



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

**ICAI**

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**SISTEMA INTELIGENTE DE CONTROL DE  
TRÁFICO**

Autor: María Pilar Galainena Marín

Director: Michael Oelze

Madrid

Julio 2019

## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### **1ª. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.**

La autora D.<sup>a</sup> María Pilar Galainera Marín  
DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:  
Sistema inteligente de control de tráfico,  
que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### **2ª. Objeto y fines de la cesión.**

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### **3ª. Condiciones de la cesión y acceso**

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar "marcas de agua" o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### **4ª. Derechos del autor.**

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### **5ª. Deberes del autor.**

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción

de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

**6°. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a ...16... de ...julio... de ...2019...

**ACEPTA**



Fdo.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
"Sistema inteligente de control de tráfico"  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2018.-2019 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es  
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada  
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: María Pilar Galainena Marín

Fecha: 16/ 07/ 2019



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Michael Oelze

Fecha: 16/ 07/2019





GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**SISTEMA INTELIGENTE DE CONTROL DE  
TRÁFICO**

Autor: María Pilar Galainena Marín

Director: Michael Oelze

Madrid

Julio 2019



# **SISTEMA INTELIGENTE DE CONTROL DE TRÁFICO**

Autor: María Pilar Galainena Marín

Director: Michael Oelze

## ***1. Introducción***

La regulación de tráfico realizada por agentes está basada en un conjunto de gestos establecidos por la Guardia Civil de Tráfico. Cada uno de ellos se corresponde con una indicación dirigida a los conductores que transitan el tramo de la carretera en la que éstos se encuentran. Las órdenes son dadas con un simple movimiento de brazos, generalmente acompañado por un bastón luminoso. Estas indicaciones deben ser seguidas por los conductores, pero no siempre la comunicación es suficientemente clara para lograr dicho objetivo.

Cierto es que muchos de los gestos empleados por los agentes de movilidad pueden ser considerados intuitivos, pero cuando la seguridad de un individuo está en riesgo, ha de garantizarse su perfecta comprensión.

En cuanto al trabajo realizado por los oficiales, su continuo movimiento soportando el peso de los palos de luces resulta cansado, ya que los turnos pueden durar hasta tres horas. El hecho de tener las manos ocupadas resulta también un problema de seguridad ya que, en caso de peligro, supondría un impedimento para agarrar cualquier elemento de defensa o comunicación.

## ***2. Objetivos***

Los objetivos principales del proyecto son garantizar la perfecta comunicación entre agentes de movilidad y conductores, así como la mejora de las condiciones de trabajo de los oficiales. De esta manera se evitará cualquier tipo de accidente generado por la incorrecta interpretación de las señales. Para ello, se diseñará un sistema inteligente de control de tráfico basado en unos guantes y un chaleco ligeros con los que poder acompañar a los gestos de colores y palabras, lo que no solo mejorará significativamente dicha comunicación, sino también la movilidad y libertad de los usuarios.

## ***3. Metodología***

Con el fin de desarrollar un sistema fácil de usar y efectivo, se realizaron unas entrevistas al Departamento de Policía de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign. Éstas fueron la base del estudio de las posibles soluciones al problema mencionado anteriormente ya que la experiencia y opinión de los oficiales en la dirección de tráfico resultaron decisivas para el diseño del sistema. También se asistió a turnos en los que los agentes fueron requeridos por la alta concentración de tráfico debido a eventos deportivos con el fin de observar directamente el trabajo de éstos y poder idear soluciones de utilidad.

#### 4. Resultados y conclusiones

Partiendo de las opiniones de los agentes y las conclusiones obtenidas tras observar su trabajo, se procedió al diseño y desarrollo del producto. Se planteó una solución basada en tres piezas: dos guantes con LEDs cuyo estado (color e intensidad de brillo) pudiera ser elegido por el usuario y un chaleco con dos paneles (frontal y trasero) controlados por los guantes. Los LEDs situados en la palma de la mano ayudarían al agente de movilidad a transmitir una orden con sólo extender el brazo. Se llegó a la conclusión de que la gama de colores necesaria para esta tarea se basaría en dos básicos, rojo y verde. Esta decisión se tomó debido a que dichos colores son los empleados en los semáforos y, por tanto, son correctamente interpretados por cualquier persona con nociones básicas de conducción. Tres modos de intensidad de brillo fueron añadidos para que conductores a quince metros de distancia perciban el color (máxima intensidad), al mismo tiempo que los propios agentes de movilidad no sean deslumbrados en caso de querer mirar el guante (mínima intensidad). En cuanto a los paneles del chaleco, están formados por LEDs colocados de tal manera que cualquier palabra podría ser mostrada en función de cuáles de ellos sean iluminados. Las palabras de utilidad para este proyecto son “STOP” y “GO”, pudiendo ser mostradas ambas en el panel delantero y sólo la primera en el trasero. El diseño físico del sistema se corresponde con el mostrado en la Figura 1.



Figura 1: Diseño físico del sistema inteligente de control de tráfico

En cuanto al funcionamiento del sistema, todos los modos disponibles son fácilmente elegidos por el usuario a través de tres sensores de contacto situados en cada uno de los guantes. Dos de ellos son empleados para cambiar el color y la intensidad de brillo del propio guante respectivamente. Con el tercer sensor del guante derecho, el usuario es capaz de cambiar el mensaje mostrado en el panel trasero (siendo “STOP”-Apagado la secuencia), mientras que con el izquierdo controla el delantero (cuya secuencia es “STOP”-“GO”-Apagado).

Para obtener los resultados deseados, una PCB para cada parte ha de ser diseñada. Ésta se conecta a una batería que alimenta el circuito y los LEDs correspondientes, que cambian de estado según las órdenes del usuario. Tres componentes principales forman cada PCB:

- El microcontrolador ATmega328p-pu programado con Arduino UNO para mandar una señal concreta a los LEDs dependiendo de la información recibida por medio de los sensores.
- El transceptor inalámbrico nRF4L01 para establecer la comunicación entre los guantes y el chaleco.
- Un convertidor de voltaje que regula la tensión de la batería de entrada según las necesidades del circuito.

El sistema diseñado permitirá a los agentes de movilidad transmitir a los conductores las indicaciones sobre cómo actuar en carretera de forma clara y precisa. De esta manera la comunicación entre ambos estará asegurada, lo que evitará posibles accidentes. Al mismo tiempo, los oficiales no sólo necesitarán moverse menos, sino que además tendrán facilidad para agarrar cualquier objeto en caso de necesitarlo. Esto mejoraría sus condiciones de trabajo, puesto que la actividad y por tanto el cansancio en su trabajo disminuirá, al mismo tiempo que aumentará su seguridad.

# **TRAFFIC CONTROL SMART SYSTEM**

Author: María Pilar Galainena Marín

Director: Michael Oelze

## ***1. Introduction***

Traffic control is based on gestures established by the Police Department. Each of them corresponds to an indication for the drivers that go through the intersection where the officers are working. These orders are transmitted with an arm movement that is generally accompanied by a large wand. These indications should be followed by drivers, but not always the communication is clear enough to achieve that objective.

It is true that most of the gestures used by officers could be considered intuitive, but when someone's security is at risk, their understanding must be guaranteed.

As for the officer's performance, they have to strongly and continuously move their arms and body while holding heavy wands. Since the shifts last for three hours, they can get fatigued easily. The fact of holding the wands during all the shift might end up being a problem of security since, in case of danger, it will suppose an impediment to hold any defense or communication object.

## ***2. Objectives of the project***

The main objectives of this project are to guarantee a perfect communication between police officers and drivers as well as to improve their working conditions. All accidents caused by an incorrect interpretation of the officer's orders will be avoided. In order to achieve this, an intelligent system to control the traffic will be designed. It will be based on a pair of light gloves and a vest with attached panels to accompany the gestures with colors and words, what will improve not only the communication but also the freedom of movement of the users.

## ***3. Methodology***

In order to develop an easy-to-use and effective system, some interviews to the University of Illinois Police Department were arranged. These were the basis to design possible solutions for the problem previously explained since the experience and opinion of the officers were extremely important. In addition, shifts in which agents were required due to the large traffic caused by sports events were studied. It helped a lot to observe directly how they worked in crowded places in order to come up with good solutions.

#### 4. Results and conclusions

The design of the product was based on the opinion of several agents and the conclusions obtained after observing their performance when working. The final solution was decided to be formed by three main pieces: two gloves lined with LEDs, which mode (color and brightness) could be chosen by the user and a vest with two panels (front and back) that could be controlled with the gloves. The LEDs placed on the palm of the hand will help police officers to give orders by just reaching out their arm and showing their palm to the drivers. It was concluded that the needed colors were the ordinary ones used in traffic lights, that is, red and green. These are correctly interpreted by anyone with basic driving notions so that no one will misunderstand and officer's indication. Three modes of brightness were included so that drivers can see the color from long distances (maximum brightness), at the same time that officers will not be blinded when looking to their own hands (minimum brightness). As for the panels of the vest, they are formed by LEDs, placed in a proper way so that any word could be displayed depending on which of them are lighted up. The only words used for this project are "STOP" and "GO". The officer will have the option to display both words on the front panel, but just the first one on the back panel. The physical design of the system would be the one in Figure 1.



Figure 1: Physical design of the traffic control smart system

As for the functioning of the system, all the existing modes can be easily chosen by the user thanks to three contact sensors placed on each glove. Two of them are used to change the color and brightness of the glove itself respectively. The third contact sensor of the right glove is used to change the word of the back panel (being "STOP"-Turn off the sequence), while the one of the left glove is used to control the front panel (being "STOP"- "GO"-Turn off the sequence).

In order to obtain the desired results, a PCB for each piece of the system must be designed. Each PCB is connected to a battery that supplies energy to the circuit and the corresponding LEDs, which change their mode depending on the user's orders. Three main components form the PCB:

- The ATmega328p-pu microcontroller programmed to send certain data to the LEDs strip depending on the information received.
- The nRF4L01 wireless transceiver to establish wireless communication between the gloves and the vest.
- A voltage regulator to get the voltages needed by the circuit from the battery.

The designed system will help police officers to transmit the indications of how drivers should act on the road in a clear way. Communication between both of them will be guaranteed, what will avoid possible accidents. At the same time, officers will not only need to move less but will be able to grab any defense object in case they need it. As explained, this traffic control smart system will improve the working conditions of the police officers by contributing to their safety and alleviating the fatigue that results from each shift.

