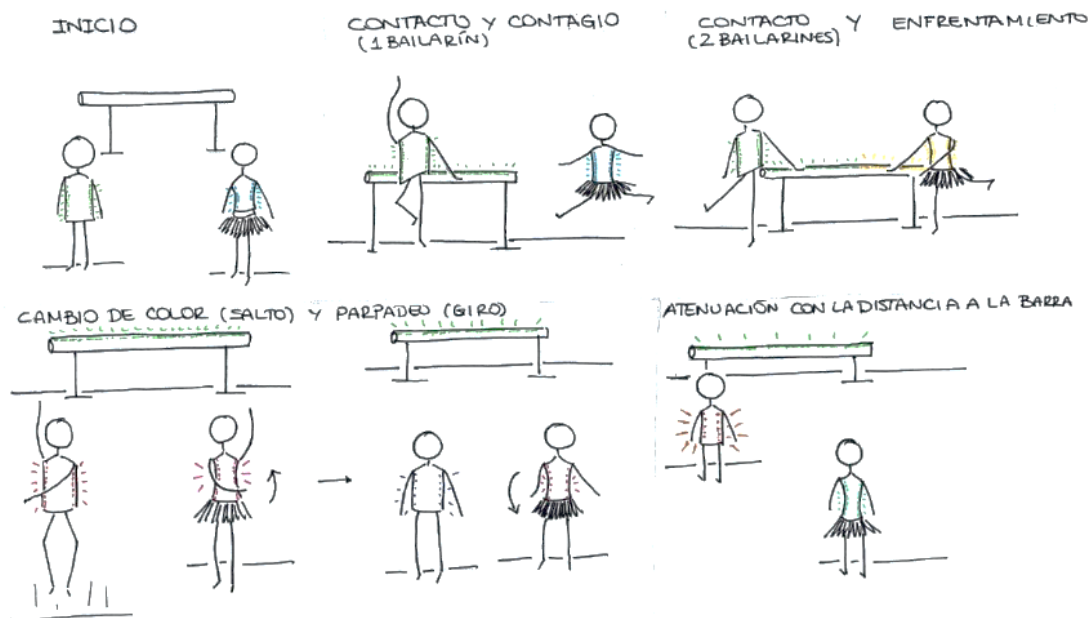


Figura 30 Storyboard

Una vez verificadas todas las partes de nuestro prototipo, se realiza una prueba general en el que los bailarines realizan un pequeño espectáculo de baile y se comprueba el funcionamiento representado de forma gráfica en la imagen anterior.



Figura 31 Prototipo de traje colocado en el bailarín



Figura 32 Funcionamiento de los LEDs del traje

En el siguiente enlace mostramos un breve vídeo en el que podemos ver una demostración del funcionamiento de la barra y el traje:

https://youtu.be/v_k4jh_Zv2o

2. Conclusiones y opinión personal

Conclusiones:

De todo el proceso anterior podemos abstraer algunas conclusiones sobre el desarrollo realizado durante el proyecto:

En primer lugar, se observa que se ha conseguido realizar todos los objetivos marcados al inicio de este documento, por lo cual se puede considerar que el proyecto ha sido un éxito.

En segundo lugar, debemos destacar la versatilidad de nuestro prototipo, ya que la puesta a punto y su configuración no ha sido desarrollada para un espectáculo concreto. Nuestra red de sensores detecta los movimientos y realiza unas acciones en función del movimiento realizado, por lo tanto, se podría utilizar nuestro prototipo para multitud de espectáculos. Además, el uso de la barra electrónica en el espectáculo no es obligatoria, ya que el traje interactivo es independiente del elemento central.

Por otra parte, debemos destacar que en este proyecto se ha desarrollado desde el inicio un prototipo funcional, con su correspondiente puesta a punto. Para ello ha sido necesaria la aplicación de conocimientos adquiridos durante el grado y nuevas habilidades requeridas durante el transcurso de las distintas fases.

