



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Desarrollo de un sensor de gestos con  
componentes electrónicos  
discretos para el control de un sistema de  
iluminación.

Autor/es

Carlos García Ibáñez

Director/es

Bonifacio Martín Del Brío

Ingeniería Electrónica y Automática

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2023



## RESUMEN

Con el desarrollo de la integración electrónica y la inteligencia artificial embebida, en los últimos años se han desarrollado sistemas muy sofisticados para aplicaciones domóticas, como pueda ser encender y apagar un sistema de iluminación con comandos vocales o con gestos. Estos sistemas requieren procesadores de 32 bits con acceso a internet mediante wifi y actuando por medio de asistentes como Google Home o Alexa.

En este trabajo se va a estudiar la posibilidad de realizar acciones similares, pero haciendo uso de componentes electrónicos sencillos y baratos y sin necesidad de acceder a internet, permitiendo, por ejemplo, encender y apagar, una lámpara mediante gestos o sonidos, empleando componentes convencionales y muy baratos.

Así, en este trabajo se ha diseñado un sistema electrónico para reconocimiento de gestos basado en sensores infrarrojos, en una única dirección y dos sentidos. Además, se ha implementado un sensor sonoro basado en un micrófono pequeño y barato, para controlar el sistema también mediante palmadas. En definitiva, se han desarrollado sendos circuitos de instrumentación para el sensor de infrarrojos y el micrófono y un circuito para alimentar todo el sistema, teniendo siempre presente intentar usar componentes económicos.

Se ha desarrollado un prototipo mediante el montaje en placa de prototipos del microcontrolador y del hardware de los sensores y de la fuente de alimentación. La programación se ha realizado sobre una placa de desarrollo Arduino Uno R3, de microprocesador extraíble ATmega328-PU de 8 bits y 28 pines. Se han realizado pruebas y ensayos para acotar los rangos de funcionamiento deseados con ajustes finales, tanto en programación como en los valores de los componentes.

# ÍNDICE

1	Introducción.....	6
1.1	Motivación .....	6
1.2	Objetivos.....	6
1.3	Estructura del documento y cronograma .....	7
2	Descripción de las tecnologías utilizadas, análisis de las posibles soluciones y diseño de bloques .....	8
2.1.1	Principios de funcionamiento de los sensores .....	8
2.2	Enfoque del diseño.....	9
2.3	Diagrama de bloques .....	10
3	Diseño del hardware .....	13
3.1	Bloque de alimentación .....	13
3.1.1	Fuente lineal .....	13
3.2	Fuente conmutada.....	14
3.3	Bloque de sensores.....	15
3.3.1	Sensor infrarrojo .....	15
3.3.2	Sensor sonoro .....	16
3.4	Bloque de control.....	19
3.5	Bloque del actuador.....	20
3.5.1	Alternativa 1. Circuito con Relé .....	20
3.5.2	Alternativa 2. circuito con Triac .....	23
4	desarrollo del software .....	24
4.1	Inicialización .....	24
4.2	Modo normal.....	25
5	Prototipo desarrollado y resultados. ....	29
5.1	Montaje.....	29
5.2	Instrucciones de uso. ....	30

5.3	Resultados.....	30
6	Conclusiones y trabajo futuro.....	32
6.1	Conclusiones.....	32
6.2	Posibles mejoras y trabajo futuro.....	33
7	Anexos .....	36
7.1	A1. Esquemas circuitales completos.....	36
7.2	A2. Presupuestos.....	39
	.....	39
7.3	A3. PCB's.....	40

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 MOTIVACIÓN

En la actualidad, gracias al desarrollo de la domótica y de la inteligencia artificial, se puede controlar un sistema de iluminación doméstico mediante comandos vocales y/o gestos. Para ello se requieren sistemas electrónicos complejos con procesadores de 32 bits, con comunicación a través de redes wifi para acceder a servicios de inteligencia artificial en la nube, como ocurre con los asistentes Google Home o Alexa de Amazon. Estos sistemas de 32 bits deben recurrir a los servicios de computación en la nube, como los de Google o Amazon, para poder interpretar los comandos vocales y activar una respuesta, ya que los algoritmos son excesivamente complejos para ser ejecutados en local por un microcontrolador convencional.

En este trabajo se trata de explorar la posibilidad de construir controles electrónicos sencillos y económicos para aplicaciones domóticas, que permitan interpretar gestos y sonidos sin necesidad de conexiones wifi ni computación en la nube. Para ello, usaremos como demostrador el control de un sistema de iluminación doméstico.

## 1.2 OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto ha sido desarrollar un sensor de gestos y sonido para implementarlo en el control de un sistema de iluminación doméstico (por ejemplo, una lámpara de sobremesa tipo flexo), cumpliendo los siguientes objetivos parciales:

- Desarrollo de un sensor de gestos con tecnología infrarroja.
- Desarrollo de un detector de sonidos sencillo.
- Diseño de los bloques del circuito y búsqueda de componentes.
- Diseño del circuito de instrumentación de los sensores infrarrojo y sonoro y del circuito de potencia que alimente todo el sistema.
- Compra de los componentes y montaje en protoboard de los circuitos con sensores. Montaje del prototipo completo entorno a una placa Arduino UNO, comprobación del funcionamiento del prototipo.
- Estudio y desarrollo de la fuente de alimentación
- Programación de la aplicación para controlar el sistema de iluminación.

- Definición del rango de detección, ajuste del prototipo (software y hardware), definir los valores digitales y el ajuste de valores de componentes para la correcta interpretación de las señales y acotar el rango de funcionamiento.

### 1.3 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO Y CRONOGRAMA

El documento se organiza de forma paralela al transcurso del trabajo desarrollado. En la introducción se define el tema elegido y los objetivos a alcanzar. Una vez definido el proyecto, en los Capítulos 2 y 3 se expone lo relativo al estudio teórico, análisis de posibles soluciones, diseño del circuito y búsqueda de componentes. En los Capítulos 4 y 5 se explican la programación de la aplicación (firmware) y las pruebas y resultados que se han ido consiguiendo. En el Capítulo 6 se muestran las conclusiones obtenidas al final del proyecto y algunas consideraciones sobre cómo se podría continuar desarrollando el prototipo.

En la Figura 1 se muestra el trabajo realizado de forma cronológica mediante un diagrama de Gantt. Cabe destacar la interdependencia entre el montaje, la programación y las pruebas de funcionamiento en su desarrollo.

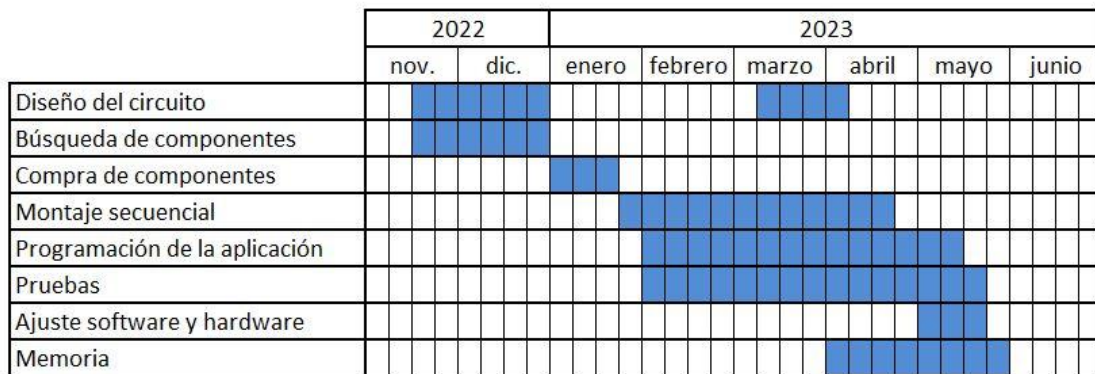


FIGURA 1. DIAGRAMA DE GANTT

## 2 DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS UTILIZADAS, ANÁLISIS DE LAS POSIBLES SOLUCIONES Y DISEÑO DE BLOQUES

### 2.1.1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SENSORES

Con el desarrollo de la integración electrónica y la inteligencia artificial embebida, en los últimos años se han desarrollado sistemas muy sofisticados para aplicaciones domóticas, como pueda ser encender y apagar un sistema de iluminación con comandos vocales o con gestos. Estos sistemas requieren procesadores de 32 bits con acceso a internet mediante wifi y actuando por medio de asistentes como Google Home o Alexa.

En este trabajo se ha estudiado la posibilidad de realizar acciones similares desarrollando un sistema electrónico con componentes discretos, sencillo y barato, sin necesidad de acceder a internet, permitiendo controlar una lámpara mediante gestos o sonidos.

Existen sensores de gestos comerciales, los cuales son relativamente caros (su precio es del orden de la propia placa Arduino). En este trabajo se ha desarrollado un sensor de gestos más sencillo, basado en tecnología infrarroja, capacitado para captar el movimiento de una mano en una dirección concreta y en dos sentidos, para controlar así el encendido y el apagado de una lámpara.

Para definir el movimiento de una mano en una dirección se ha de percibir, como mínimo, la presencia de la mano en dos puntos diferentes, en tiempos diferentes, separados por una distancia determinada. Como se ve en la Figura 2, para captar la presencia en un punto se sitúa un diodo emisor de infrarrojos y un fotodiodo contiguo, orientados verticalmente de tal manera que al colocar una mano encima, la energía infrarroja emitida se refleje en la mano y sea parcialmente absorbida por el fotodiodo, que genera una corriente inversa proporcional. Al añadir un segundo sensor de presencia y medir la variación de tensión en sendos sensores, se puede interpretar como movimiento de una mano en un sentido si se supera una determinada tensión en el sensor 1, primero, y en el sensor 2, después. Se interpreta como movimiento en sentido contrario si se detecta presencia primero en el sensor 2 y después en el sensor 1.

En cuanto al sensor sonoro, se utilizará un pequeño y barato micrófono de condensador o electret más un circuito detector de umbral.

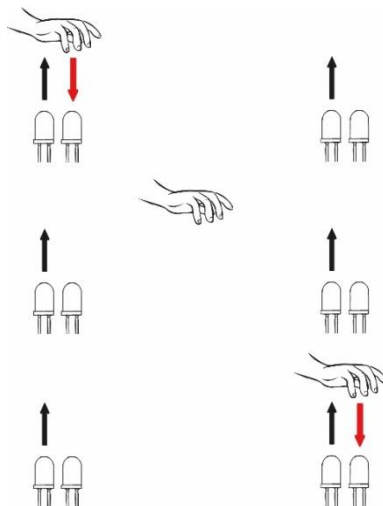


FIGURA 2. FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR DE GESTOS.

## 2.2 ENFOQUE DEL DISEÑO

Con la finalidad de desarrollar un sistema de iluminación doméstico, una lámpara tipo flexo, hay una serie de características técnicas que son recomendables para la comprensión, el uso correcto y el recambio de elementos con vida útil limitada por parte del usuario final, como son: la conexión del producto a un enchufe doméstico de corriente alterna monofásica de 230V y una bombilla LED fácil de encontrar en tiendas y ferreterías, casquillo E27. Estas características dotan al proyecto de unos requerimientos de tensión y corriente a cumplir por los elementos que componen el prototipo.

Para alimentar los circuitos de instrumentación del sensor infrarrojo, micrófono y microprocesador Arduino se precisa una tensión continua de 5V. Una fácil solución sería el uso de un adaptador comercial de entrada 230V de corriente alterna y 12V de continua como salida, pudiendo suministrar, normalmente, unos 500mA de corriente de salida. Son tensiones de salidas no reguladas por lo que se necesitaría un regulador de tensión de 5V y solo podría alimentar bombillas led de bajo voltaje que exigen un notable consumo de corriente. Por ejemplo, una bombilla led de 10W alimentada a 12V demanda unos 800mA de consumo de corriente.

Dada la dificultad para encontrar un adaptador comercial de 12V con una corriente de salida suficiente para alimentar los circuitos de instrumentación y una bombilla led de bajo voltaje y consumo, más caras y escasas que otras bombillas de uso genérico, se ha decidido incluir el

diseño de la fuente de alimentación en este proyecto. De hecho, se han diseñado dos fuentes de alimentación de distinta tecnología para establecer una comparativa y escoger la mejor opción y que dé mayor versatilidad, permitiendo al usuario final la elección de utilizar bombillas de distintas tecnologías, consumos e intensidades lumínicas, generalmente alimentadas de 230V.

Estas dos opciones son el diseño de una fuente de alimentación lineal y la implementación de una fuente de alimentación conmutada. Además, también se va realizar la comparativa entre dos actuadores que controlen la bombilla, un relé electromecánico implementado con la fuente lineal y un actuador electrónico (triac) implementado con la fuente conmutada.

### 2.3 DIAGRAMA DE BLOQUES

Dadas las consideraciones anteriores, en las Figuras 3 y 4 se muestran los diagramas de bloques del prototipo, con las alternativas de fuente lineal frente a conmutada y relé frente a triac.