# Agradecimientos

Escribir este Trabajo de Fin de Grado ha tenido en mí un gran impacto, y es por ello que me gustaría agradecer a todas las personas que me han ayudado durante este periodo de aprendizaje.

Primero de todo, me gustaría agradecer a ICAI por darme la oportunidad de realizar el Intercambio en la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, donde he tenido la oportunidad trabajar en este Proyecto y vivir una experiencia increíble acompañada en mi día a día de grandes personas que he conocido estando allí.

También me gustaría agradecer al departamento de ECE por formarme y dotarme de los medios necesarios para desempeñar este Trabajo, así como a mis compañeros Mohit Rawat y William Wang por su esfuerzo y dedicación.

Además, me gustaría dar las gracias a mis padres y amigos, en especial a mi madre, por su apoyo y ánimo durante toda mi etapa académica.

Y por último, gracias a todos mis compañeros y profesores, por hacer de la carrera una experiencia enriquezadora tanto a nivel académico como personal.



# Índice

---

<b>PARTE I MEMORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>Capítulo 1: Introducción .....</b>	<b>4</b>
<i>1.1 Introducción.....</i>	<i>4</i>
<i>1.2 Estado del arte.....</i>	<i>5</i>
<i>1.3 Motivación.....</i>	<i>6</i>
<i>1.4 Objetivos.....</i>	<i>7</i>
<i>1.5 Metodología.....</i>	<i>7</i>
<i>1.6 Recursos empleados.....</i>	<i>8</i>
<b>Capítulo 2: Diseño y desarrollo del prototipo.....</b>	<b>9</b>
<i>2.1 Diseño y funcionamiento del sistema.....</i>	<i>9</i>
<i>2.2 Estudio y elección de componentes.....</i>	<i>12</i>
<i>2.2.1 Microcontrolador.....</i>	<i>12</i>
<i>2.2.2 Transceptor inalámbrico.....</i>	<i>16</i>
<i>2.2.3 LEDs .....</i>	<i>19</i>
<i>2.2.4 Tela e hilo conductor.....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.5 Batería.....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.6 Regulador de voltaje.....</i>	<i>22</i>
<i>2.3 Diseño de las PCBs.....</i>	<i>29</i>
<b>Capítulo 3: Conclusiones .....</b>	<b>34</b>
<b>Capítulo 4: Referencias.....</b>	<b>35</b>
<b>PARTE II ANEXOS .....</b>	<b>37</b>
<b>Anexo 1: Código del microcontrolador de los guantes.....</b>	<b>39</b>
<b>Anexo 2: Código del microcontrolador del chaleco.....</b>	<b>44</b>



# PARTE I MEMORIA

---



---

# Capítulo 1: Introducción

---

En este capítulo se hace una descripción general del proyecto. En la sección 1.1 se introduce el problema a solucionar y la necesidad de llevar a cabo dicha tarea. En la sección 1.2 se estudian los sistemas ya existentes relacionados con la situación tratada. Posteriormente, en las secciones 1.3 y 1.4 se describe la motivación y objetivos propios del proyecto. Finalmente, en las secciones 1.5 y 1.6 se trata la metodología empleada para solucionar el problema enfrentado, así como los recursos empleados.

## *1.1 Introducción*

---

Hoy en día, debido a la alta densidad de población de las grandes ciudades, un gran número de normas han sido redactadas con el fin de establecer el orden. Muchas de estas normas están relacionadas con el tráfico, ya que un alto porcentaje de los habitantes poseen un automóvil. Concretamente, en España hay 30 millones de vehículos en circulación [1], por lo que el respeto y cumplimiento de dichas normas en carretera resulta algo fundamental para el correcto funcionamiento de la sociedad. Por esta razón, la figura de los Agentes de Movilidad dentro del casco urbano es imprescindible, ya que controlan, señalan y dirigen el tráfico evitando posibles alteraciones en las vías. Su labor subordinada a los Cuerpo de la Policía Municipal, garantiza el orden dentro de las vías. Los turnos de trabajo que han de realizar pueden ser de hasta 3 horas seguidas, concretamente cuando su presencia se requiere por eventos multitudinarios, como pueden ser los deportivos. En estas ocasiones, debido a la alta congestión de tráfico y peatones, los semáforos convencionales no resultan suficientemente efectivos para establecer dicho orden. Muchos de estos Agentes de Movilidad controlan el tráfico haciendo uso de bastones luminosos. Éstos son grandes y no especialmente ligeros. Miden alrededor de 50 cm y pueden llegar a pesar hasta medio kilo. Generalmente, dichas características causan fatiga en aquel que los emplea, ya que han de ser agitados continuamente durante un largo periodo de tiempo. Además, el uso de estos bastones puede llegar a causar un problema de seguridad o comunicación con otros oficiales, puesto que supone un claro impedimento a la hora de agarrar cualquier otro objeto. Es decir, el agente estaría incapacitado para coger un walkie-talkie, un móvil o cualquier elemento de defensa que garantice su bienestar mientras trabaja.

La tarea realizada por los Agentes de Movilidad, se basa en la transmisión de indicaciones a los conductores, con el fin de lograr el orden en carretera. Dichas indicaciones son dadas con movimientos de brazos y cuerpo. Este lenguaje de gestos puede resultar ambiguo y difícil de interpretar en muchas ocasiones. Según un estudio, la mala señalización es la tercera causa de distracción de los conductores, que causa el 25% de los accidentes de tráfico en carretera [2]. Claramente, todo esto supone un problema a resolver, ya que no solo las probabilidades de que un oficial esté cansado, sino de que un conductor malinterprete sus indicaciones y por tanto haya un

accidente, son más altas de las deseadas. Ideando una solución para dicho problema, se mejorarían las condiciones de trabajo de los Agentes de Movilidad que velan por el bien de los ciudadanos, y se disminuirían las probabilidades de accidente al garantizar la perfecta comunicación entre oficiales y conductores.

## 1.2 Estado del arte

---

Este proyecto implica el diseño, la fabricación y el montaje de un sistema inteligente de control de tráfico ideado para ayudar a los Agentes de Movilidad en el desempeño de su función a la hora de trabajar. Por este motivo, se estudiarán varios de los equipos empleados para el control policial [3] con el fin de mejorarlos, o bien de crear uno nuevo y mejor basado en estos.

El proyecto toma como punto de partida los siguientes componentes:

- Bastón luminoso: Empleado para la correcta gestión del tráfico en situaciones de alta densidad, control de vehículos o accidente. Funciona a un solo color (amarillo) en destello o en luz fija con dos pilas. Incorpora función linterna con luz blanca. Se muestra en la Figura 1.



Figura 1: Bastón luminoso

- Chaleco alta visibilidad: Fabricado en tejido de malla transpirable en color amarillo de alta visibilidad, como bien se muestra en la Figura 2. Provisto de dos bandas reflectantes en tejido gris plata en la parte delantera y trasera. Está especialmente pensado para ser visto a gran distancia.



Figura 2: Chaleco de alta visibilidad

- Panel de mensaje variable PMW: Sistema interactivo de seguridad vial constituido por una matriz alfanumérica, de 10, 20 ó 30 caracteres en función del modelo elegido según muestra la Figura 3. Su uso es urbano e interurbano, para dar información al conductor sobre situaciones inesperadas. Los mensajes pueden ser modificados desde una central operativa vía GSM.



Figura 3: Panel de mensaje variable

### ***1.3 Motivación***

---

Este proyecto es fruto del propósito de ayudar a garantizar el orden y correcto funcionamiento de la sociedad, así como la calidad de vida de sus miembros. Con el fin de lograr dicho objetivo, se ha desarrollado un sistema pensado para mejorar los siguientes aspectos:

- **Comunicación entre Agentes de Movilidad y conductores:** Una vaga comunicación entre ambos puede no sólo poner en peligro a todos los coches que circulen por el tramo de carretera en el que estos se encuentran, sino también al propio oficial. Este sistema contribuirá por tanto a la seguridad vial al garantizar la correcta comprensión de las órdenes a seguir por los conductores, disminuyendo así la probabilidad de accidentes en carretera.
- **Condiciones de trabajo de Agentes de Movilidad:** El movimiento continuo de bastones luminosos durante un largo periodo de tiempo puede cansar a los oficiales a medida que pasa el tiempo en su turno de trabajo. Con este proyecto, se diseñará un sistema que les permita dar indicaciones igual y hasta más claras sin la necesidad de moverse enérgicamente. La seguridad del agente será otro de los aspectos afectados positivamente al implementar dicho sistema, ya que al tener las manos libres podrá hacer uso de ellas para realizar cualquier otra tarea.

## ***1.4 Objetivos***

---

El sistema desarrollado con este proyecto está pensado para ser empleado por personas sin nociones de electrónica. Se ha de tener en cuenta también la necesidad de tener una rápida adaptación a cada situación guiada por el usuario. Tomando dichas especificaciones como base, pueden enumerarse los siguientes objetivos:

1. Sistema intuitivo y fácil de usar. No ha de ser demasiado complejo, ya que el agente ha de poder utilizarlo mientras trabaja, siendo éste un sistema de ayuda y no una distracción.
2. Ha de ser ligero y cómodo.
3. No ha de restringir ni dificultar la capacidad de movimiento del usuario.
4. Ha de poder ser controlado por el usuario con el fin de adaptarse a cada situación.
5. Ha de recurrir a elementos, colores y palabras fácilmente interpretables por cualquier persona con nociones básicas de conducción.
6. Ha de poder ser visto a largas distancias.
7. Ha de ser alimentado por baterías ligeras y recargables.

## ***1.5 Metodología***

---

La metodología seguida ha consistido en varios pasos. El primero de ello ha consistido en el estudio directo del problema. Puesto que este proyecto se ha desarrollado en la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, se han hecho entrevistas a varios miembros del Departamento de Policía de dicha universidad, con el fin de reunir opiniones y propuestas de personas directamente implicadas en el tema tratado. Además, se ha asistido a la salida de eventos deportivos, donde la intervención de los agentes resulta imprescindible debido a la alta concentración de tráfico. De esta manera se han podido observar directamente todas y cada una de las indicaciones empleadas para dirigir a los conductores. Una vez finalizado el proceso de investigación, se han considerado diferentes soluciones.