Gracias a la realización de este proyecto se han adquirido y puesto en práctica habilidades de comunicación, ya que era necesaria la participación de dos personas para su desarrollo siendo de vital importancia tanto el intercambio de ideas entre ellas, como con el cliente; así como habilidades de expresión: para poder desarrollar este proyecto, ha sido necesario aprender a expresarse facilitando la comunicación entre las compañeras y con el cliente, ya que al ser una persona totalmente ajena al mundo de la tecnología, era muy difícil saber qué estaba opinando cada parte (tanto el cliente como nosotras) para finalmente generar las ideas que han llevado a buen puerto este prototipo; también, habilidades de presentación ya que durante las primeras fases del proyecto se le presentaron a Antonio las diversas ideas que se iban teniendo por lo que además se ponían en práctica las otras habilidades ya adquiridas.

El proyecto tiene un enfoque colaborativo en el que dos estudiantes, una del Grado de Ingeniería de Diseño del producto Industrial y Desarrollo del Producto y otra del Grado de Ingeniería Electrónica y Automática, han tenido que trabajar de forma síncrona para la realización del prototipo, poniendo en evidencia las competencias transversales del proyecto. Por lo tanto, es un proyecto totalmente multidisciplinar en el que ha sido necesario el trabajo tanto individual como colectivo de ambas integrantes.

Opinión personal

En primer lugar, estoy satisfecha de este proyecto. Ha sido un proceso largo, en el cual, tanto mi compañera como yo, nos hemos enfrentado a distintos retos. Por ejemplo la comunicación con Antonio, la cual al principio era difícil, ya que es una persona ajena al mundo de la ingeniería y con conocimientos tecnológicos limitados. Pero tras ese duro proceso hemos conseguido crear un prototipo funcional y versátil, el cual se puede utilizar en múltiples actuaciones, ya no sólo en el ámbito de la danza.

En segundo lugar, decir que comenzar desde cero un proyecto tan amplio y en un ámbito nuevo como es el de la danza, ha exigido que pusiera a prueba mis conocimientos adquiridos durante el Grado así como otras habilidades como la comunicación, con mi compañera y Antonio. Por lo tanto, mi grado de satisfacción es alto, ya que hemos conseguido trabajar en equipo y gracias a ello diseñar, construir y poner a punto un prototipo.

En conclusión, esta ha sido una experiencia enriquecedora que me ha ayudado a crecer de forma personal y profesional

3. Futuras mejoras

En este apartado vamos a exponer las distintas mejoras que se podrían realizar en nuestro prototipo, las cuales añadirían valor al producto final.

Una mejora de nuestro producto sería tener un interruptor de tres posiciones. Una posición de apagado, otra que nos ponga en modo interacción con la barra, en la que detectaremos la distancia con la barra, y modo bailarín, en la que además también realizaríamos acción sobre el traje cuando haya alteraciones de distancia, por ejemplo, entre bailarines. Esta mejora, permitiría el uso del producto de forma parcial, es decir, si en alguna coreografía la barra electrónica no es necesaria, se pondría el interruptor en el modo Bailarín y se realizaría la interacción entre los bailarines del escenario únicamente. Con esta mejora, aumentaríamos la versatilidad del producto.

La siguiente mejora se basa en la anteriormente explicada. Esta mejora consistiría en la optimización de la red bluetooth, la cual permitiría la incorporación de más bailarines, usando el modo de interacción entre bailarines únicamente.

Otra de las opciones que se podrían desarrollar sería incluir un sensor que detectara el pulso cardíaco del bailarín, mostrando dicho pulso en los leds, mediante el cual podríamos mostrar el ritmo creciente de la función.