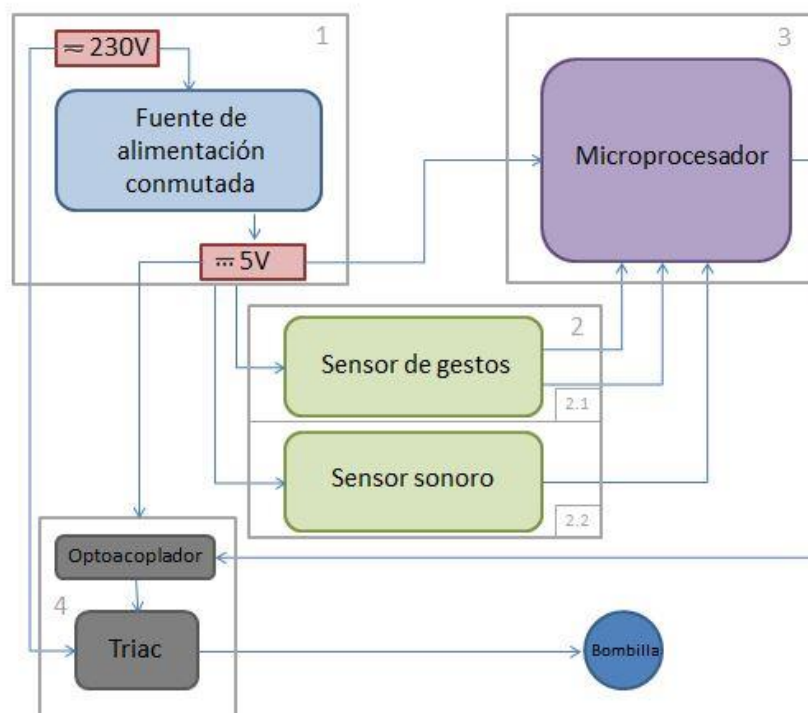


FIGURA 3. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA CON FUENTE LINEAL

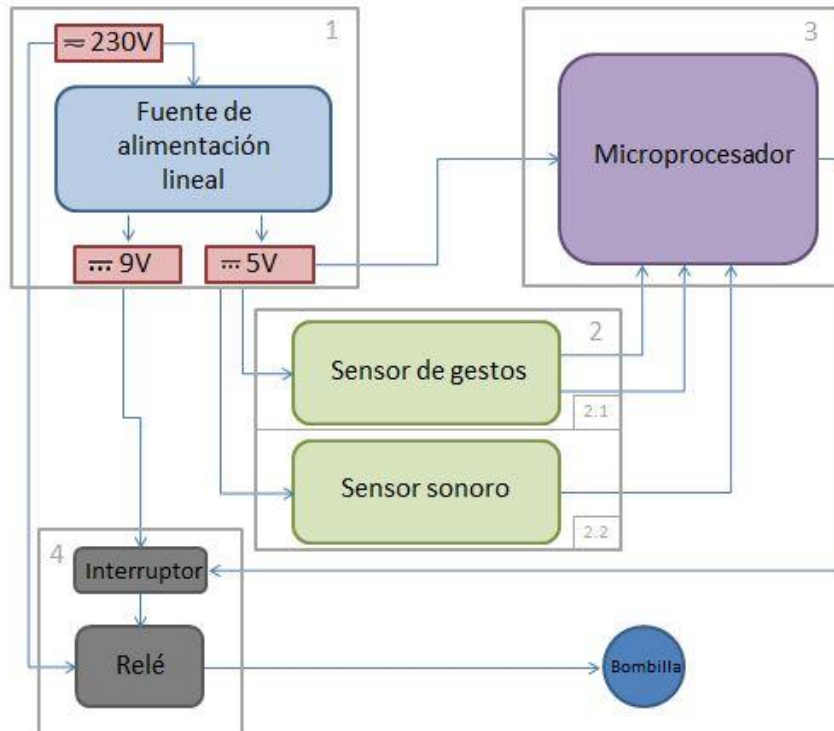


FIGURA 4. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA CON FUENTE CONMUTADA.

La placa de desarrollo Arduino UNO R3 es una placa de microcontrolador muy popular y ampliamente utilizada en proyectos de electrónica. Tiene varias características que la hacen adecuada para el desarrollo de prototipos:

- Está equipada con el microcontrolador ATmega328P, que es un procesador de 8 bits con una velocidad de reloj de 16 MHz y proporciona suficiente potencia de procesamiento para realizar tareas de lectura de sensores y control de actuadores.
- Cuenta con 6 puertos analógicos (A0 a A5), que pueden utilizarse para leer tensiones analógicas en un rango de 0 a 5 voltios y gracias al ADC (convertor analógico-digital) de 10 bits convierte estas tensiones en valores digitales que pueden ser procesados por el microcontrolador.
- Además de los puertos analógicos, el Arduino UNO R3 tiene 14 puertos digitales que se pueden configurar como entradas o salidas según las necesidades del proyecto. Admite varias formas de comunicación.
- Tiene un puerto USB para la comunicación con la computadora, lo que facilita la programación y la transferencia de datos. También cuenta con pines de comunicación serial UART, que permiten la comunicación con otros dispositivos o módulos externos.

- Arduino es conocido por su amplia comunidad de usuarios y su abundante documentación. Hay una gran cantidad de recursos en línea, tutoriales y ejemplos de proyectos disponibles, lo que facilita el aprendizaje y la resolución de problemas.
- Sin embargo, la característica más importante por la que se ha decidido usar la placa Arduino UNO R3 es la condición de que el microcontrolador ATmega328P sea extraíble, esto le otorga la facilidad de programar en el entorno de desarrollo integrado (IDE) para posteriormente extraer el microcontrolador e integrarlo en un circuito personalizado para fines de experimentación y prototipado, como es el caso.

## 3 DISEÑO DEL HARDWARE

En este capítulo se describe el diseño del hardware del prototipo de control de un sistema de iluminación doméstico (lámpara flexo) mediante gestos y sonido (los circuitos completos en detalle se muestran en el Anexo A1). La explicación se lleva a cabo en relación a los bloques que componen el circuito (figuras 3 y 4): bloque de alimentación (1), bloque de sensores (2), bloque de control (3) y bloque del actuador (4).

### 3.1 BLOQUE DE ALIMENTACIÓN

#### 3.1.1 FUENTE LINEAL

Los circuitos de instrumentación de los sensores del prototipo y el microprocesador ATmega328P se alimentan a 5V regulados, por lo que se requiere el uso de un circuito regulador de tensión lineal LM7805 de 5V. La tensión a la que se debe alimentar este regulador viene condicionada por la “tensión de dropout”, que es la mínima diferencia de tensión que puede haber entre la entrada y la salida para su correcta regulación, de 2V en este caso [1]. Así, se ha diseñado una fuente de alimentación de 9V asegurando un rizado menor a 2V. Con un condensador electrolítico disponible de 2200uF y un transformador de PCB de 230 a 9V, esta fuente puede suministrar hasta 440mA). Un consumo mayor a éste puede suponer un mayor rizado y la consiguiente pérdida de regulación del LM7805; esta corriente máxima es un parámetro muy importante que se ha tenido en cuenta en el resto del diseño.

*Consumo de corriente máximo para un rizado ( $\Delta V$ ) máximo de 2V.*

*La tensión de rizado de una fuente con rectificado a doble onda es [2]:*

$$\Delta V = \frac{V}{2fRC}$$

*La resistencia equivalente del circuito es:  $R = V/I$*

*Para un rizado máximo de 2V la corriente consumida debe ser:*

$$I < 2f\Delta VC \Rightarrow I < 2 * 50\text{Hz} * 2\text{V} * 2200\mu\text{F} \Rightarrow I < 440\text{mA}$$

Para usar el regulador como fijador de tensión se han incluido dos condensadores cerámicos según las indicaciones de la hoja de datos del fabricante [1] y como puede observarse en la figura 5, se incluye un rectificador de doble onda (puente de diodos) entre el transformador y el

condensador electrolítico, responsable de alcanzar los 9V de continua y de hacerlo con un cierto rizado en la señal.

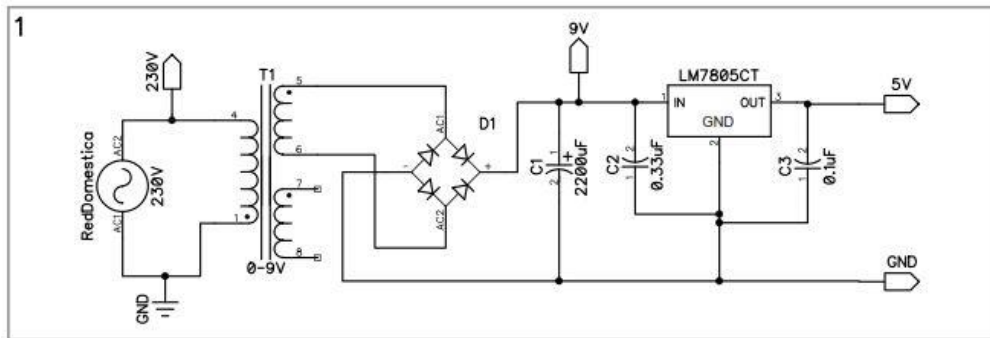


FIGURA 5. ESQUEMA CIRCUITAL, BLOQUE DE ALIMENTACIÓN, FUENTE LINEAL

### 3.2 FUENTE CONMUTADA

Como alternativa, se ha optado por la implementación de una fuente de alimentación conmutada [3] LDE03-20B05 de RS PRO que igualmente transforma los 230V de corriente alterna de la red doméstica a 5V de continua, salida regulada, pero que es más eficiente que la clásica lineal anterior. El estudio y diseño de esta opción es notablemente más sencilla que la anterior, debido a que únicamente se deben seguir las recomendaciones del circuito de aplicación del datasheet [3], reflejadas en la figura 6.

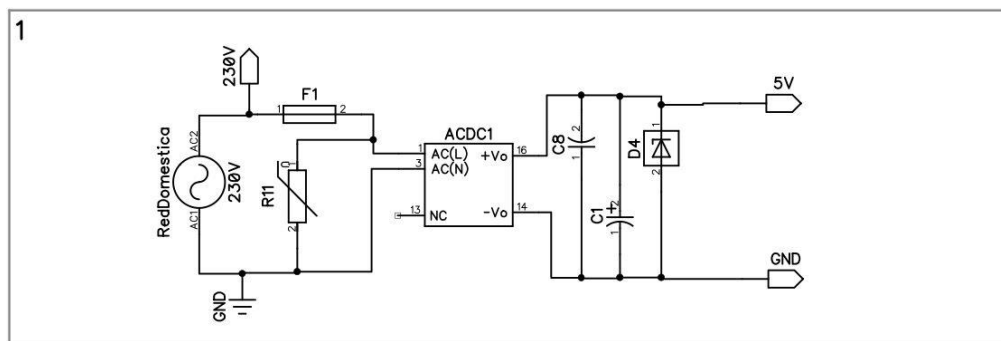


FIGURA 6. ESQUEMA CIRCUITAL, BLOQUE DE ALIMENTACIÓN, FUENTE CONMUTADA

F1 es un fusible de 1A y 250V y R11 es un varistor de óxido metálico S14K350 para proteger el circuito de posibles picos de tensión. El filtro de ruido de alta frecuencia lo forman los condensadores C8 y C1, de 1µF y 100 µF, este último electrolítico. El diodo TVS de 600W protege el circuito de sobretensiones.

### 3.3 BLOQUE DE SENSORES

#### 3.3.1 SENSOR INFRARROJO

Con la tecnología y principios de funcionamiento expuestos ya en el capítulo 2, solo resta para el diseño del circuito de instrumentación del sensor de gestos infrarrojo (figura 7) el cálculo de las resistencias, que fijan la corriente necesaria para emitir cierta radiación por los diodos infrarrojos (R1 y R3) y transforman en tensión la corriente inversa generada por la energía absorbida por los fotodiodos (R2 y R4).

Inicialmente se han calculado teniendo en cuenta los valores máximos admisibles reflejados en los datasheets [4] [5] [6] y posteriormente ajustados con los resultados de los ensayos de funcionamiento.

*Resistencias del sensor infrarrojo:*

*Fijando un consumo de corriente de 40mA por diodo emisor de infrarrojos, con una tensión típica de 1,5V[4]:*

$$R_{emisor} = \frac{5V - 1.5V}{0.04A} = 87.5\Omega$$

*Por lo que se implementan resistencias de 100Ω en R1 y R3.*

*Con una fotocorriente máxima de 50μA [5] y una capacidad de medir tensiones de hasta 5V por el microprocesador, el valor de R2 y R4 con el que iniciar las pruebas es de:*

$$R = \frac{5V}{50\mu A} = 100K\Omega$$

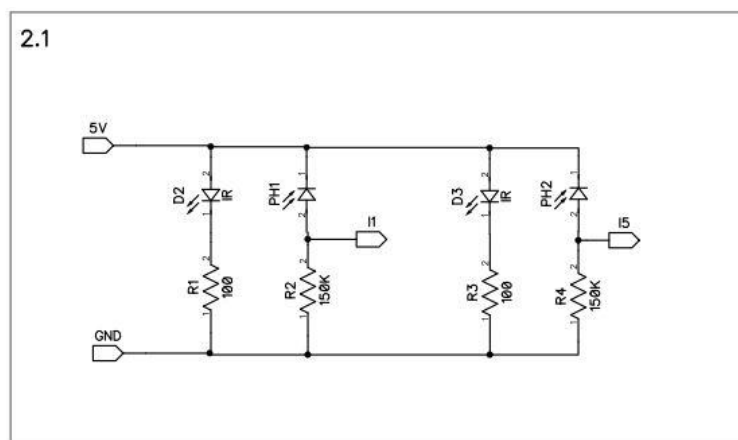


FIGURA 7. ESQUEMA CIRCUITAL DEL SENSOR INFRARROJO.

### 3.3.2 SENSOR SONORO

El elemento principal de este sensor es un micrófono de condensador o electret, elegido por su buen rendimiento, robustez y reducido tamaño a un precio económico. Esta tecnología no necesita alimentación para polarizar sus elementos internos, sin embargo, en este texto se va a denominar como “tensión de polarización o polarización” a la energía necesaria para alimentar el preamplificador.

Para interpretar bien la señal analógica provocada por las ondas sonoras captadas por el micrófono, ha sido necesario amplificar esta señal con una etapa amplificadora. La tensión de polarización genera un nivel de continua que dificulta la interpretación si también es amplificada, por lo que se ha añadido un condensador de acoplamiento (C4, fig.8) antes de la etapa amplificadora para cancelar este nivel de continua y solo amplificar la señal de audio.