Tras deliberar todas las posibles opciones y llegar a una única solución, siendo la más apropiada por cumplir todos y cada uno de los objetivos previamente definidos en la sección 1.4, se ha procedido al diseño y desarrollo de la misma. En primer lugar, se han definido todas las características relacionadas a la interacción del usuario con el propio sistema, es decir, cómo ha de ser empleado para dar distintas respuestas que puedan adaptarse a las necesidades del agente.

A continuación, se ha estudiado el circuito necesario para el funcionamiento del sistema, diseñando posteriormente la PCB (Printed Circuit Board) con un programa llamado Eagle. Antes de mandar hacer dicha PCB, se ha simulado el circuito en una placa de pruebas con el fin de comprobar su correcto funcionamiento, habiendo programado anteriormente el microcontrolador en colaboración con Mohit Rawat, un estudiante de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign. Una vez recibida la PCB, han sido soldados todos los componentes. Finalmente, se ha montado el sistema completo conectando todas las partes que lo forman y se ha mejorado el código lo máximo posible.

## ***1.6 Recursos empleados***

---

Los materiales principales empleados para desarrollar el sistema son los siguientes:

- Dos guantes y un chaleco reflectante.
- Bandas de LEDs (modelo WS2813).
- Reguladores de voltaje: LM2596 y LD1117V33.
- Microcontrolador: ATmega328p-pu.
- Transceptor inalámbrico: NRF24L01.
- Baterías de Litio.
- Placa Arduino.

---

## Capítulo 2: Diseño y desarrollo del prototipo

---

En este capítulo se hace una descripción del trabajo llevado a cabo a lo largo del proceso de desarrollo del prototipo. En la sección 2.1 se describe del diseño físico del sistema así como su respuesta según las diferentes acciones del usuario. En la sección 2.2 se hace un estudio sobre la elección de los diferentes componentes electrónicos necesarios para su funcionamiento. Por último, en la sección 2.3 se describen los diferentes módulos que componen las PCBs.

### *2.1 Diseño y funcionamiento del sistema*

---

El primer paso a dar, y por tanto la base a partir de la cual se tomarán el resto de decisiones, es el diseño del sistema y su interacción con el usuario. Como bien se describe en la sección 1.5, varias entrevistas a agentes de movilidad y estudios acerca de su trabajo desempeñado a la hora de dirigir el tráfico fueron llevados a cabo con el fin de diseñar un sistema útil e intuitivo. También se tuvieron en cuenta los objetivos a cumplir descritos en la sección 1.4.

El sistema inteligente de control de tráfico desarrollado con este proyecto consta de tres partes: un guante derecho, un guante izquierdo y un chaleco.

Ambos guantes funcionan de forma completamente independiente. Están forrados por tiras flexibles de LEDs, con el fin de ser iluminados de diferentes colores según la necesidad del usuario. Dichas tiras están situadas en la palma de la mano de manera que, con tan sólo estirar el brazo, los oficiales son capaces de dar una indicación. Cuatro sensores de contacto situados en los dedos son utilizados para cambiar el modo de funcionamiento del sistema. Para cada uno de los guantes se hace uso de una PCB y una batería con la que alimentarla. Dicha PCB consta de varios módulos (descritos posteriormente en la sección 2.3) y varios pines a través de los cuales se manda y recibe información. En cuanto a los pines de salida, es decir, aquellos que mandan información, hay tres de ellos. Uno mantiene una tensión constante de 5V, otro se toma como referencia de tierra, y el tercero contiene la información correspondiente a los LEDs. La tensión de 5V es utilizada para alimentar tanto las tiras de LEDs como uno de los sensores, concretamente aquel situado en el pulgar, referenciado como el indicador. Por otro lado, a través de los pines de entrada, se recibe la información dada por el usuario. Hay tres de ellos, cada uno conectado a un sensor de contacto. Éstos permanecen constantemente a una tensión de 0V, a no ser que por el contacto con el sensor indicador pasen a tener una tensión de 5V. Dependiendo de cual de estos tres sensores sufran un aumento momentáneo de tensión se producirá un cambio diferente en el sistema. La conexión de todos los componentes que forman los guantes se realiza mediante un M20-7920642R, mostrado en la Figura 4. Dicho componente, soldado a la placa mostrada en la Figura 5, puede ser fácilmente cosido a los guantes, donde se conecta a la PCB mediante cables tipo *jumper*, a los LEDs mediante cables soldados, y a los sensores mediante un hilo conductor.



Figura 4: Componente M20-7920642R

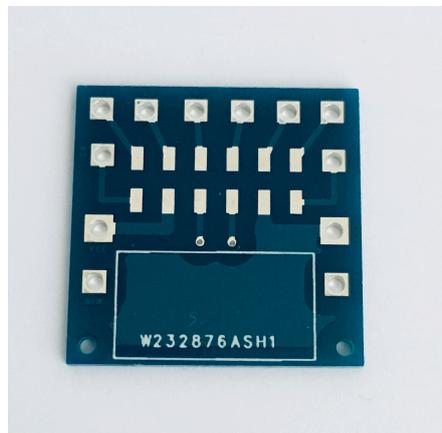


Figura 5: Placa base componente M20-7920642R

Tres cambios pueden ser producidos al hacer contacto entre el sensor indicador y uno de los tres restantes:

- Color: El primer sensor es empleado para cambiar el color del propio guante, que puede variar entre rojo y verde.
- Intensidad de brillo: El segundo sensor es empleado para variar la intensidad de brillo de los LEDs del propio guante. Existen tres intensidades y el modo apagado.
- Mensaje del panel: El tercer sensor es empleado para cambiar la palabra iluminada en el panel del chaleco, la cual puede variar entre “STOP” y “GO”. Con este sensor del guante derecho se controla el panel trasero, mientras que con el del izquierdo se controla el delantero.

La tercera parte consta de un chaleco con dos paneles, situados en la parte trasera y delantera respectivamente. Su modo de funcionamiento depende única y exclusivamente de la información recibida por los guantes de forma inalámbrica. Al igual que los guantes, el chaleco lleva integrada una PCB y una batería que la alimenta. En esta parte del sistema, solo dos pines de salida en la PCB

son necesarios. Uno de ellos, con una tensión constante de 5V, alimenta ambos paneles, mientras que el otro contiene la información correspondiente al modo de encendido de los LEDs.

Una vez unidos todos los componentes que forman los guantes y el chaleco, el diseño correspondiente a cada una de las partes es el mostrado en la Figura 6 y Figura 7.