Con el aumento del uso de los dispositivos móviles, *smatphones*, otra de las mejoras que se pueden realizar es la creación de una *App* que permita el control desde un dispositivo móvil. De esta manera una persona externa podría controlar el traje desde su *smartphone*. Esta idea, aunque se ha comenzado a desarrollar, no ha sido posible su implementación en el proyecto, por lo que se ha dejado como una posible mejora futura.

Por último, una de las posibles mejoras para nuestro prototipo es incluir un sensor de nivel de sonido y en función de la tensión devuelta (es decir, en función el nivel de sonido) podríamos realizar una acción sobre el traje del bailarín o la barra. Por ejemplo, encendiendo o apando los leds cuando el sonido aumente o disminuya según corresponda.

Bibliografía

- Referencia sobre la danza y su historia:

[1] Karen Armas, “La danza, historia, arte y cultura”, Blog de la historia de la danza, 2014
<http://historiaarteculturakika.blogspot.com.es/2012/02/normal-0-21-false-false-false-es-co-x.html>

- Sensores

[2] Antonio Bono, “*Transductores y Sistemas de Instrumentación*”, vol.3, 2015

- Acelerómetro

[3] 5Hertz, “*ABC del acelerómetro*”, Tutoriales de electrónica, 2014
<http://5hertz.com/tutoriales/?p=228>

[4] apoorveinstein, “*Interfacing ADXL335 with ARDUINO*”, Electronic and Robotic blog, 2014

<http://www.instructables.com/id/Interfacing-ADXL335-with-ARDUINO/>

- Sensor de distancia

[5] Tautvidas Sipavičius, “*Distance sensing with ultrasonic sensor and Arduino*”, Electronic blog, 2012

<http://www.tautvidas.com/blog/2012/08/distance-sensing-with-ultrasonic-sensor-and-arduino/>

[6] Dejan Nedelkovski, “*Ultrasonic Sensor HC-SR04 and Arduino Tutorial*”, Arduino tutorial, 2015

<http://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04/>

[7] John, “*Ultrasonic Range detector using Arduino and the SR04 Ultrasonic sensor*”, Electronic and Robotic blog, 2016

<http://www.instructables.com/id/Ultrasonic-Range-detector-using-Arduino-and-the-SR/?ALLSTEPS>

[8] Sparkfun, “*Ultrasonic Sensor – HC-SR04*”, Tutoriales y notas de aplicación, 2016
<https://www.sparkfun.com/products/13959>

[9] ECDA, “*Tutorial: sensor ultrasonidos HC-SR04*”, Tutoriales de arduino, 2014
<http://elcajondeardu.blogspot.com.es/2014/03/tutorial-sensor-ultrasonidos-hc-sr04.html>

- Sensor de proximidad

[10] Seed Developers, “*Grove Line Finder*”, Ficha técnica del sensor, 2015
http://wiki.seeedstudio.com/wiki/index.php?title=Twig_-_Line_Finder

- Sensor de fuerza

[11] Ángel Eduardo Peña, “Sensores de fuerza resistivos”, Sensor blog, 2013

<http://sensoresyactuadorese7.blogspot.com.es/2013/07/sensores-de-fuerzaresistivos-fsr.html>

[12] AdaFruit Developer, “Using a FSR”, Distribución y tutoriales, 2015

<https://learn.adafruit.com/force-sensitive-resistor-fsr/using-an-fsr>

[13] National Instruments, “Análisis del funcionamiento del sensor de fuerza resistivo (FSR) con LabVIEW”, Application note, 2009

www.datalights.com.ec/site2/images/stories/robotica/nap/nap_fsr.pdf

- Actuadores

- Tira de LEDs

[14] Luis Llamas, “Conectar arduino con paneles y tiras LEDs RGB WS2812B”, tutoriales de Arduino, 2016

<http://www.luisllamas.es/2016/02/arduino-led-rgb-ws2812b/>

[15] AdaFruit Developers, “The magic of NeoPixels”, Tutoriales y distribución, 2016