El micrófono elegido es omnidireccional (MK1, fig.8) [6], por lo que la señal de audio genera información positiva y negativa. Si la etapa amplificadora es referenciada a masa se pierde la mitad de esa información dado que el microcontrolador ATmega328P procesa señales analógicas de 0V a +Vcc, en este caso, próxima a 5V. Debido a esto, la etapa se ha referenciado a un divisor resistivo (R9 y R10, fig.8) para que la señal de audio completa y amplificada oscile en torno a 2'5V.

La amplificación es llevada a cabo mediante una etapa inversora con el amplificador operacional LM358P de alimentación simple (0,+Vcc) con un potenciómetro (R5, +. 8) en el lazo de realimentación para realizar fácilmente el ajuste de ganancia deseado por el usuario.

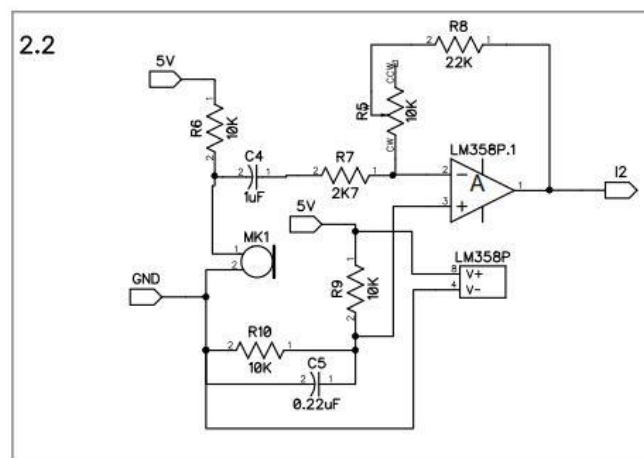


FIGURA 8. ESQUEMA CIRCUITAL DEL SENSOR SONORO.

Como información adicional interesante, a continuación se detalla el desarrollo de un filtro paso banda para amplificar solo las frecuencias principales que generan las palmadas, con la idea de que mejore la discriminación de un sonido tipo palmada frente a otros sonidos. Se explican los métodos empleados, los resultados experimentales y las conclusiones por las que al final se ha decidido no implantarlo en el prototipo final.

### Filtro paso banda.

Se ha llevado a cabo el diseño de un filtro activo paso banda con amplificador operacional para amplificar únicamente las frecuencias principales que generan las palmadas. Para ello se han grabado tres palmadas (fig.9) con un micrófono comercial y una tarjeta de sonido. Inicialmente se han atenuado ciertas frecuencias hasta conseguir un sonido más limpio y característico de una palmada, atenuando las frecuencias por debajo de los 2kHz y las superiores a 3kHz.

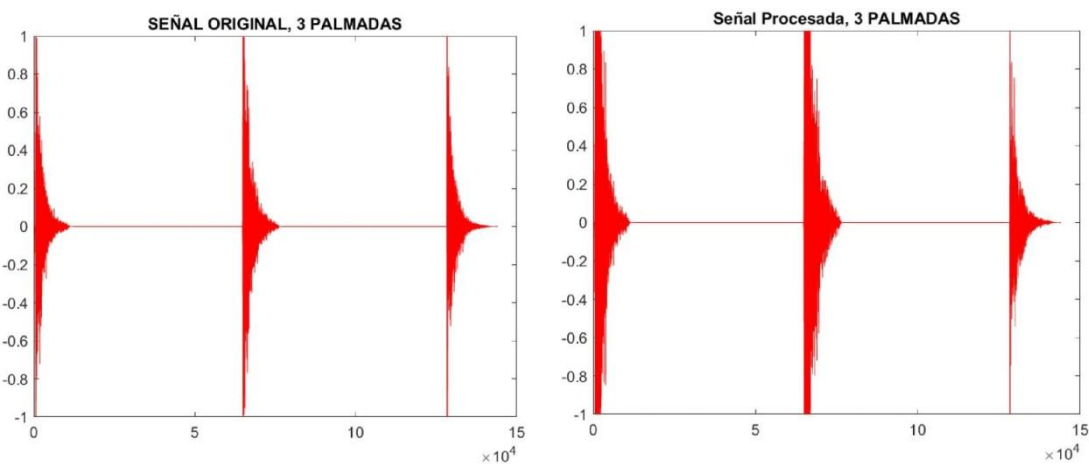


FIGURA 9. GRABACIONES DE AUDIO DE TRES PALMADAS, ORIGINAL Y PROCESADA.

Posteriormente se ha llevado a cabo el cálculo y la representación de la transformada rápida de Fourier (FFT) para descubrir las frecuencias principales que generan las palmadas. En la figura 10, las frecuencias con las magnitudes más altas corresponden a 1458Hz, 1124Hz y 2417Hz en la señal original (ordenadas de mayor a menor magnitud) y de 2417Hz en la señal procesada.

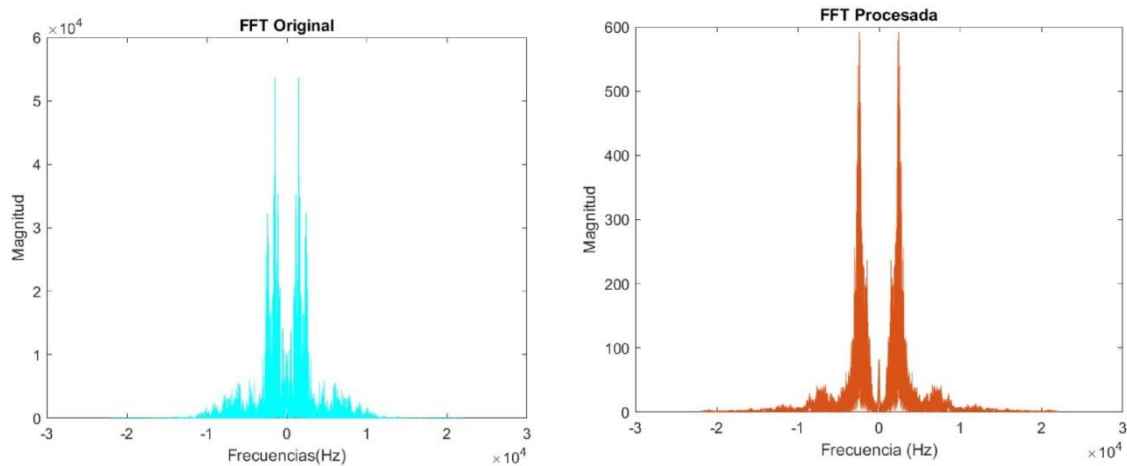
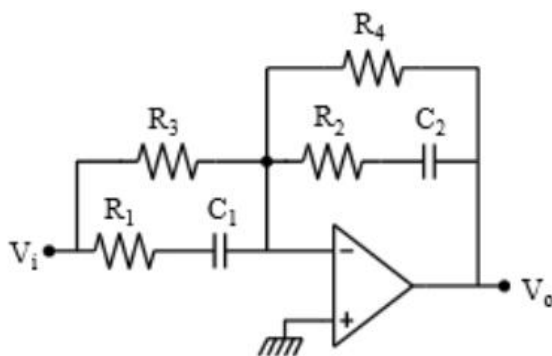


FIGURA 10. TRANSFORMADAS RÁPIDAS DE FOURIER, SEÑAL ORIGINAL Y PROCESADA.

Con esta información se ha calculado e implementado un filtro paso banda con las siguientes frecuencias que definen la banda pasante:  $f_1$  de 2192Hz y  $f_2$  de 2340Hz. Se ha decidido ajustar de este modo las frecuencias de corte teniendo en cuenta los valores típicos de resistencias y condensadores, siendo para  $R_4$  y  $C_2$ , 3.3k $\Omega$  y 22nF respectivamente, para la  $f_1$  y  $R_1$  y  $C_1$ , 68 $\Omega$  y 1 $\mu$ F respectivamente, para  $f_2$  (figura 11).  $R_2$  igual a cero y  $R_3$  en circuito abierto para filtro paso banda [7].



$$\text{Ganancia} = C_1/C_2$$

$$f_1 = \frac{1}{2\pi R_4} \frac{1}{C_2}$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi R_1} \frac{1}{C_1}$$

FIGURA 11. FILTRO CON AMPLIFICADOR OPERACIONAL.

En la práctica, hemos observado en el laboratorio que los sonidos no procedentes de palmadas han sido efectivamente atenuados, pero las palmadas han sido captadas con dificultad teniendo que realizar palmadas bastante fuertes para satisfacer el control de un aparato de uso doméstico, aun siendo un filtro de ganancia 45. Debido a esto, se ha decidido finalmente no implementar el filtro paso banda y discriminar los sonidos de palmadas

por programa mediante una técnica alternativa: contar el número de palmadas en un periodo de tiempo concreto.

### 3.4 BLOQUE DE CONTROL

Conforme a lo explicado anteriormente, el microprocesador es alimentado a 5V. Se usan tres pines como entrada analógica que convierten con un ADC (*analog to digital converter*) de 10 bits [8] las tensiones analógicas a señales digitales para ser procesadas mediante el programa software: son dos pines del sensor infrarrojo y uno del sensor sonoro. Solo un pin digital es usado como salida, a modo de orden eléctrica, para encender la bombilla.

El circuito oscilador con cristal de cuarzo y los condensadores que se observan en la figura 12, generan una señal sinusoidal con una frecuencia de 16MHz que proporciona el ritmo de reloj al que va a funcionar el microprocesador.

Índice de puertos (figura 12):

- Alimentación: Vcc y GND conectados a los pines 7 y 8 respectivamente.
- Puerto B: señal de reloj a pines 9 y 10.
- Puerto C: conversión analógico-digital en canales 0, 2 y 5, pines 23, 25 y 28 respectivamente.
- Puerto D: salida digital nº2, pin 4.

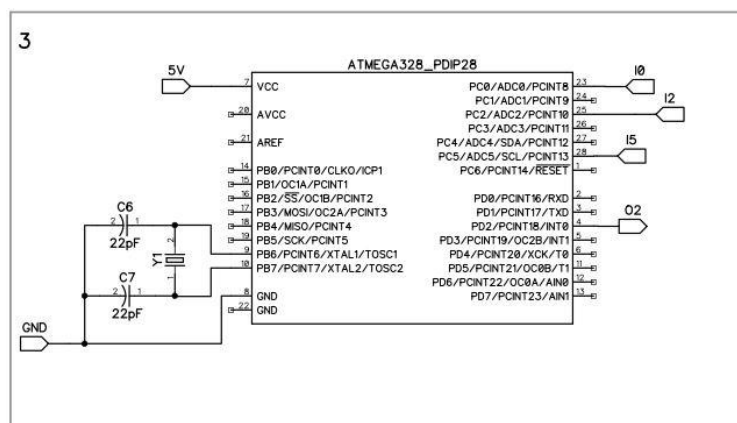


FIGURA 12. ESQUEMA CIRCUITAL DEL BLOQUE DE CONTROL.

### 3.5 BLOQUE DEL ACTUADOR

Para encender y apagar la lámpara se han desarrollado dos alternativas, con el fin de comparar y seleccionar la mejor: un circuito basado en relé y un circuito basado en triac.

#### 3.5.1 ALTERNATIVA 1. CIRCUITO CON RELÉ

Este bloque se encarga de ejecutar la orden de encendido y apagado de la bombilla, la cual se debe alimentar a los 230V de corriente alterna de un enchufe doméstico a través un actuador electromecánico, un relé. El pin de salida digital descrito en el bloque anterior puede suministrar una corriente continua máxima de 40mA [8] a una tensión de 5V, con un relé de 9V y una bobina de 400mW de potencia se necesitan unos 44mA para disparar el relé. Debido a esto, se ha diseñado un interruptor PNP con dos transistores para independizar la demanda de corriente necesaria para activar el relé del microprocesador, por lo que éste solo deberá suministrar unos pocos microamperios.

El interruptor PNP [2] diseñado funciona de la siguiente manera, cuando la tarea programada activa la salida digital del pin 4 se genera una corriente de base a través de la R13 suficiente para saturar el transistor NPN (Q1, fig. 13). La saturación del Q1 propicia el paso de corriente a través de la R12 provocando la saturación del transistor PNP (Q2, fig. 13) y la consiguiente diferencia de tensión entre los bornes de la bobina del relé de aproximadamente 9V, disparando así el contacto del relé y alimentando la bombilla a 230V.

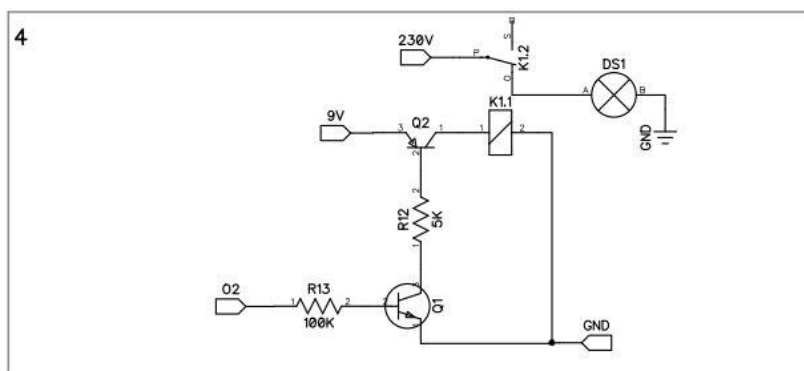


FIGURA 13. ESQUEMA CIRCUITAL, BLOQUE DEL ACTUADOR, RELÉ.