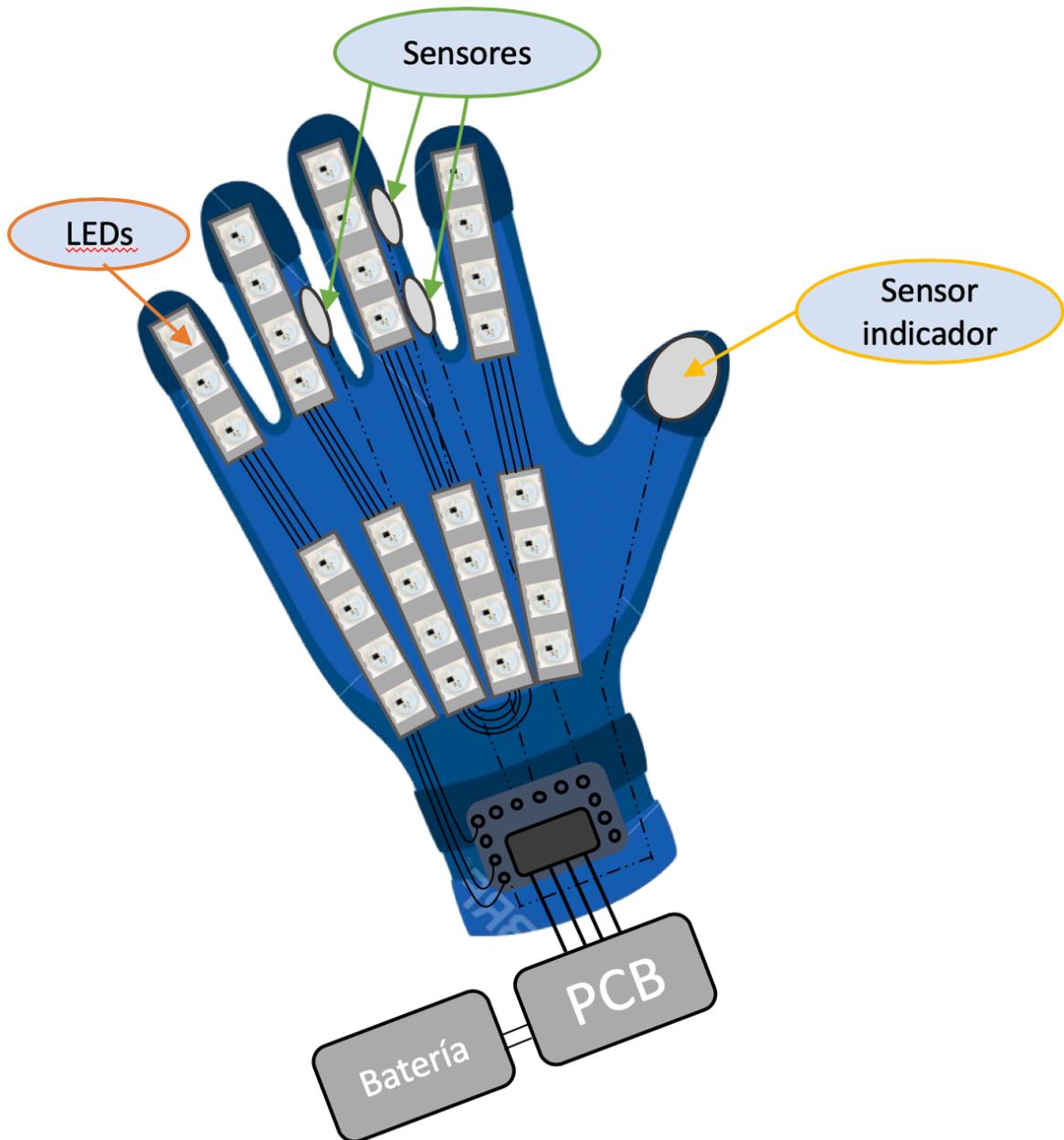


Figura 6: Diseño guantes

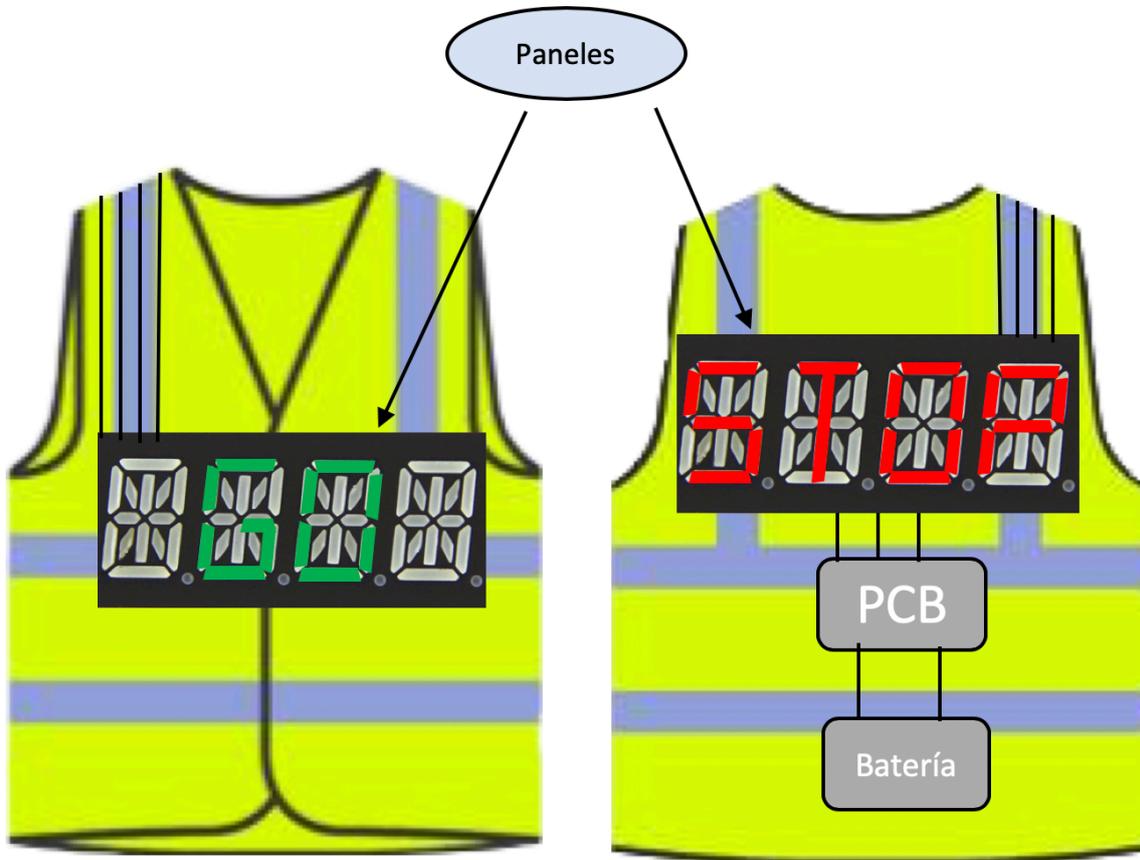


Figura 7: Diseño chaleco

## 2.2 Estudio y elección de componentes

---

En esta sección se detallan los componentes elegidos para el desarrollo del sistema. De este paso dependerá no sólo el diseño del sistema sino también el correcto funcionamiento del mismo.

### 2.2.1 Microcontrolador

---

El microcontrolador es uno de los componentes más importantes. De él depende la respuesta del sistema ante las diferentes entradas o indicaciones dadas por el usuario. Para el desarrollo de este proyecto, el microcontrolador ha de ser programado y posteriormente soldado a la PCB, donde se encuentran el resto de componentes a los que debe de estar conectado. Por ese motivo, se ha elegido

el microcontrolador ATmega328p-pu [4] mostrado en la Figura 9 debido a su adaptación al proyecto por el número de pines, el tamaño, y la facilidad de programación con Arduino UNO, donde muchas librerías, en concreto las necesarias para trabajar con LEDs y transceptores inalámbricos, pueden ser encontradas.



Figura 8: Arduino Uno

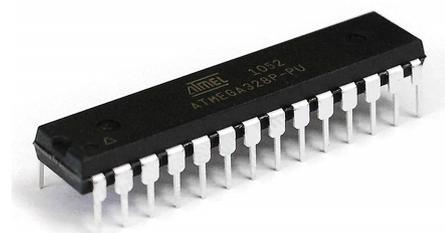


Figura 9: ATmega328p-pu

A lo largo del desarrollo del sistema, muchas pruebas de programación del microcontrolador son llevadas a cabo. Con el fin de facilitar dicho proceso, se ha soldado a la PCB una base con 28 pines como la mostrada en la Figura 10, de manera que el microcontrolador hace contacto con el circuito sin estar soldado, lo que permite quitarlo y ponerlo cuantas veces sean necesarias.

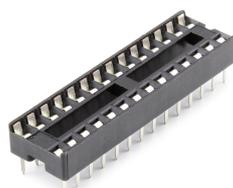


Figura 10: Base microcontrolador 28 pines

El Arduino Uno, mostrado anteriormente en la Figura 8, es una placa electrónica basada en el microcontrolador elegido para el funcionamiento de este sistema que cuenta con catorce pines digitales y seis analógicos. A la hora de programar el microcontrolador, ha de tenerse en cuenta el pin que se está tratando así como el uso que se le quiere dar. Los pines digitales procesan únicamente voltajes de 0 y 5V, a partir de los cuales, junto con unas puertas lógicas, se ensamblan circuitos capaces de realizar acciones complejas. Los pines analógicos pueden procesar distintos

valores de voltaje entr 0 y 5V. En la Figura 11, se describen las características propias de cada pin del microcontrolador ATmega328p-pu [5].

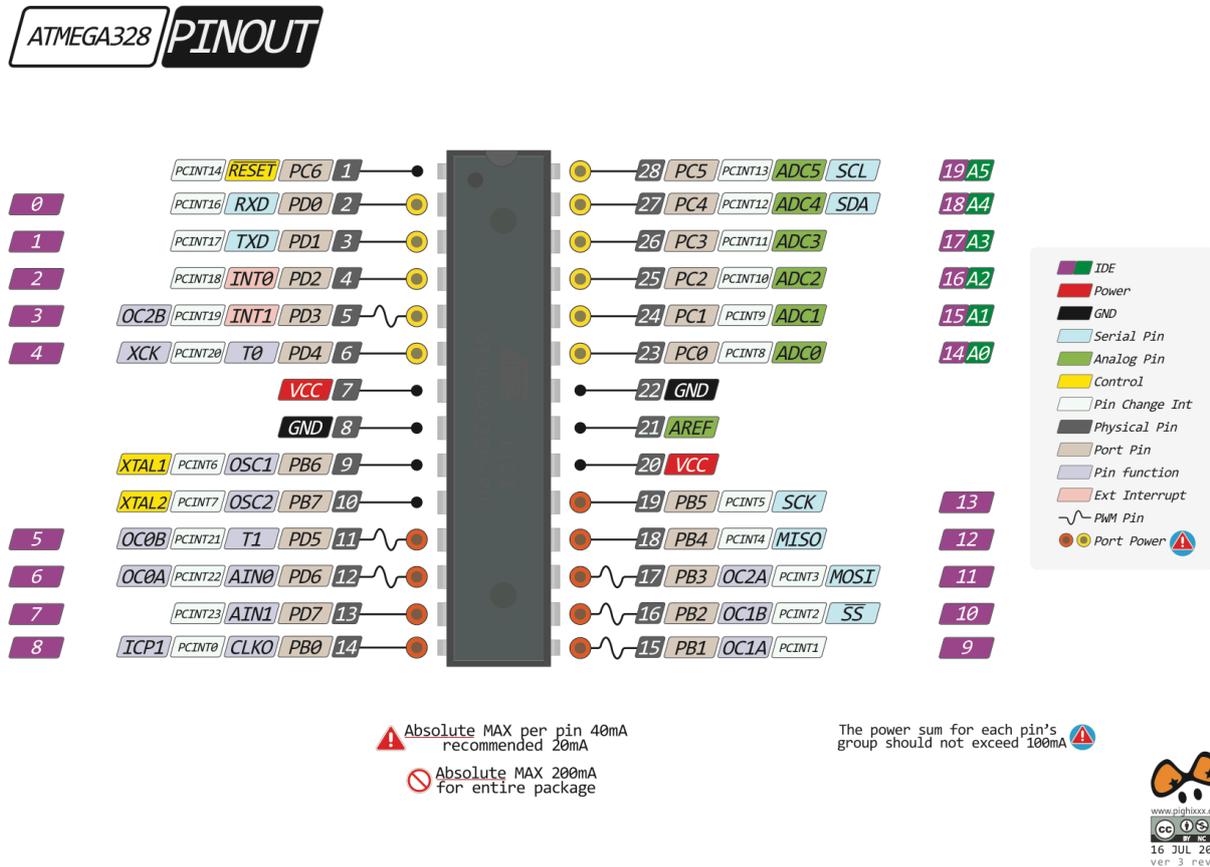


Figura 11: Descripción pines ATmega328p-pu

Por tanto, la información recibida por el microcontrolador puede ser de dos tipos [6]:

- Analógica: Las entradas analógicas son las correspondientes a los pines de A0 a A5 como se muestra en la Figura 11. Los valores leídos de tensión pueden ir de 0 a 5V con una resolución de 1024 (10 bits), por lo que el microcontrolador es capaz de detectar variaciones a nivel de señal de entrada de casi 5mV. La función de lectura de este tipo de entrada devuelve un valor de 0 (entrada nula) a 1023 (entrada de 5V) en proporción al nivel de la señal.
- Digital: Las entradas digitales son las correspondientes a los pines del 1 al 13, como se muestra en la Figura 11. Los pines analógicos también pueden ser tratados como digitales denominándolos con los números del 14 al 19. Con este tipo de señales se tratan los niveles LOW y HIGH, correspondientes a valores de voltaje cercanos a 0 y 5V respectivamente. Por defecto, la configuración de estos pines es de modo entrada.