<https://learn.adafruit.com/adafruit-neopixel-uberguide/>

[16] Sparkfun, “WS2812 Breakout Hookup Guide”, Tutoriales y notas de aplicación, 2016

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/ws2812-breakout-hookup-guide>

[17] Hans, “Controlling a WS2812 LED strand with NeoPixel or FastLED”, Tutoriales de electronica, 2014

<http://www.tweaking4all.com/hardware/arduino/arduino-ws2812-led/>

- Comunicación

- Bluetooth

[18] Unihobbies, “Wiring the HC-05/06/07 Bluetooth module + Arduino”, Learn & Tutorials, 2014

<http://unihobbies.co.za/learn/using-the-hc-0567-bluetooth-module-arduino/>

[19] Shah Saifur Rahman, “AT command mode of HC-05 and HC-06 Bluetooth module”, Electronic and Robotic Tutorials, 2015

<http://www.instructables.com/id/AT-command-mode-of-HC-05-Bluetooth-module/>

[20] Naylamp Mechatronics, “Configuración del módulo bluetooth HC-05 usando comandos AT”, Tutorials blog, 2015

http://www.naylampmechatronics.com/blog/24_Configuraci%C3%B3n--del-m%C3%B3dulo-bluetooth-HC-05-usa.html

[21] Jesús Rubén, “Bluetooth HC-05 y HC-06, tutorial de configuración”, Cursos y tutoriales de electrónica, 2014

<http://www.geekfactory.mx/tutoriales/bluetooth-hc-05-y-hc-06-tutorial-de-configuracion/>

- Control

[22] Arduino Team, “ATMega 328P-Arduino Pin Mapping”, Página oficial de Arduino, 2016

<https://www.arduino.cc/en/Hacking/PinMapping168>

- Alimentación

[23] José Miguel Burdío Pinilla, “*Electrónica de potencia*”, Dpto de Electrónica de potencia, Universidad de Zaragoza, 2015.

[24] Vicente Fernández Escartín, “*Fundamentos de electrónica*”, Dpto de Electrónica, Universidad de Zaragoza, 2013

[25] Texas Instruments, “*Webench Design Center*”, Diseño de circuitos, 2016

http://www.ti.com/lscds/ti/analog/webench/overview.page?DCMP=sva_web_webdesigncntr_en&HQS=sva-web-webdesigncntr-vanity-lp-en

- Diseño de las PCB

[26] Miguel Ángel Torres Portero, “*Oficina de proyectos*”, Dpto de Ingeniería de proyectos, Universidad de Zaragoza, 2016.

[27] José María López Pérez, “*Laboratorio de diseño electrónico*”, Dpto de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, 2016

- Información Glosario:

Danza:

[28] Definición ABC, “*Definición de coreografía*”, Diccionarios y definiciones, 2016

<http://www.definicionabc.com/general/coreografia.php>

[29] Real Academia Española, “*Definición de coreógrafo*”, Diccionario, 2016

<http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=core%C3%B3grafo>

[30] Julián Pérez Porto y Ana Gardey, “*Definición de escenografía*”, Diccionarios y definiciones, 2013

<http://definicion.de/escenografia/>

Técnicas:

[31] CGE, “*Brainstorming*”, Técnicas de empresa, 2015

<http://www.cge.es/portalcge/tecnologia/innovacion/4112brainstorming.aspx>

[32] Antonio Horno López, “*El Storyboard*”, Universidad de Granada, 2011

<http://www.ugr.es/~ahorno/STA.pdf>

Tecnología:

[33] Real Academia de Ingeniería, “*Firmware*”, Diccionarios especializados, 2016

<http://diccionario.raing.es/es/lema/firmware>

[34] User, “*Smartphone-Explicación y definición*”, Página informativa, 2012

<http://www.quees.info/que-es-un-smartphone.html>

[35] User, “*Wearable-Explicación y definición*”, Página informativa, 2015

<http://www.quees.info/que-es-wearable.html>