Cálculos de las resistencias del interruptor PNP:

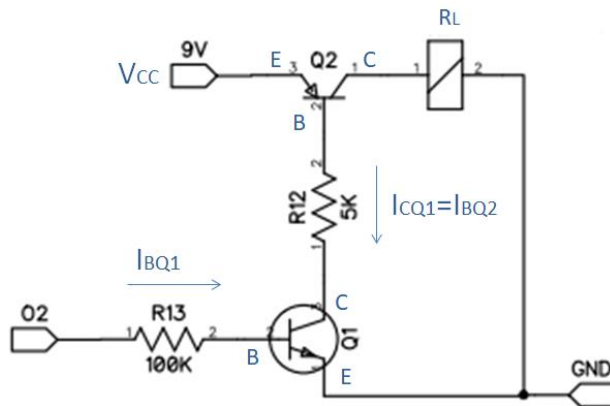


FIGURA 14. CIRCUITO INTERRUPTOR PNP

El objetivo es que Q1 y Q2 saturen cuando:  $V_{o2} = 5V$

Consideramos:  $V_b \approx 0.7V$  y  $V_{ce|sat.} \approx 0V$ .

La condición de saturación es:  $I_b > I_c/\beta$

Saturación de Q1:

$$I_{bq1} = \frac{V_{o2} - V_{beq1}}{R_{13}} ; I_{cq1} = \frac{V_{cc} - V_{beq2}}{R_{12}} ; I_{bq1} > \frac{I_{cq1}}{\beta_{q1}}$$

$$\frac{V_{o2} - V_{beq1}}{R_{13}} > \frac{V_{cc} - V_{beq2}}{R_{12} * \beta_{q1}}$$

$$R_{13} < \frac{(V_{o2} - V_{beq1}) R_{12} * \beta_{q1}}{V_{cc} - V_{beq2}}$$

$$R_{13} < \frac{(5V - 0.7V) * 420 * R_{12}}{(9V - 0.7V)}$$

$$R_{13} < 217.6 * R_{12}$$

Saturación de Q2 con Q1 saturado:

$$I_{bq2} = \frac{V_{cc} - V_{beq2} - V_{ceq1|sat.}}{R_{12}} ; I_{cq2} = \frac{V_{cc} - V_{ceq2|sat.}}{R_L} ;$$

$$I_{bq2} > \frac{I_{cq2}}{\beta_{q2}}$$

$$\frac{V_{cc} - V_{beq2} - V_{ceq1|sat.}}{R_{12}} > \frac{V_{cc} - V_{ceq2|sat.}}{R_L * \beta_{q2}}$$

$$R_{12} < \frac{(V_{cc} - V_{ebq2} - V_{ceq1|sat})R_l * \beta_{q2}}{V_{cc} - V_{ceq2|sat}}$$

$$R_{12} < \frac{(9V - 0.7V) * 200 * 200\Omega}{9V}$$

Elección de R's:

$$R_{12} < 35k\Omega$$

$$\mathbf{R_{12} = 4.7k\Omega}$$

$$R_{13} < 217.6 * 4700; R_{13} < 1M\Omega$$

$$\mathbf{R_{13} = 100k\Omega}$$

### 3.5.2 ALTERNATIVA 2. CIRCUITO CON TRIAC

Se presenta esta opción de actuador eléctrico como posible mejora para el control de la lámpara. Los triacs son más baratos, eficientes y tienen una vida útil más prolongada que los relés al no tratarse de un actuador mecánico con piezas móviles, además, el relé no se puede activar con la fuente de alimentación conmutada ya que se alimenta a 9V y esta fuente dispone de una única salida regulada a 5V. En el capítulo 6 estableceremos las diferencias y conclusiones entre todas estas opciones.

En la figura 15 se refleja la implementación del triac, D1, añadiendo un optoacoplador, VO1, entre los circuitos de potencia e instrumentación para efectuar una barrera entre ellos. El optoacoplador dispone de un LED interno que transmite la señal de control a través de luz a un fototriac, por lo que no existe una conexión física por la que transmitir picos de tensión o corriente en caso de falla en el resto del circuito.

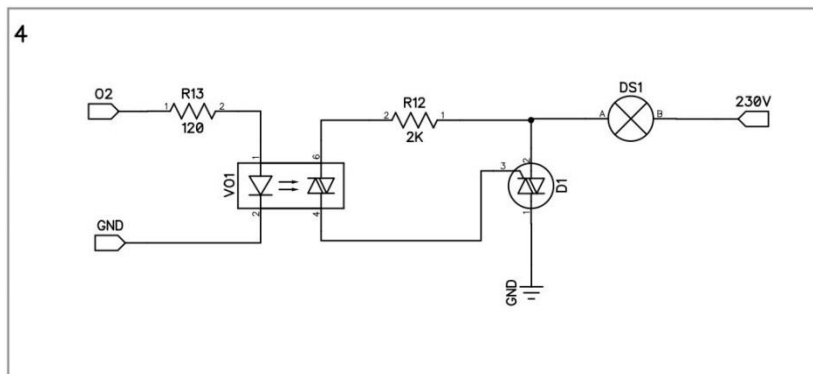


FIGURA 15. ESQUEMA CIRCUITAL, BLOQUE DEL ACTUADOR, TRIAC.

## 4 DESARROLLO DEL SOFTWARE

En este capítulo se explica el desarrollo del software (firmware) para el microcontrolador. La implementación de esta aplicación se ha realizado en el entorno ArduinoIDE que soporta el modelo Arduino Uno R3 usado como placa de desarrollo para este prototipo. Se diferencian dos estados de funcionamiento, inicialización y modo normal.

### 4.1 INICIALIZACIÓN

El inicio del programa para el usuario es una espera de tres segundos cada vez que el prototipo se conecta el dispositivo (fig. 16), para que se establezcan los valores de luz y audio del entorno. Es un periodo de muestreo en el que se recogen los valores de interés para el correcto funcionamiento de la aplicación, estos valores son:

- Valor máximo del fotodiodo 1.
- Valor máximo del fotodiodo 2.
- Valor máximo del micrófono.
- Valor mínimo del micrófono.

Estos valores se deben obtener sin la interacción del usuario con el prototipo debido a que cuantifican las propiedades del entorno, luz y ruido ambientales, para establecer los valores con los que comparar las interacciones del usuario.

Sobre los valores máximos de los infrarrojos se establece un margen superior para considerar, a partir de este, la presencia de una mano. A los valores máximo y mínimo de la señal de audio se establece un margen superior e inferior, pues el sonido registrado genera una señal con tensión positiva y negativa.

Durante este periodo de tiempo se mantiene encendida la bombilla como señal visual para indicar al usuario que no interactúe con los sensores. Una vez se apague esta señal se inicia el funcionamiento normal del prototipo, modo normal.

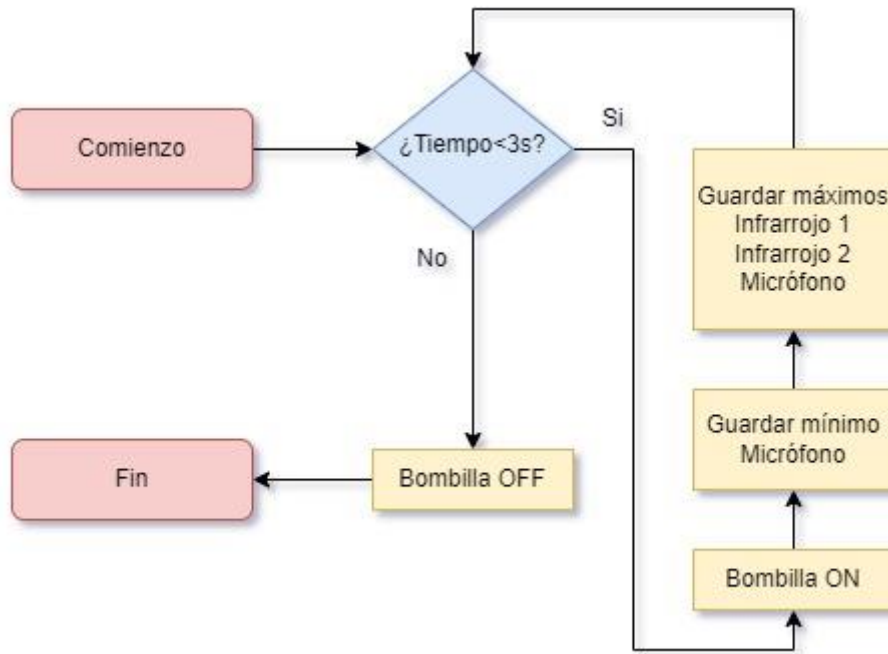


FIGURA 16. DIAGRAMA DE FLUJO, INICIALIZACIÓN.

## 4.2 MODO NORMAL.

El modo normal es el funcionamiento común del prototipo, en el que el usuario interactúa con los sensores para encender o apagar la bombilla. Hay tres formas de interactuar con el prototipo, dando palmadas (sensor de audio), pasando la mano por encima los infrarrojos de izquierda a derecha (encendido) y de derecha a izquierda (apagado).

La evaluación de estas interacciones y el control del estado de la bombilla se realizan mediante cuatro procesos independientes que se ejecutan en serie dentro de un bucle infinito, tal y como se refleja en la figura 17, estructura de funcionamiento del modo normal.

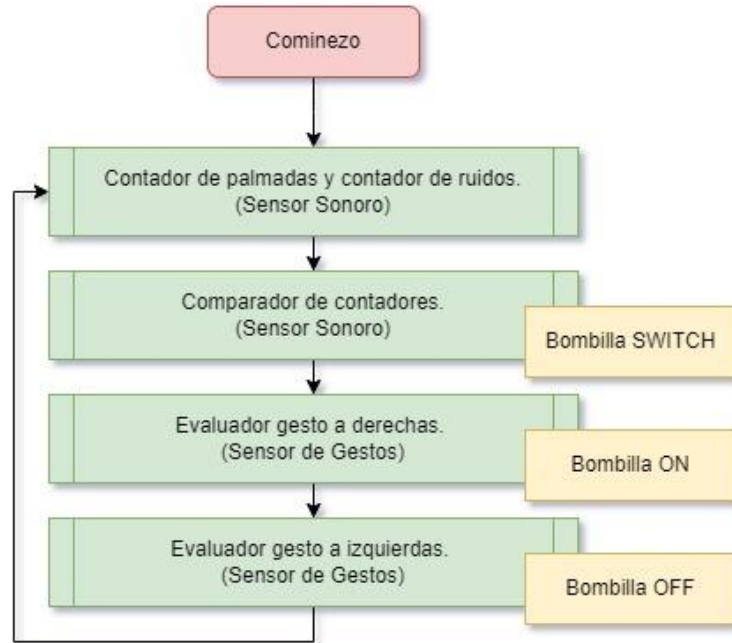


FIGURA 17. DIAGRAMA DE FLUJO, MODO NORMAL.

La aplicación del sensor sonoro se ha desarrollado para funcionar por conteo de palmadas. Estos sonidos tienen que generar una intensidad sonora determinada, definida mediante pruebas, en dos instantes distintos para que el programa entienda que es una orden de encendido y apagado.

La tensión base sobre la que el micrófono opera es de 2,5V, esta sufre una variación de tensión de unos 100mV dependiendo del estado de la bombilla, si la bombilla está encendida esta tensión es de aproximadamente 2,5V y si la bombilla está apagada es de aproximadamente 2,38V. Debido a esta variación de tensión se han establecido dos rangos de tensión diferentes a superar por las palmadas, las cuales generan picos positivos o negativos. Se ha definido como palmada todo aquel sonido que varíe en más de 50mV la tensión base del micrófono.

Para que el estado de la lámpara cambie únicamente con sonidos producidos por palmadas se ha desarrollado un programa para contar dos palmadas dentro de un rango de tiempo definido. Este programa explicado mediante el diagrama de flujo de la figura 18 dificulta en gran medida que un sonido cualquiera encienda o apague la bombilla, aunque no es imposible que esto suceda.

Este programa se basa en que las palmadas generan pulsos de tensión muy breves, de modo que si añadimos un contador al programa, este suma una unidad si es una palmada y varias unidades con el resto de ruidos recogidos. Se establece que la segunda palmada ha de reali-

zarse entre 0,5 y 1 segundo después de la primera palmada. Para una mayor eficacia de la discriminación entre palmada y otros ruidos, en este programa se han realizado dos contadores de cuya comparación se determina el cambio de estado de la lámpara, si ambos contadores coinciden en dos palmadas la bombilla cambia de estado pero si el segundo contador no coincide en ese valor, que será mayor de dos, significa que el ruido captado no lo ha generado una palmada.