Una vez recibida la información, el microcontrolador está programado para dar una respuesta concreta que, al igual que los datos de entrada, puede ser de dos tipos [7]:

- Digital: La denominación y los valores que pueden tomar las salidas digitales son las mismas que las entradas digitales. En cuanto al código escrito, ha de configurarse el pin en modo salida y posteriormente proceder a la escritura del valor.
- PWM: Existe la opción de generar salidas analógicas desde pines digitales. Dichas señales son de tipo PWM (Pulse Width Modulation) y se crean estableciendo el ciclo de trabajo, cuyo valor puede variar entre 0 (siempre apagado) y 255 (siempre encendido) trabajando con una frecuencia de 500Hz.

En este proyecto, se pueden diferenciar dos formas de trabajo dependiendo de la parte del sistema a la que se haga referencia. El microcontrolador correspondiente a los guantes, recibe la señal de tres sensores y genera la información correspondiente al funcionamiento de los LEDs del propio guante y de los paneles del chaleco. En cuanto al microcontrolador del chaleco, recibe información de los guantes de forma inalámbrica y genera la respuesta correspondiente al modo de encendido de los paneles. El microcontrolador ATmega328p-pu es por tanto una opción apropiada puesto que el número y tipo de entradas del sistema desarrollado pueden ser perfectamente procesadas por el mismo.

En cuanto al funcionamiento del microcontrolador, no solo ha de tenerse en cuenta la información previamente descrita. Como puede observarse en la Figura 11, los pines 7 y 20 han de ser conectados a 5V, mientras que el 8 y el 22 han de estar a tierra. Con el pin 1 (RESET) se controla el reinicio del microcontrolador. Al ser activo bajo, ha de estar conectado a 5V en caso de no querer reiniciarlo. Por último, es necesario generar una señal de reloj que controle la frecuencia a la que se ejecuta el programa. Para ello, se hace uso de un oscilador de cristal de 16Mhz, como el mostrado en la Figura 12, que ha de estar conectado a los pines 9 y 10 a través de dos condensadores de 20pF.



Figura 12: Oscilador de cristal 16Mhz

El código escrito para la programación del microcontrolador, que puede encontrarse en los anexos, ha sido elaborado en colaboración con Mohit Rawat, estudiante de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign.

### 2.2.2 Transceptor inalámbrico

---

El transceptor inalámbrico es el componente fundamental empleado para conectar los guantes y el chaleco sin necesidad de usar cables que molesten y restrinjan la capacidad de movimiento del usuario. Para el desarrollo de este proyecto, se ha hecho uso del módulo nRF24L01 [8], como el mostrado en la Figura 13, debido a su pequeño tamaño, su consumo reducido, su alto alcance y su compatibilidad con el microcontrolador ATmega328p-pu.

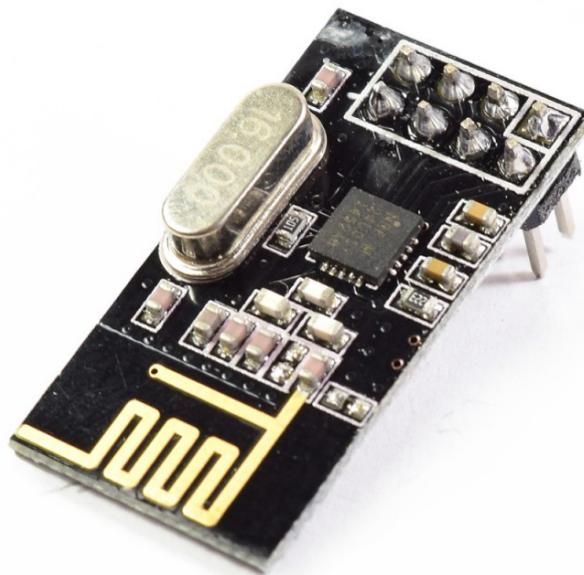


Figura 13: Módulo nRF24L01

Se trata de un componente con funcionamiento en la banda ISM de 2,4GHz que puede operar con velocidades y alcance de transmisión de hasta 2Mbps y 100 metros respectivamente, lo que dota al sistema de una capacidad de reacción casi instantánea. Dicha banda de radio está reservada internacionalmente para el uso de energía de radiofrecuencia con fines industriales, científicos y médicos distintos de las telecomunicaciones, por lo que no es necesario el uso de licencia y es libre en todo el mundo [9].

El transceptor nRF24L01 es un módulo con 8 pines (headers macho) a través de los cuales se alimenta a 3.3V y se comunica mediante SPI. El Bus SPI (Serial Peripheral Interface) es un estándar de comunicaciones usado para la transferencia de información. Se trata de un protocolo síncrono de datos en serie empleado por microcontroladores para comunicarse con uno o más dispositivos. También puede emplearse para la comunicación entre microcontroladores, como bien se aplica en este proyecto. En este tipo de comunicación, hay un dispositivo *maestro* que controla los dispositivos periféricos [10]. Típicamente existen tres líneas comunes en todos los dispositivos:

- MISO (Master In Slave Out): Línea por la que el *esclavo* manda datos al *maestro*.
- MOSI (Master In Slave In): Línea por la que el *maestro* manda datos a los dispositivos periféricos.
- SCK (Serial Clock): Reloj que sincroniza la transmisión de datos generados por el *maestro*. Por cada pulso, un bit de información ingresa al dispositivo *maestro* o *esclavo* de manera que se requieren 8 pulsos para transferir 1 byte.

También existe una línea para cada dispositivo:

- SS (Slave Select): Pin de cada dispositivo que el *maestro* utiliza para habilitarlos y deshabilitarlos. Cuando dicho pin es bajo, se comunica con el *maestro*. Por el contrario, cuando es alto, lo ignora. Esto permite múltiples dispositivos SPI empleando la mismas líneas MISO, MOSI y SCK.

El estándar de comunicación SPI se puede resumir tal y como se muestra en la Figura 14:

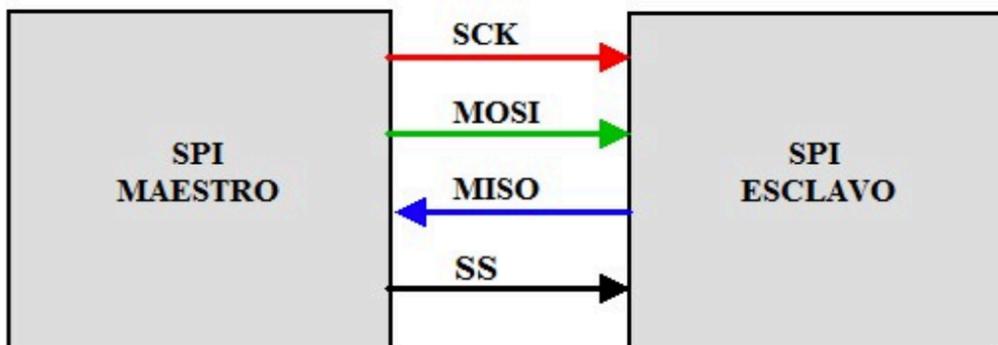


Figura 14: Estándar de comunicación SPI

La posibilidad y facilidad de conexión del módulo transceptor nRF24L01 con el ATmega328p-pu es una de las razones por las que dicho microcontrolador ha sido elegido. Existen librerías ya definidas en Arduino para trabajar con el transceptor inalámbrico tales como <SPI.h>, <nRF24L01.h> y <RF24.h>. Ha de tenerse en cuenta la posición de cada uno de los pines, existiendo 8 de ellos como bien se muestra en la Figura 15 [11]:

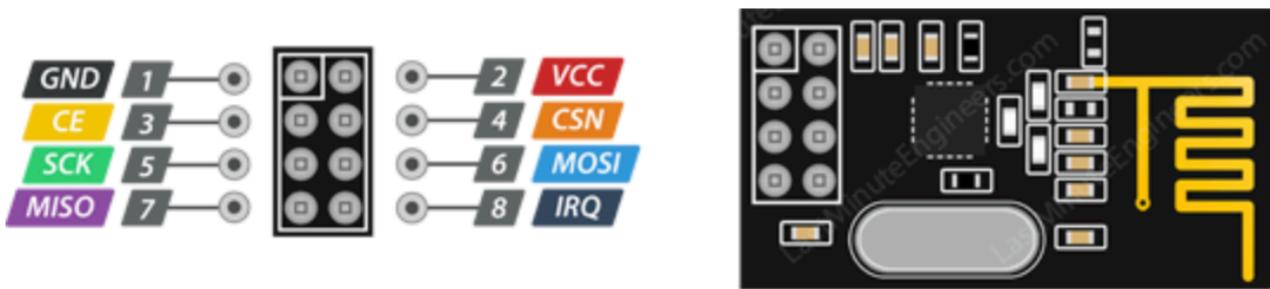


Figura 15: Descripción pines Módulo nRF24L01

La función de cada uno de los pines así como su conexión con el microcontrolador es la siguiente:

- IRQ: Interruptor para alertar al *maestro* acerca de la disponibilidad de nuevos datos en proceso. Para este proyecto no se hará uso de dicho pin.
- MISO: Datos de salida del módulo. Conectado al pin 12 del microcontrolador.
- MOSI: Datos de entrada del módulo. Conectado al pin 11 del microcontrolador.
- SCK: Proporciona el pulso de reloj. Conectado al pin 13 del microcontrolador.
- CSN (Chip Select Not): Pin activo bajo que normalmente ha de mantenerse en alto. Cuando se encuentra en bajo, el módulo escucha los datos de su puerto SPI y los procesa. Conectado al pin 8 del microcontrolador.
- CE (Chip Enable): Pin activo alto. Habilita la comunicación SPI. Conectado al pin 7 del microcontrolador.
- VCC: Alimentación del módulo conectada a 3.3V para su correcto funcionamiento.
- GND: Referencia conectada a tierra.

En cuanto al consumo del componente, podría decirse que es casi nulo puesto que el rango se encuentra entre 9 y 12,3 mA, dándose este último en el modo de funcionamiento RX, es decir, cuando está recibiendo datos. El módulo nRF24L01 es capaz de recibir datos de hasta seis módulos diferentes, aplicándose en este proyecto dicha capacidad con dos de ellos. Los transceptores inalámbricos integrados en los guantes únicamente mandan información, mientras que aquel conectado a los paneles del chaleco ha de recibir los datos de ambos simultáneamente. Es por ello que han de definirse dos canales (pipes) diferentes para cada uno, de manera que el módulo del chaleco pueda distinguir la procedencia de la información y esta pueda enviarse y recibirse.

### 2.2.3 LEDs

Los LEDs empleados en este proyecto desempeñan una tarea fundamental en el funcionamiento del sistema. De su modo de iluminación depende la utilidad del sistema, ya que su adaptación en cuanto a color y brillo será controlada por el usuario en función de la situación en la que se encuentre. Por tanto, ha de elegirse un modelo de LED compatible con la programación en Arduino y capaz de iluminarse en rojo y verde con al menos tres niveles de intensidad de brillo.

El componente seleccionado para desempeñar esta función ha sido la tira de LEDs WS2813 [12] mostrada en la Figura 16. Dicho modelo puede ser controlado con el ATmega328p-pu a través de la librería <FastLED.h>, ya existente en Arduino. Se trata de una fuente de luz LED con control inteligente cuyo circuito de control y chip RGB están integrados en un paquete de 5050 componentes. La versión empleada para este proyecto consume una media de 18mA a 5V. Al contrario que algunos modelos anteriores, la tira de LEDs WS2813 emplea una línea de datos doble de manera que, en caso de que un punto aislado sufriera rotura, los datos se seguirían transmitiendo y el resto de LEDs seguirían encendidos como puede observarse en la Figura 16 [13]. Al tratarse de una interfaz de cascada en serie, los datos transmitidos dependen de una sola línea de señal. Cada LED corresponde con una dirección, y contiene un driver que controla el color y brillo del mismo. En este proyecto se hace uso de una tira de 31 LEDs para cada guante y una de 48 LEDs para los dos paneles del chaleco.

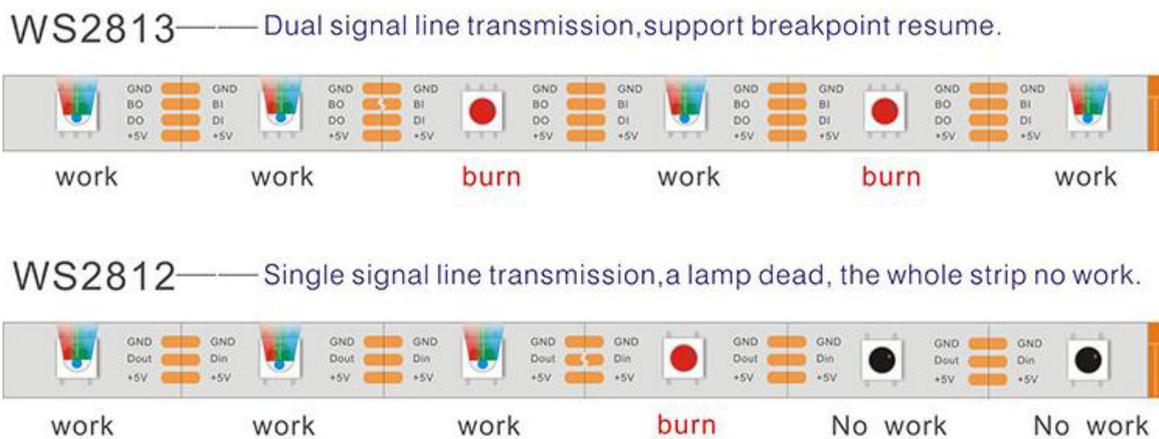


Figura 16: Funcionamiento tira LEDs WS2813

### ***2.2.4 Tela e hilo conductor***

---

A la hora de desarrollar este proyecto, ha de tenerse en cuenta la dificultad de adherir componentes electrónicos puesto que se trabaja con con prendas de tela. Es por ello que se ha decidido implementar sensores de contacto en vez de interruptores para que el usuario cambie los modos de funcionamiento del sistema. Se ha tomado la decisión de emplear una tela conductora como sensor, ya que tras realizar una serie de pruebas, se ha visto cómo circula corriente por ella sin problema alguno. Esta tela se ha cosido a los guantes en los puntos que han de hacer contacto entre sí para mandar información, mientras que dichos puntos han sido conectados a las entradas de la PCB mediante un hilo conductor que permite la circulación de corriente entre las capas de tela del guante y algún cable.

### ***2.2.5 Batería***

---

La batería es una parte fundamental del funcionamiento del proyecto ya que con ella se alimenta todo el sistema. A la hora de elegir el tipo de batería que se quiere emplear, han de tenerse en cuenta dos factores principales: ha de ser ligera y no muy voluminosa ya que el usuario del sistema debe poder moverse con facilidad sin soportar excesivo peso y ha de poder suministrar energía por un tiempo mínimo de tres horas, ya que es la duración aproximada de los turnos de los Agentes de Movilidad. Es por ello que se han utilizado baterías de polímero de litio. Este tipo de batería se caracteriza principalmente por su alta densidad energética y su ligereza. El modelo seleccionado es el LIPO803860 [14], mostrado en la Figura 17, cuya capacidad y voltaje nominal es de 2000mAh y 3,7V respectivamente. Incluye un circuito de protección que evita cualquier sobrecarga, sobredescarga o cortocircuito de la batería. En cuanto a sus especificaciones, pesa aproximadamente 34 gramos por unidad y mide alrededor de 8x38x60 mm como se muestra en la Figura 17. Dichas características hacen de esta batería una opción idónea para su implementación en el proyecto.

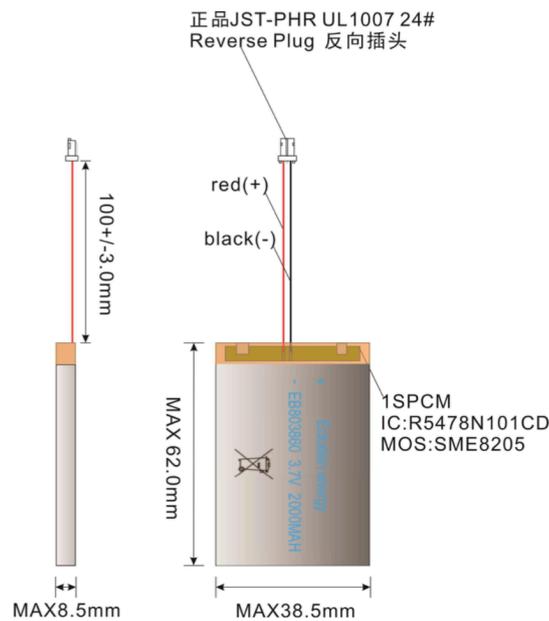


Figura 17: Batería LIPO803860

A la hora de decidir el número de baterías empleadas así como su conexión, han de tenerse en cuenta las tres necesidades energéticas principales del sistema: el microcontrolador requiere una corriente de entrada típica de 9,2 mA a 5V, el tranceptor inalámbrico consume un máximo de 12.3 mA a 3.3V y los LEDs consumen 18 mA a 5V por unidad. Considerando dichas especificaciones, se ha tomado la decisión de conectar dos unidades de LIPO803860 en serie, consiguiendo así 7,4V y 4000mAh de entrada, valores que cumplen las necesidades del proyecto.

En primer lugar, han de implementarse uno o más reguladores de voltaje para obtener los 5 y 3.3V requeridos por los componentes, proceso explicado en la sección 2.2.4. En cuanto la vida útil de la batería, dependiendo de la parte del sistema estudiada, se obtendrán diferentes resultados al aplicar la siguiente fórmula:

$$vida(hrs) = \frac{4000(mAh)}{num\_LEDs * 18(mA) + 9,2(mA) + 12,3(mA)} \quad (1)$$

Como bien se puede observar en la Fórmula 1, han de valorarse los consumos energéticos de los LEDs, el microcontrolador y el tranceptor inalámbrico, variando el primero según el número de LEDs empleados. Como se indica en la sección 2.2.3, 31 LEDs iluminan cada guante y 48 los paneles, lo que conlleva un consumo total de aproximadamente 580mA y 886 mA respectivamente. A la hora de hacer futuros cálculos se tomará como corriente consumida por la carga carga 1A. Por tanto, se puede concluir que el tiempo aproximado de duración de las baterías será de 7 horas para los guantes y de 4,5 horas para el chaleco en caso de darles un uso ininterrumpido.

## 2.2.6 Regulador de voltaje

---

La alimentación del sistema, como bien se ha explicado en la sección 2.2.5, se basa en un par de baterías conectadas en serie que aportan una tensión de entrada de 7,2V. Puesto que los voltajes requeridos por los componentes son de 3,3V y 5V, ha de implementarse algún regulador de voltaje para disminuir la tensión de entrada. Dos de ellos han sido incluidos en el circuito, conectándolos en cascada de manera que la tensión de salida del primero es de 5V, y la del segundo de 3,3V.

Pueden considerarse al menos dos formas de reducir un voltaje. Existe la opción de utilizar un regulador de baja caída (LDO) o un convertidor Buck:

El regulador de baja caída es un regulador de voltaje lineal de dc capaz de regular el voltaje de salida cuando el valor del de entrada no difiere demasiado [15]. Este tipo de reguladores tienen un voltaje de referencia (que se corresponde con el voltaje de salida que se quiere obtener), un amplificador operacional y un MOSFET (Metal-oxide-semiconductor Field-effect transistor). El amplificador compara el valor del voltaje de salida con el de referencia y lleva al MOSFET a suministrar la corriente necesaria para obtener el voltaje deseado. En la Figura 18 se muestra un esquema general del circuito empleado para diseñar este tipo de reguladores. Ofrece un voltaje de salida limpio ya que no emplea conmutación en su funcionamiento.

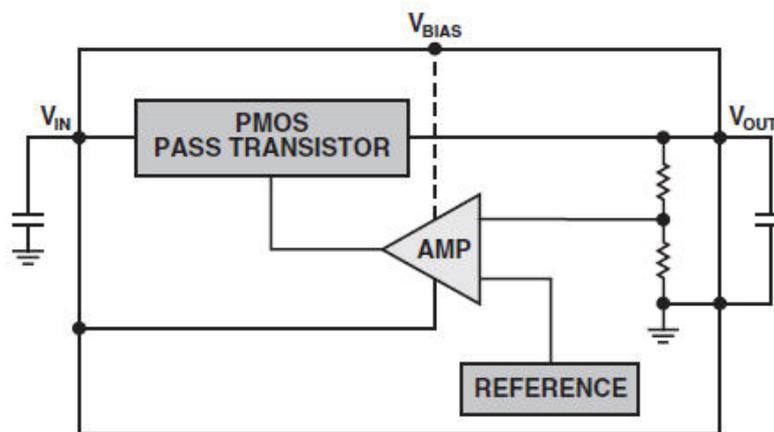


Figura 18: Esquema LDO

El convertidor Buck es un convertidor dc-dc compuesto de semiconductores que, aplicando una serie de señales de control, actúan como interruptores que se abren y se cierran para disminuir el nivel de tensión de entrada [16]. Posee un filtro LC después del transistor de conmutación, siendo su circuito el mostrado en la Figura 19. La tensión de salida se controla con el tiempo en el que los interruptores están abiertos, pudiéndose expresar tal y como se muestra en la ecuación (2). Dicha ecuación proviene del hecho de que en estado estacionario las inductancias tienen tensión media cero y los condensadores corriente media cero, pudiéndose comparar su comportamiento con un cortocircuito y un circuito abierto respectivamente.