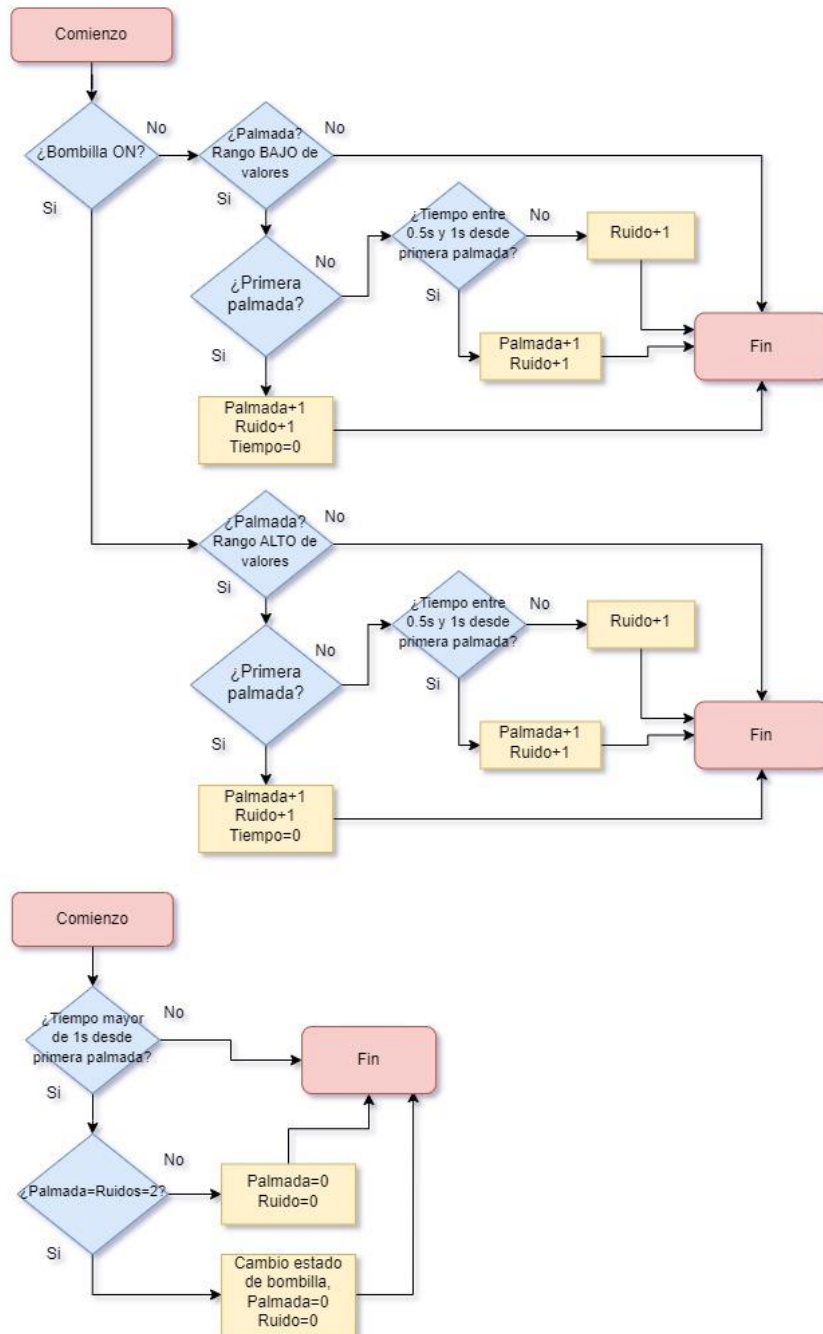


FIGURA 18. DIAGRAMA DE FLUJO, SENSOR SONORO.

La aplicación del sensor de gestos se ha diseñado para diferenciar el sentido del movimiento de una mano y para que este movimiento se haga dentro de un rango de velocidades, figura 19. Para diferenciar el sentido del movimiento basta con saber el orden en el que los sensores infrarrojos captan la presencia de una mano, la dirección del movimiento viene marcada por la situación física de los sensores. Es innecesario definir un rango de velocidades muy concreto debido a que el usuario medio no está preparado para reproducir una velocidad concreta con el movimiento de su mano, sino que será la experiencia de usar el prototipo la que defina al usuario el rango de velocidades al que funciona. La velocidad máxima viene determinada por la condición de programación de que la presencia se debe detectar individualmente y el tiempo de respuesta de los sensores, de modo que a cierta velocidad las tensiones producidas por la presencia de una mano en sendos sensores se solapan y no se cumple la condición de programación impuesta. Esto sirve de filtro para posibles detecciones no deseadas, como podría ser la manipulación de objetos por delante de los sensores. La velocidad mínima se ha definido únicamente mediante software, la presencia en el segundo sensor ha de hacerse en menos de un segundo desde la detección en el primer sensor.

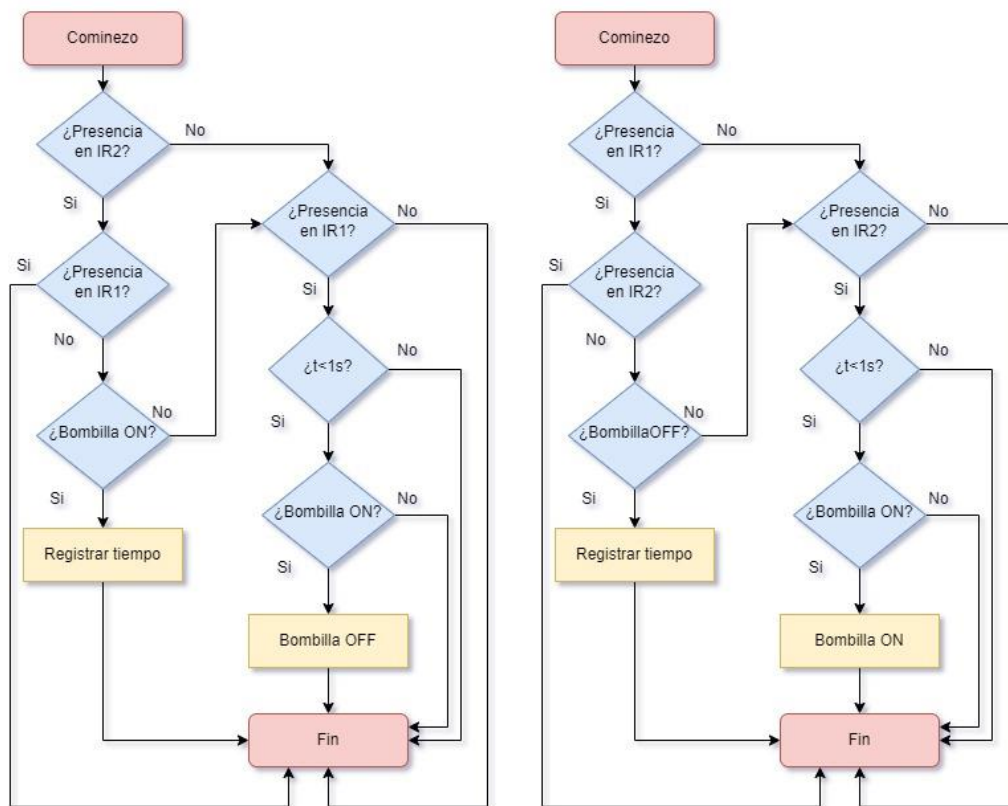


FIGURA 19. DIAGRAMAS DE FLUJO. GESTOS IZQUIERDA Y DERECHA, RESPECTIVAMENTE.

## 5 PROTOTIPO DESARROLLADO Y RESULTADOS.

### 5.1 MONTAJE.

El prototipo (fig. 20) ha sido implementado en una placa de prototipos siguiendo el esquema presentado en el apartado 3. El montaje se ha desarrollado de forma secuencial en diferentes fases y programando simultáneamente para asegurar el correcto funcionamiento en cada una de las partes del circuito. De esta forma se han ido desarrollando pruebas y el código del programa en el entorno de Arduino IDE.

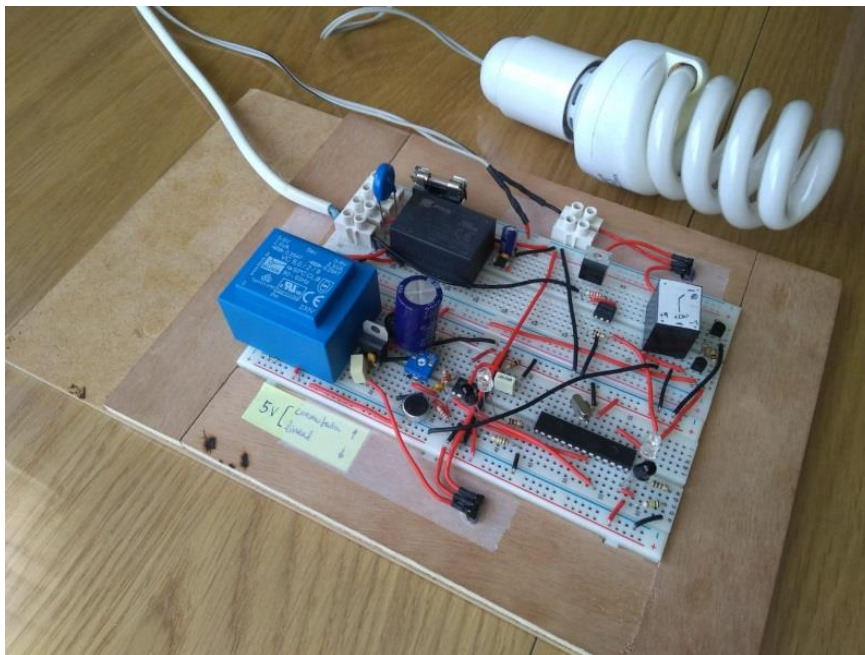


FIGURA 20. PROTOTIPO IMPLEMENTADO EN PROTOBOARD.

Primero se ha montado el sensor infrarrojo alimentado por la placa de desarrollo de Arduino para comprobar la reflexión de los infrarrojos en la palma de la mano y la lectura correcta en los pines del microcontrolador. En segundo lugar se ha montado el sensor sonoro, también alimentado mediante la placa de Arduino, comprobando que recoge sonido, es correctamente amplificado por la etapa del amplificador operacional y se lee correctamente oscilando sobre una tensión continua de 2,5V. Seguidamente se ha montado la etapa de alimentación diseñada para poder implementar el microcontrolador en la placa de prototipos, incluyendo el oscilador de cuarzo.

Hasta este momento la tarea programada controlaba el encendido y apagado de un led, finalmente se ha implementado el interruptor PNP y el relé para controlar una bombilla alimentada por la red doméstica. Posteriormente se ha añadido una segunda opción de alimentación basada en una fuente conmutada para alimentar los circuitos de instrumentación y un triac para la bombilla.

Mediante pruebas experimentales en laboratorio se han ajustado los valores de las resistencias del sensor infrarrojo, aumentando su valor para generar con la corriente inversa de los fotodiodos una tensión suficiente para la correcta interpretación de las señales en el programa, se reconocen gestos hasta una distancia máxima de 6 cm desde los sensores. Distancia limitada para minimizar interacciones indeseadas, como la manipulación de objetos por delante de la lámpara, y suficiente para no tocar los sensores.

## 5.2 INSTRUCCIONES DE USO.

*Instrucciones de uso:*

- *Inicialización: al conectar la lámpara a la red doméstica se encenderá la bombilla durante 3 segundos. En ese periodo de tiempo, se registran los valores actuales de los sensores en ese entorno para establecer los parámetros de funcionamiento. Durante el tiempo que esté encendida la bombilla, no interactúe con los sensores.*
- *Controles: para encender la bombilla mediante gestos debe realizar un movimiento con la mano en el sentido que va desde el sensor de la izquierda hasta el de la derecha y de forma opuesta para apagarla. Este movimiento debe realizarse con la palma de la mano horizontal a una altura entre 0 y 6 cm sobre los sensores.*
- *Para controlar la lámpara mediante palmadas se han de realizar dos palmadas, con una diferencia de tiempo entre ellas mínima de 0,5 segundos y máxima de 1 segundo, de esta forma la lámpara cambiará de estado.*

## 5.3 RESULTADOS.

Se han desarrollado dos prototipos (sobre una misma base) y se han comprobado en el laboratorio las diferentes alternativas expuestas. En definitiva, se han ensayado dos prototipos, cuya diferencia se basa en los sistemas de alimentación de cada prototipo y de los actuadores que ejecutan las órdenes del controlador:

- Fuente de alimentación lineal y circuito de actuador electromecánico (relé).
- Fuente de alimentación conmutada y circuito de actuador electrónico (triac).

Se ha conseguido que ambos funcionen correctamente y con los mismos parámetros del programa software que los controla. Sin embargo, en el desarrollo de un producto comercial se optaría por el uso de la fuente de alimentación conmutada y el circuito de actuador electrónico, triac, por la posibilidad de desarrollar un producto más compacto, a menor precio, más eficiente y con una mayor facilidad de construcción. Explicación en el apartado de Conclusiones.

En cuanto a los sensores desarrollados:

- El sensor de gestos, que incluye el reconocimiento del movimiento de la mano a la derecha y a la izquierda funciona correctamente dentro de los parámetros establecidos. Tiene una velocidad de respuesta correcta para una aplicación domótica y la robustez suficiente para descartar movimientos indeseados.
- El sensor de palmadas funciona dentro de los parámetros establecidos, pero tiene un interfaz de usuario más complejo, necesario para discriminar bien las palmadas de otros ruidos ambientales. La velocidad a la que se han de dar las palmadas lleva una práctica por parte del usuario, que aun siendo relativamente sencilla no es tan trivial como el interfaz del sensor de gestos. También las palmadas han de ser suficientemente fuertes para ser captadas por el sensor, lo que puede restar atractivo como aplicación domótica.

En los Anexos se muestra los PCB's desarrollados. La explicación se incluye en el siguiente apartado de Conclusiones.

## 6 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

### 6.1 CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un prototipo de lámpara doméstica (tipo flexo) que se controla mediante sistemas sencillos de reconocimiento de gestos y de reconocimiento de palmadas. El sensor de gestos funciona con tecnología infrarroja y el de palmadas con un micrófono electret y etapa con amplificador operacional. Las señales son interpretadas y analizadas mediante un microcontrolador que ordena el encendido y apagado de la bombilla. El prototipo construido funciona correctamente, si bien el detector de palmadas requiere de un ajuste adicional, que se explica luego.

En una primera etapa del diseño se desechó la idea de utilizar una fuente conmutada por su mayor complejidad de diseño y generalmente mayor precio, pero con el diseño de la PCB se volvió a plantear el uso de una fuente conmutada por motivo de la compactación y disminución del tamaño del prototipo en vista de un futuro comercial. Existen fuentes conmutadas comerciales que, en forma de módulo compacto, están listos para usar añadiendo únicamente algunos componentes discretos siguiendo los esquemas incluidos en los datasheets del fabricante. Esta es la aproximación que hemos seguido en este trabajo.