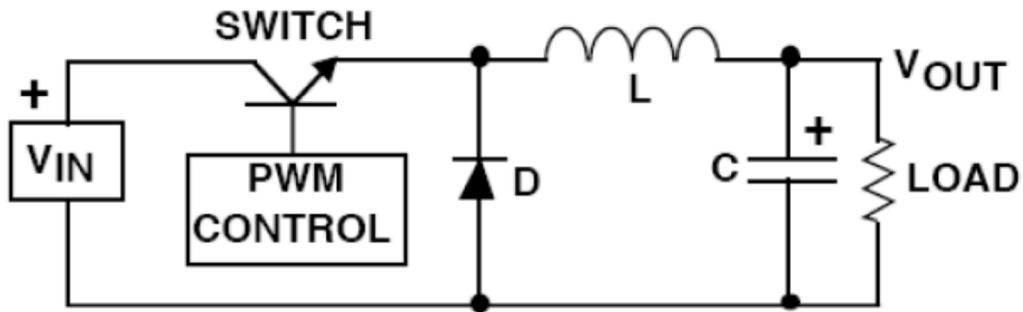


Figura 19: Esquema convertidor Buck

$$\langle v_{out} \rangle = \langle v_D \rangle - \langle v_L \rangle \rightarrow V_{out} = V_{IN} * \frac{T_{ON}}{T} \quad (2)$$

Cuando el interruptor está cerrado, el diodo queda inversamente polarizado, circulando corriente por el inductor, que aumenta de forma lineal (almacena energía). En este periodo, el condensador se carga y se alimenta la carga tal y como se puede observar en la Figura 20. Por el contrario, cuando el transistor de conmutación queda abierto, el diodo queda polarizado directamente y la energía almacenada en el inductor se cede a la carga como bien se muestra en la Figura 21. La tensión del inductor correspondiente a cada ciclo se define con las ecuaciones (3) y (4) correspondientemente, siendo también proporcional a la derivada de la intensidad en todo momento como se muestra en la ecuación (5).

$$V_L = V_{IN} - V_o \quad (3)$$

$$V_L = - V_o \quad (4)$$

$$V_L = L * \frac{dI_L}{dt} \quad (5)$$

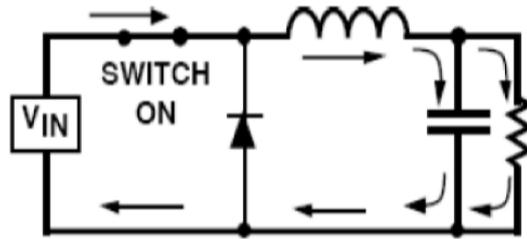


Figura 20: Convertidor Buck con interruptor cerrado

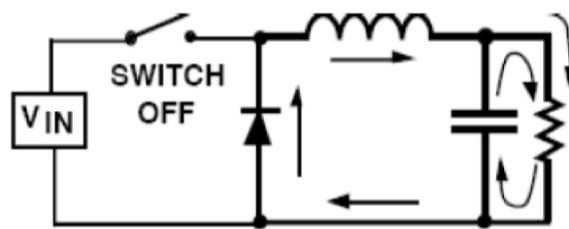


Figura 21: Convertidor Buck con interruptor abierto

Teniendo en cuenta las ecuaciones anteriores, la tensión y corriente de los componentes del circuito en ambos estados pueden representarse según muestra la Figura 22:

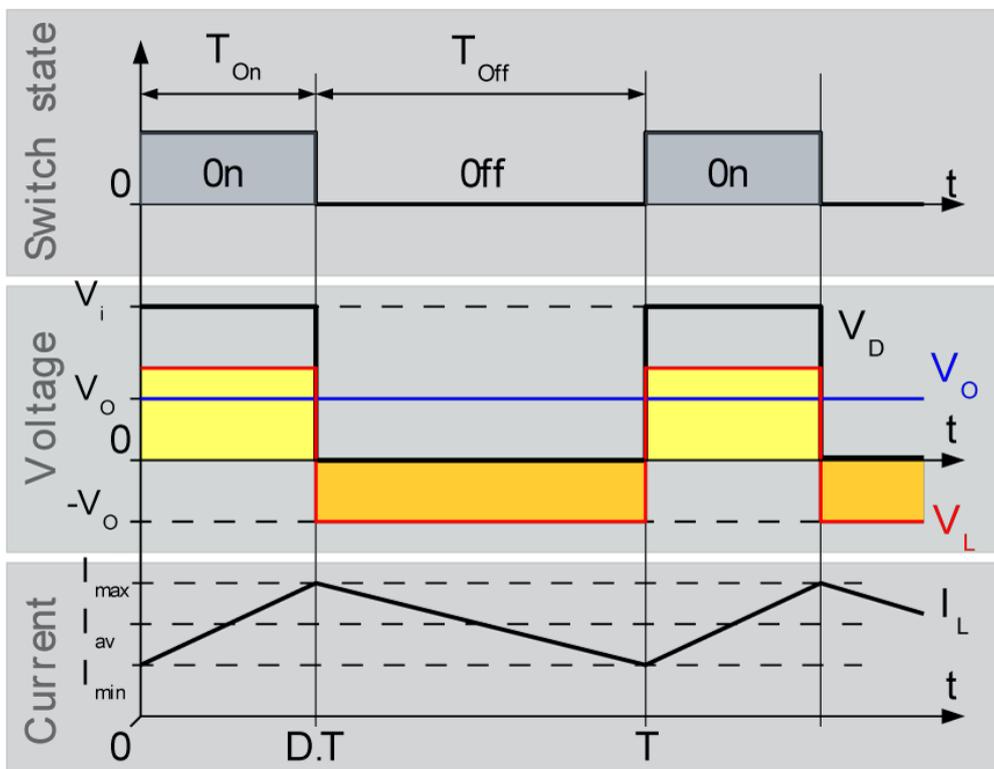


Figura 22: Gráficas tensión y corriente de los componentes del convertidor Buck

En comparación con los reguladores lineales, los convertidores de conmutación tienen una eficiencia mucho mayor, que generalmente supera el 80% [17].

El componente seleccionado para diseñar el primer regulador de voltaje es el LM2596-5.0 [18] mostrado en la Figura 23. Se trata de un circuito integrado monolítico cuya función es la propia de un convertidor dc-dc reductor de voltaje (convertidor Buck). Requiere un mínimo de cuatro componentes para su funcionamiento siendo estos dos condensadores, un diodo y un inductor. Incluye un oscilador de frecuencia fija y compensación de frecuencia interna.

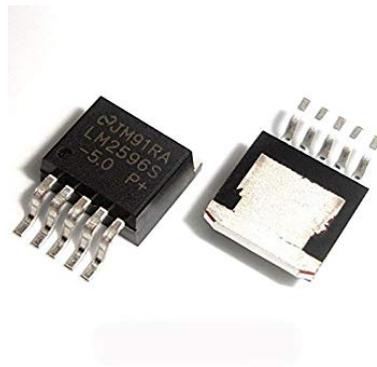


Figura 23: Componente LM2596-5.0

Opera a una frecuencia de 150 kHz con una tensión de entrada de hasta 40V, obteniendo una tensión constante de salida de 5V. Admite una corriente de hasta 3A, valor más que suficiente ya que el consumo de la carga es de menos de 1A.

La Figura 24 muestra el circuito diseñado para el regulador de voltaje con el que obtener 5V de 7.2V:

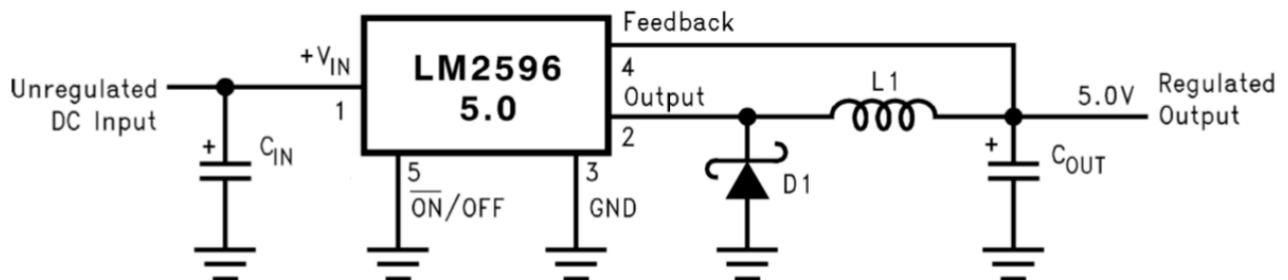


Figura 24: Circuito a diseñar del componente LM2596-5.0

En cuanto a los componentes empleados para el funcionamiento de este convertidor, la elección de sus los mismos ha sido la siguiente:

- $C_{in}$ : Minimiza los picos de voltaje de entrada y suministra las corrientes de conmutación requeridas por el convertidor. El valor RMS de la corriente de entrada de este condensador ha de ser al menos la mitad del valor de la corriente continua de la carga. En cuanto al voltaje nominal, ha de ser al menos 1,5 veces la caída de tensión de la entrada. Teniendo en cuenta estos valores y la gráfica mostrada en la Figura 25, el valor de  $C_{in}$  empleado es de  $330\mu F$ .