Además del ahorro en espacio para encapsular el prototipo, estas fuentes conmutadas tienen un peso menor que las lineales por el uso de transformadores de pulsos. Estos trabajan a altas frecuencias que permiten usar unos bobinados con hilos de menor grosor y núcleos más pequeños con la consiguiente reducción de pérdidas, tamaño y peso. La elección de una fuente conmutada también supondría eliminar el puente de diodos y el condensador electrolítico de 2200  $\mu\text{F}$ , cuyos volúmenes son considerables.

Por otro lado, sustituyendo el circuito del relé por un circuito de triac también se ahorra espacio, además el triac es más silencioso y duradero debido a que no tiene un contactor mecánico móvil. El triac es activado mediante un optoacoplador, por lo que también funciona como un elemento de seguridad al no haber contacto físico entre los circuitos de control y de potencia.

En resumen, todas las opciones planteadas son funcionales, pero para un posible futuro comercial que debe ser de montaje en PCB (Anexo A3) y encapsulado, la opción de la fuente conmutada y el circuito de triac tiene la ventaja de ser más económico, más compacto, más ligero y silencioso que la fuente lineal y el circuito del relé.

El diseño de las PCB's se ha realizado únicamente para comparar el tamaño de ambas opciones por lo que no ha sido necesaria su fabricación.

Los aspectos económico y de tamaño se justifican en los anexos A2 y A3, comparando presupuestos y reflejando el tamaño de las PCB's diseñadas.

En el estado actual del sensor sonoro, las palmadas necesarias para controlar el prototipo deben ser notablemente potentes. El atractivo de una aplicación domótica que funciona con palmadas es menor debido a la molestia que provocan unas palmadas demasiado intensas.

En definitiva, la idea inicial era comprobar si se podía desarrollar un sistema de control para domótica sencillo y barato, basado en componentes electrónicos convencionales, sin tener que recurrir a microcontroladores de 32 bits de altas prestaciones con conexión wifi y acceso a los recursos de computación en la nube, como productos comerciales similares que operan sobre Alexa de Amazon o Google Nest / Google Assistant. La respuesta es que sí, pero en el caso del detector de palmadas se requiere perfeccionar un poco la idea.

## 6.2 POSIBLES MEJORAS Y TRABAJO FUTURO.

Mejora del sensor de palmadas, se han conseguido discriminar las palmadas mediante la programación de un software contador de palmadas y funciona correctamente. Si se consiguen captar palmadas de una intensidad razonable, la aplicación recuperaría su atractivo comercial.

Mejora del diseño de la PCB, en este prototipo se han usado componentes de montaje en orificio pasante para realizar las pruebas y analizar su funcionamiento en placa de desarrollo, protoboard. El diseño de la PCB se ha realizado con estos mismos componentes para agilizar el proceso, puesto que los componentes que ahorran más espacio son los comparados en los dos prototipos propuestos. Para mejorar el diseño y hacerlo todavía más compacto se debería realizar con componentes SMD, de montaje en superficie.

Diseño de producto, junto con el diseño de la PCB y el encapsulado de la misma, se debería realizar el diseño de una lámpara. Sin embargo, la idea que se ha seguido a la hora de diseñar la PCB es la independencia de la forma y el tamaño de la lámpara con respecto a la forma y el tamaño del hardware de la aplicación. El sensor de gestos se ha diseñado con dos pequeñas PCB's independientes para poder adaptar al diseño de cualquier lámpara, ya sea un flexo de

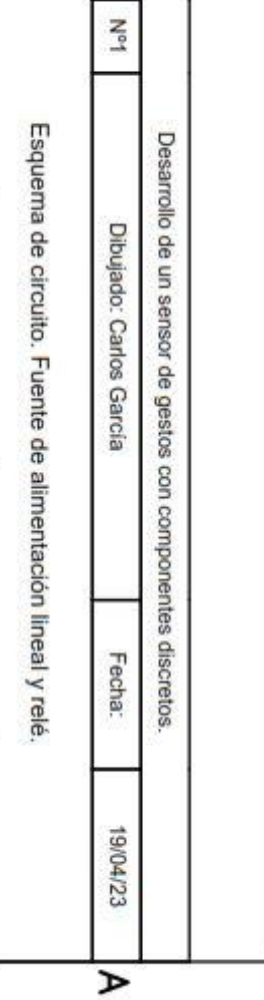
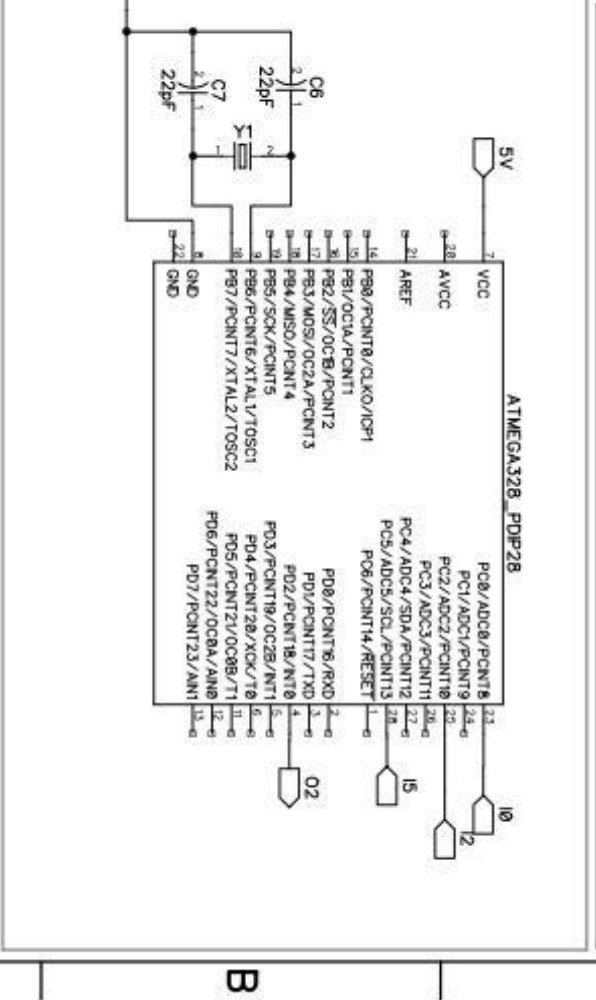
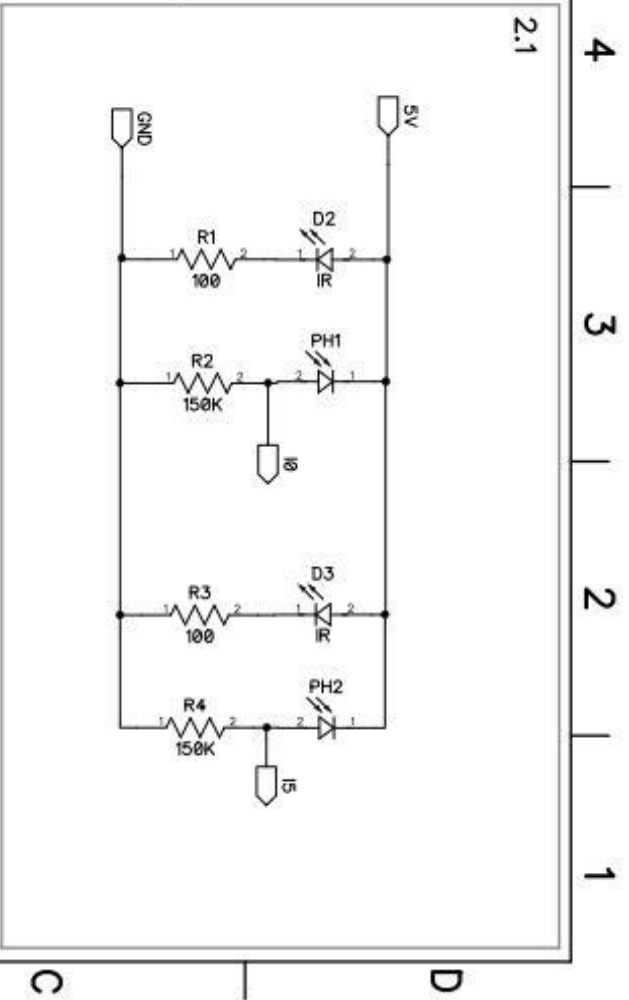
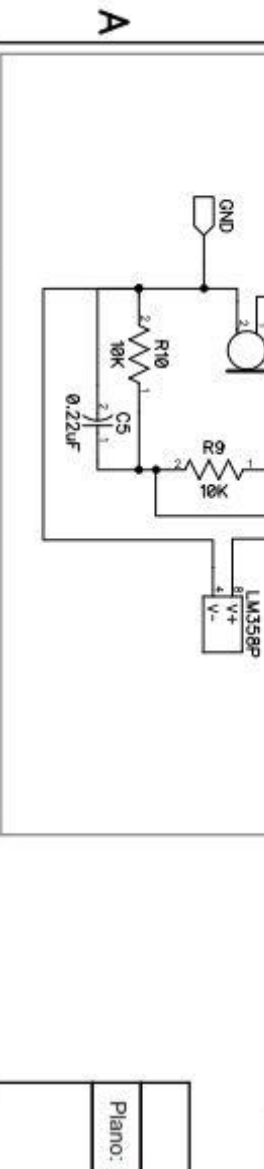
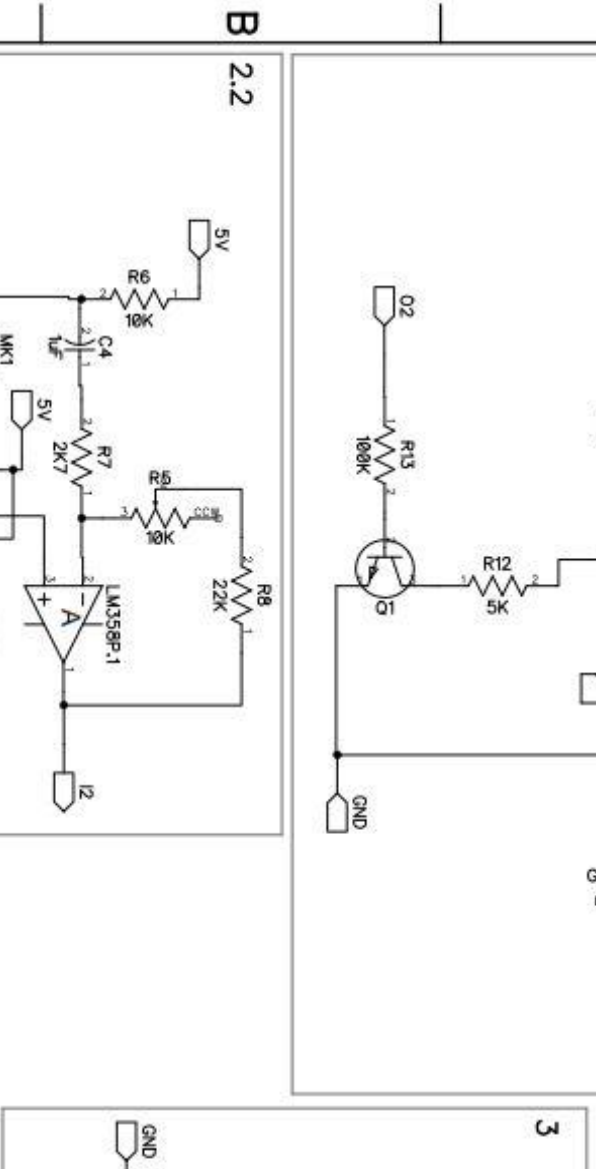
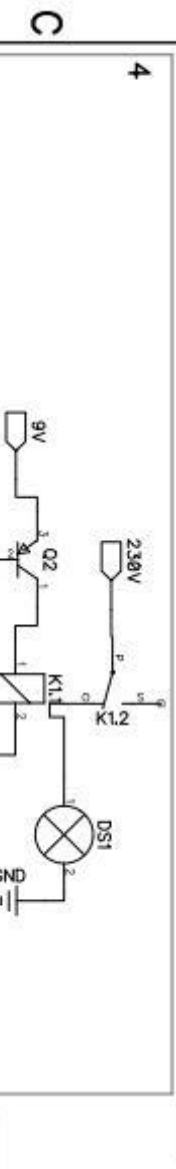
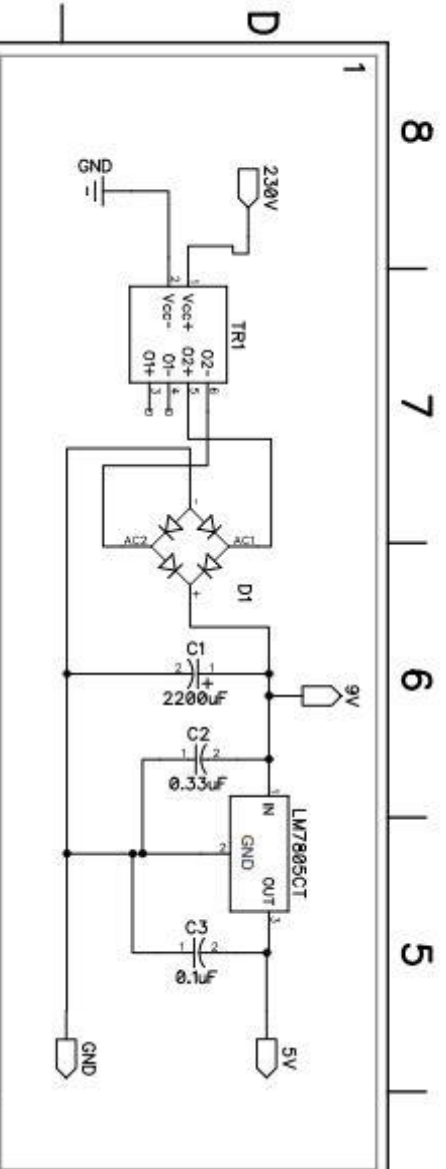
escritorio o una lámpara de pie decorativa, situando el sensor de gestos en una zona accesible y cómoda para realizar el movimiento de la mano.

## Bibliografía

- [1] Texas Instruments, « $\mu$ A7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS,» POST OFFICE BOX 655303, DALLAS, TEXAS 75265, REVISED MAY 2003.
- [2] V. Fernández Escartín, F. Pérez Cebolla y C. Bernal Ruiz, «Electrónica de potencia : teoría, problemas y prácticas,» Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España, 2005.
- [3] RS PRO, «AC/DC Converter LDE03/05-20Bxx Series Output Specifications».
- [4] Vishay Semiconductors, «TSHG6400 - High Speed Infrared Emitting Diode,» Vishay Intertechnology, Inc., Malvern, PA 19355, 2012.
- [5] OSRAM Opto Semiconductors, «Silicon PIN Photodiode Silizium-PIN-Fotodiode Version 1.1 SFH 203, SFH 203 FA,» OSRAM Opto Semiconductors, Regensburg, Germany, 2014.
- [6] RS PRO, «Omni-Directional PCB Mount 9.7mm Condenser Microphone Element Datasheet».
- [7] C. García Ibáñez y J. Almingol Estrada, «Taller de filtros activos. Electrónica analógica,» Zaragoza, 2016.
- [8] Atmel Corporation, «ATmega328P 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash DATASHEET,» Atmel Corporation, San Jose, California, 2015.

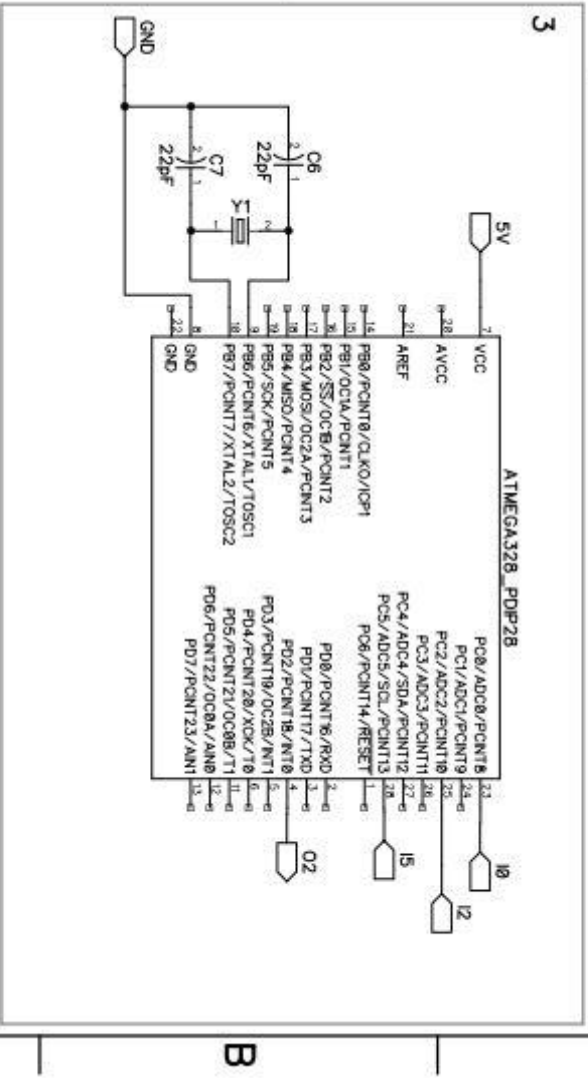
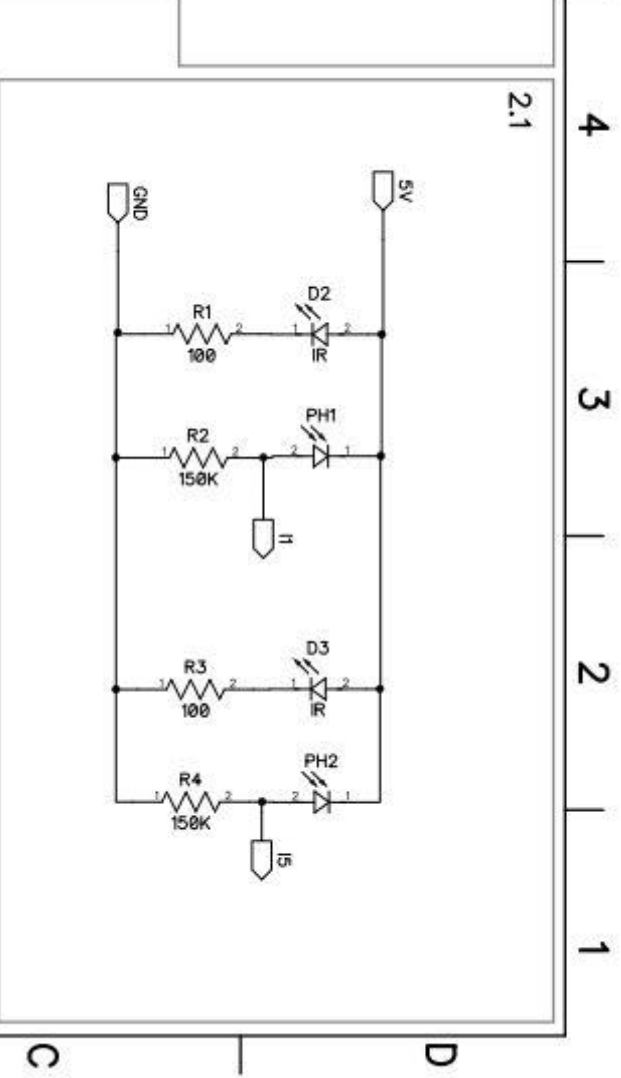
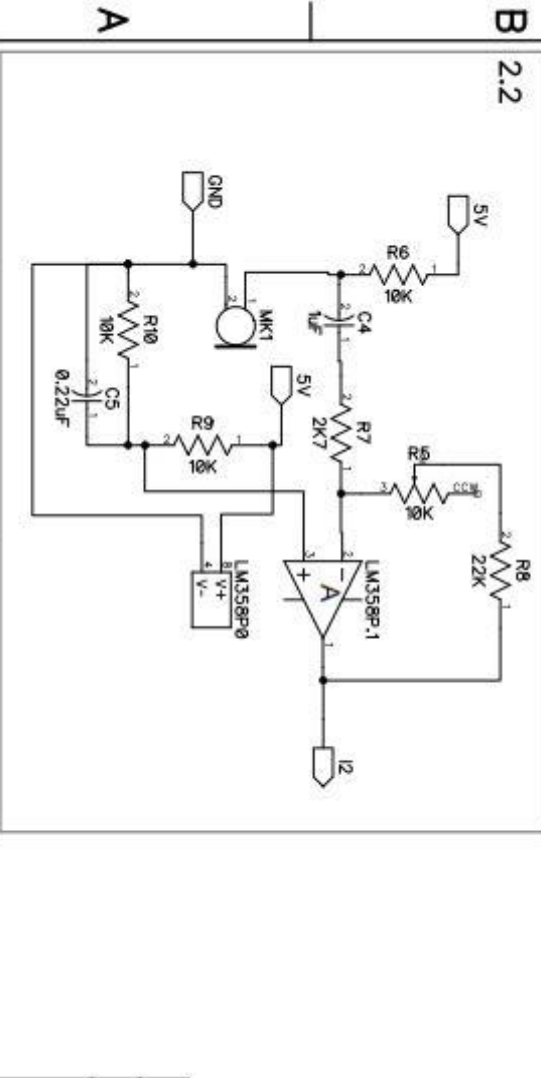
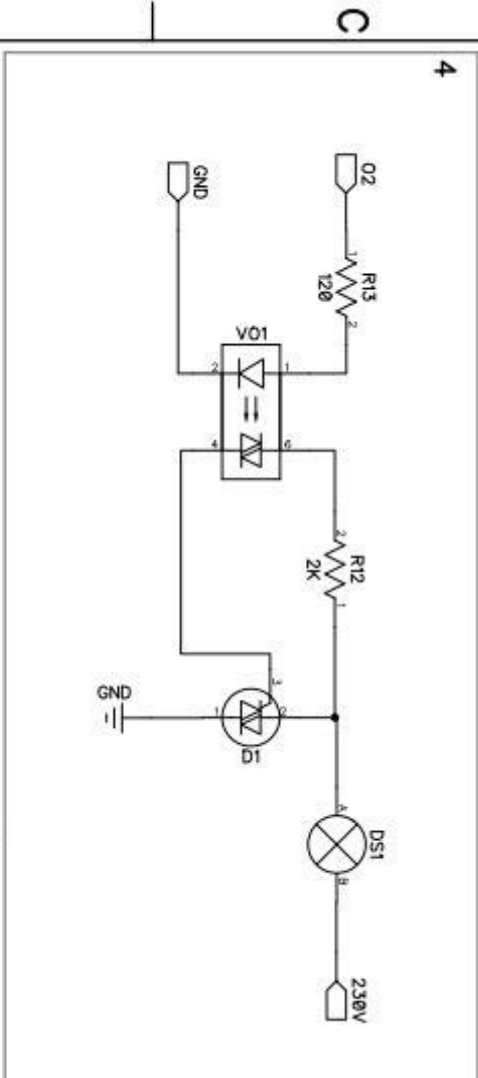
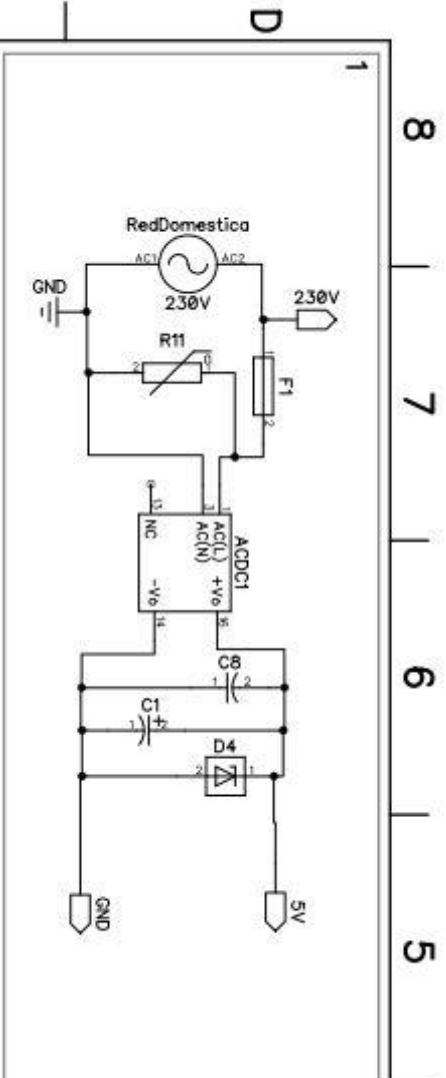
## 7 ANEXOS

### 7.1 A1. ESQUEMAS CIRCUITALES COMPLETOS.



Desarrollo de un sensor de gestos con componentes discretos.			
Plano:	Nº1	Dibujado:	Carlos Garcia
		Fecha:	19/04/23

Esquema de circuito. Fuente de alimentación lineal y relé.



Desarrollo de un sensor de gestos con componentes discretos.

Plano: N°2      Dibujado: Carlos Garcia      Fecha: 19/04/23

Esquema de circuito. Fuente conmutada y triac.

## 7.2 A2. PRESUPUESTOS.

Estos presupuestos forman parte de la justificación de la opción elegida, por lo que únicamente contienen los componentes que varían entre las dos propuestas. Los componentes que comparten no están reflejados.

La propuesta de la fuente de alimentación conmutada y circuito de triac es 8.29€ más barata que la opción de la fuente lineal y relé.

Fuente lineal + relé						
Elemento	Descripción	Componentes	Código RS	Fabricante	€/ud(sin iva)	€/ud
Trafo	PCB 230v9v 5VA	VC 5/2/9	347-2537	Block	12.10	14.64
Rectificador en puente	Mono 1,5A 400V 4pins	W04G-E4/51	865-1889	Vishay	0.52	0.63
Condensador electrolitico	Elect. 2700uF 16V	170-1182	170-1182	RS PRO	0.33	0.40
Reg.Tensión Lineal	LM7805 5V 1A	LM7805CT/NOPB	796-8060	Texas Instru	1.98	2.39
Condensador	330nF 63Vdc	R82DC3330DQ60J	173-4060	KEMET	0.10	0.12
Condensador	100nF	MKS2D031001A00K100	171-0743	WIMA	0.24	0.29
<i>I.BJT Transistor NPN</i>	NPN 100mA 45V	BC550C A1	170-4169	Taiwan Sem	0.08	0.09
<i>I.BJT Transistor PNP</i>	PNP 100mA 45V	BC557BTA	124-1348	onsemi	0.05	0.06
<i>I.BJT Resistencia</i>	4K7Ω	739-7121	739-7121	RS PRO	0.03	0.03
<i>I.BJT Resistencia</i>	100KΩ	707-8748	707-8748	RS PRO	0.03	0.04
Relé sin enclavamiento	Relé 9V 400mW	G5LE-14 DC9	807-4065	Omron	1.63	1.97
<b>Total</b>					<b>17.09</b>	<b>20.67</b>

Fuente conmutada + Triac						
Elemento	Descripción	Componentes	Código RS	Fabricante	€/ud(sin iva)	€/ud
Fuente conmutada	RS PRO, 5V dc, 600mA	181-2188	181-2188	RS PRO	7.27	8.80
Varistor Oxido Metalico	Epcos 560V 50A 350pF	B72214S0351K101	241-6764	EPCOS	0.50	0.60
Fusible	1A 250V 5 x 20mm	563-380	563-380	RS PRO	0.31	0.38
Diodo TVS Unidireccional	SMBJ7.0A, 600W, DO-214	563-380	171-4355	Littelfuse	0.11	0.13
Condensador electrolítico	100uF 25V	25PK100MEFC5X11	763-9412	Rubycon	0.02	0.03
Condensador	1uF 50V	180-4814	180-4814	RS PRO	0.09	0.10
<i>Triac</i>	TO-220AB	BT136-600D,127	484-2741	WeEn Semic	0.67	0.82
Optoacoplador MOC3010	Vf= 1.5V, Viso= 5300 (mír	MOC3010	161-1151	Isocom	0.93	1.13
Resistencia	100Ω				0.07	0.08
Resistencia	2K2Ω	CFR100J2K2	131-851	TE Connecti	0.26	0.32
<b>Total</b>					<b>10.23</b>	<b>12.38</b>

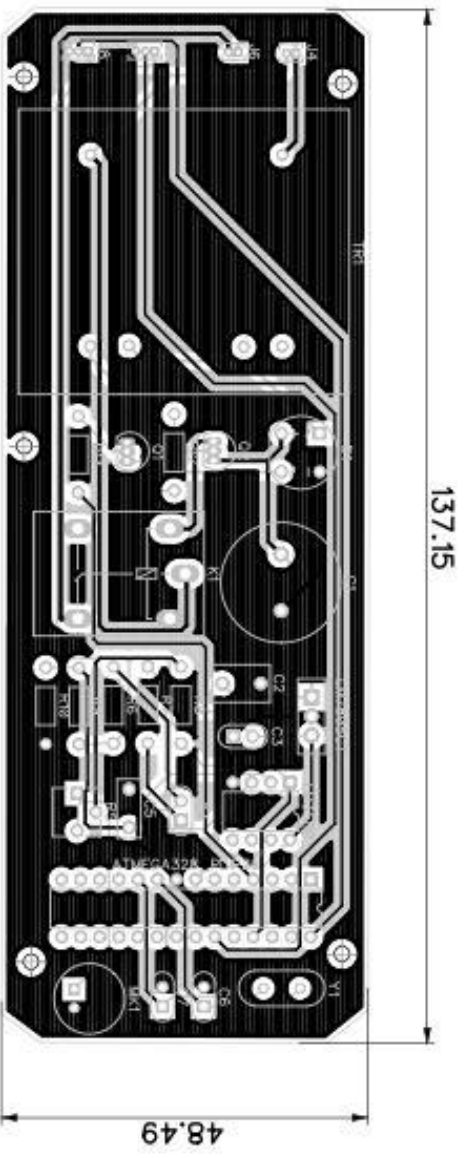
TABLA 1. PRESUPUESTOS DE LAS DOS PROPUESTAS.

### 7.3 A3. PCB's.

En este apartado se expone el diseño de PCB de cada propuesta, cara superior e inferior de cada una. Se han tratado de compactar los diseños con los componentes disponibles para comparar el tamaño de cada prototipo, así contribuir a la elección del mejor prototipo.

Los tamaños de las PCB son los siguientes:

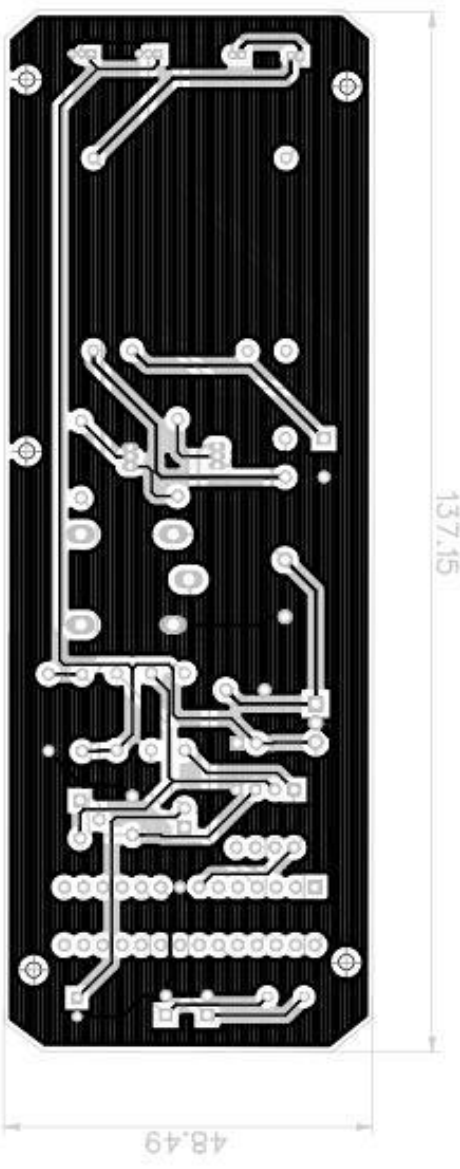
- Fuente lineal y relé: 137.15 x 48.5 x 35 mm.
- Fuente conmutada y triac: 106 x 41 x 20 mm.



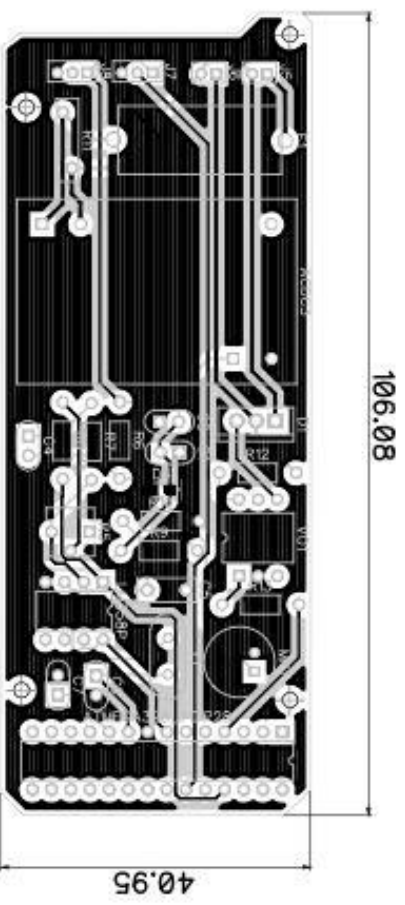
Nombre		Fecha		Firma		Plano	
Dibujado		19-04-23				N/A	
Garcia						680031	
Comprobado						Curso	
Escala		Titulo				TFG	
1/1		PCB fuente lineal y rele					
mm		Cara superior					

4 3 2 1

A B C D



Nombre		Fecha		Firma	
Carlos Garcia		19-04-23			
Dibujado		Comprobado		Título	
				PCB fuente lineal y rele	
Escala		1/1		Carra inferior	
mm				Plano	
N/A		680031			
Curso		TFG			



Nombre		Fecha		Firma	
Carlos Garcia		19-04-23			
Dibujado					
Comprobado					
Escala		Titulo		Plano	
1/1		PCB fuente conmutada y triac			
mm		Cara superior		N/A	
				Curso	
				TFG	

4

3

2

1

A

B

C

D

A

B

C

D

4

3

2

1

106.08

40.95

4

3

2

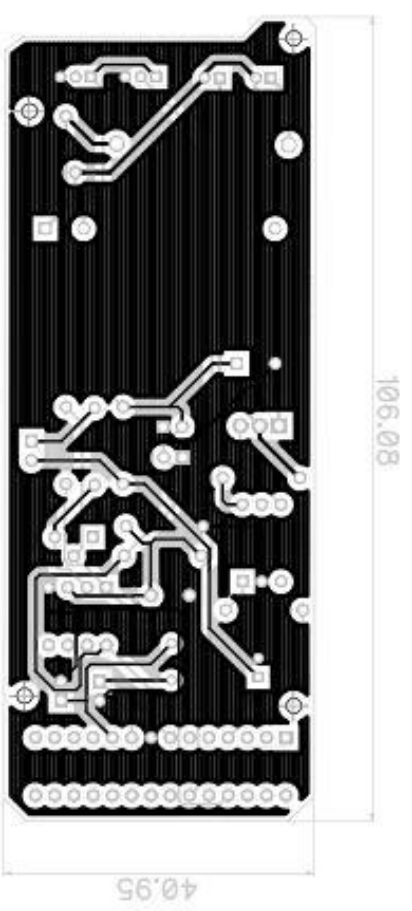
1

D

C

B

A



D

C

B

A

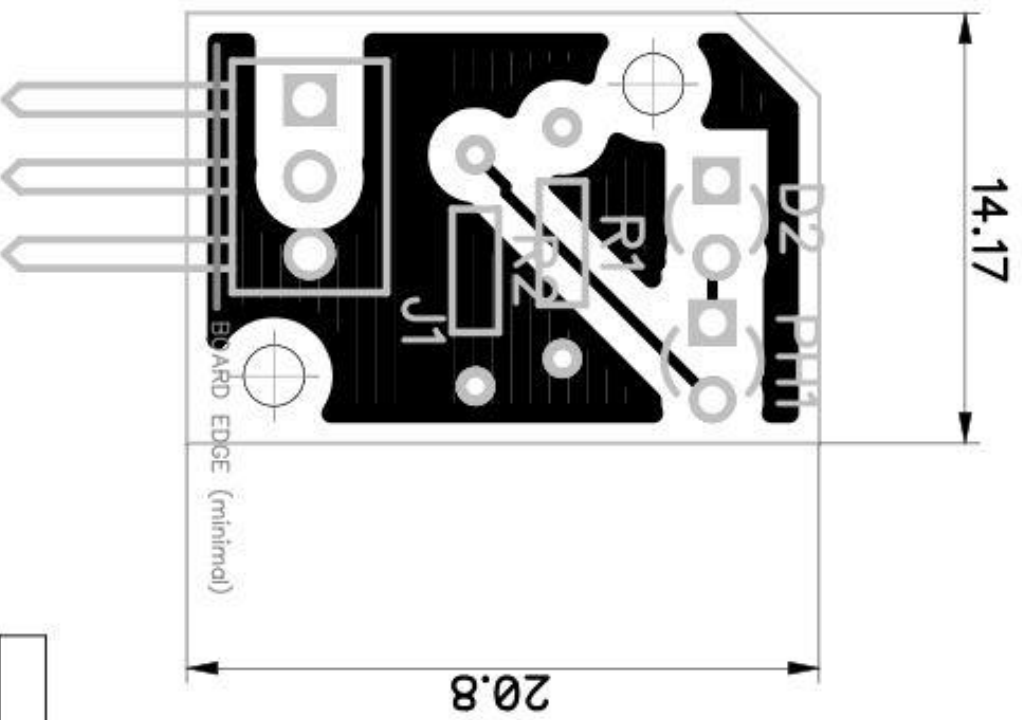
4

3

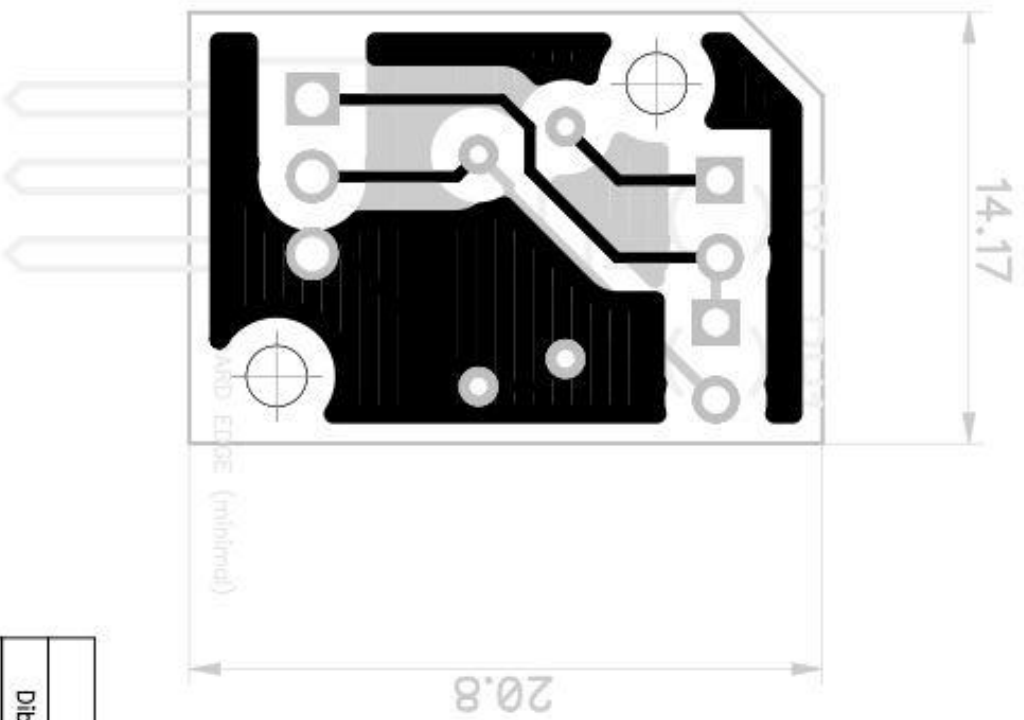
2

1

Dibujado		Nombre	Fecha	Firma	Plano
Comprabado		Carlos Garcia	19-04-23		
Escala		Titulo			
1/1		PCB fuente conmutada y triac			
mm		Cara inferior			
					N/A
					Curso
					680031
					TFG



Nombre		Fecha	Firma
Carlos Garcia		19-04-23	
Comprobado			
Escala		Titulo	
4/1		PCB sensor de IR. Cara Superior.	
El sensor de gestos consta de dos unidades de este circuito.			
Curso		Plano	
N/A		680031	
TFG			



Dibujado		Nombre	Fecha	Firma	Plano
Comprobado		Carlos Garcia	19-04-23		
Escala		Titulo			N/A
4/1		PCB sensor de IR. Cara Inferior.			
mm		El sensor de gestos consta de dos unidades de este circuito.			
					Curso
					TFC