$$Corriente_{RMS} = 0,5 * (num\_LEDs * 18 + 9,2 + 12,3) \simeq 500mA \quad (6)$$

$$Voltaje = 7,2 * 1,5 = 10,8V \quad (7)$$

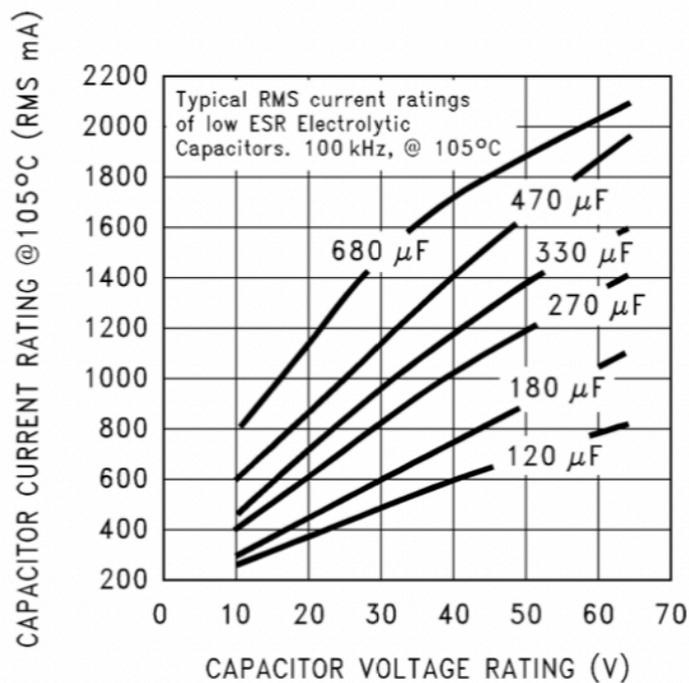


Figura 25: Gráfica tensión nominal frente a corriente nominal del condensador para la elección de su valor

- D1: Los reguladores tipo Buck necesitan un diodo para proporcionar un camino de retroceso a la corriente del inductor. Los diodos tipo Schottky son los más apropiados para desempeñar esta tarea debido a que presentan una caída de tensión directa muy baja (0.3V o menos) con una acción de conmutación muy rápida. Ha de tenerse en cuenta que la corriente nominal del diodo ha de ser al menos 1,3 veces mayor que la corriente de la carga. La tensión de ruptura ha de ser al

menos 1,25 veces el voltaje de entrada. Tras calcular dichos valores y observar la Tabla 1, se ha llegado a la conclusión de utilizar el diodo 1N5820:

$$Corriente_{nominal} = 1,3 * (num\_LEDs * 18 + 9,2 + 12,3) \simeq 1,3mA \quad (7)$$

$$Tension_{ruptura} = 7,2 * 1,25 = 9V \quad (8)$$

Tabla 1: Diodos en función de la tensión de ruptura

VR	3-A DIODES			
	SURFACE-MOUNT		THROUGH-HOLE	
	SCHOTTKY	ULTRA FAST RECOVERY	SCHOTTKY	ULTRA FAST RECOVERY
20 V		All of these diodes are rated to at least 50V.	1N5820	All of these diodes are rated to at least 50V.
	SK32		SR302	
			MBR320	
30 V	30WQ03		1N5821	
	SK33		MBR330	
			31DQ03	
40 V		1N5822		
	SK34	SR304		

- L1: Almacena energía para proporcionar corriente al circuito cuando sea necesario. Teniendo en cuenta la Figura 26, el inductor ha de tener un valor de 22µH.

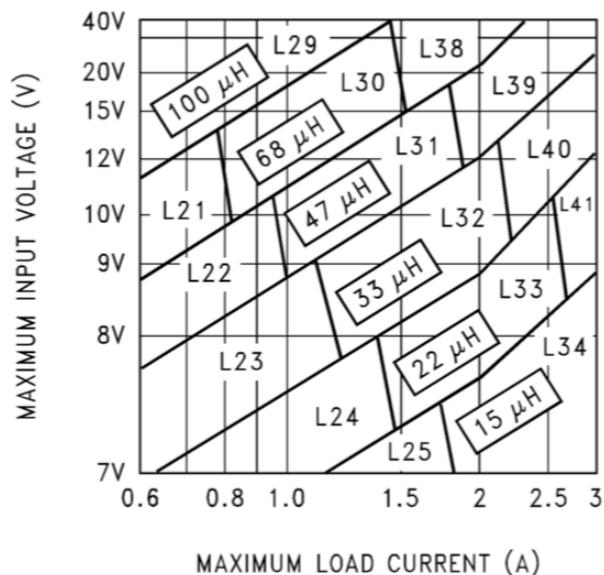


Figura 26: Gráfica corriente frente a tensión del inductor para la elección de su valor

- Cout: Minimiza el voltaje de rizado en la salida. Tras observar la Tabla 2 se ha llegado a la conclusión de que el valor necesario para este condensador es de 3.3nF.

Tabla 2: Condensadores en función del voltaje

OUTPUT VOLTAGE (V)	THROUGH-HOLE OUTPUT CAPACITOR			SURFACE-MOUNT OUTPUT CAPACITOR		
	PANASONIC HFQ SERIES (μF/V)	NICHICON PL SERIES (μF/V)	FEEDFORWARD CAPACITOR	AVX TPS SERIES (μF/V)	SPRAGUE 595D SERIES (μF/V)	FEEDFORWARD CAPACITOR
2	820/35	820/35	33 nF	330/6.3	470/4	33 nF
4	560/35	470/35	10 nF	330/6.3	390/6.3	10 nF
6	470/25	470/25	3.3 nF	220/10	330/10	3.3 nF
9	330/25	330/25	1.5 nF	100/16	180/16	1.5 nF
12	330/25	330/25	1 nF	100/16	180/16	1 nF
15	220/35	220/35	680 pF	68/20	120/20	680 pF
24	220/35	150/35	560 pF	33/25	33/25	220 pF
28	100/50	100/50	390 pF	10/35	15/50	220 pF

Para diseñar el segundo convertidor de voltaje, con el que se obtienen 3,3V de los 5V de salida del primero, se ha utilizado el componente LD1117V33 [19] mostrado en la Figura 27. Se trata de un regulador de tensión positiva de baja caída (LDO) capaz de proporcionar hasta 800mA de corriente de salida. Puesto que el único componente conectado a la salida de este regulador es el transeptor inalámbrico cuyo consumo máximo es de 12,3mA, el convertidor LD1117V33 resulta ser una opción válida para el circuito. Este componente admite un voltaje de entrada de hasta 15V obteniendo a la salida un valor constante de 3,3V. El circuito diseñado para su correcto funcionamiento es el mostrado en la Figura 28, donde dos condensadores son incluidos para garantizar estabilidad.

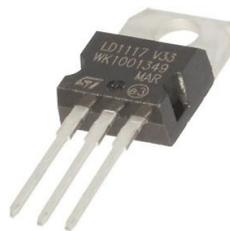


Figura 27: Componente LD1117V33

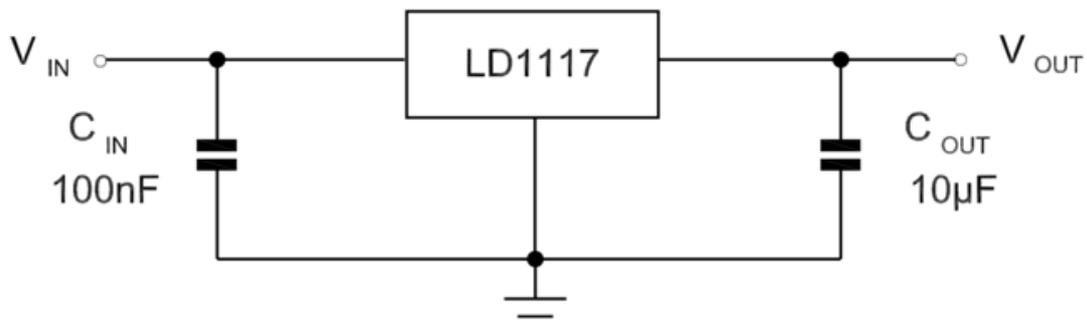


Figura 28: Circuito a diseñar del componente LD1117V33

### 2.3 Diseño de las PCBs

---

Una PCB es una placa de circuito impreso en la que existen caminos de un material conductor sobre una superficie no conductora. Se utiliza para conectar eléctricamente y sostener mecánicamente un conjunto de componentes electrónicos. El diseño de estas placas se considera una tarea de gran importancia ya que la debida conexión de los componentes determina el correcto funcionamiento del sistema. Para el desarrollo de este proyecto se ha empleado un programa llamado Eagle [20]. En primer lugar, ha de crearse un esquema en el que se incluyen uno a uno los símbolos correspondientes a cada componente. Dichos símbolos se corresponden con un *package* o huella que tiene las dimensiones de la base que posteriormente será impresa, donde se soldará el componente. Una vez añadidos todos los componentes, han de ser unidos mediante líneas que simulan las conexiones. Es por ello que el estudio previo de los componentes es una tarea de gran importancia ya que han de ser conectados de una forma concreta. Tras diseñar el esquema, ha de crearse la vista de la PCB. En este paso aparecen las huellas de los componentes, que han de situarse tal y como se quiere que estén colocadas en la placa física. Por último, han de trazarse las conexiones especificando su grosor y capa en la que se quiere que se encuentren. Una vez diseñado el esquema y la vista de las placas, se ha hecho un pedido a PCBWay, empresa capaz de fabricar y mandar las PCBs con tan sólo recibir ambos archivos.

Tres de los componentes estudiados en la sección 2.2 son incluidos en las PCBs, siendo estos los siguientes: el microcontrolador, el transceptor inalámbrico y el regulador de voltaje. En la Figura 29 se muestra el diagrama de bloques del sistema. Cada uno de los cuadros corresponde con el funcionamiento de una de las partes, existiendo por tanto uno para los guantes (ambos trabajan de la misma manera) y otro para el chaleco. Dichos cuadros incluyen la forma de interacción de los diferentes módulos que lo forman. Existen cuatro de ellos:

- Módulo de alimentación: Compuesto por la batería y los reguladores de voltaje. La batería está conectada a un primer regulador de voltaje del que se obtienen 5V con los que se alimentan los

LEDs, el microcontrolador y el sensor de contacto indicador. Esta salida se toma como entrada en el segundo regulador de voltaje del que se obtienen 3.3V para alimentar el transceptor inalámbrico.

- Módulo de control: Formado por el microcontrolador y el transceptor inalámbrico. El microcontrolador recibe información de los sensores de contacto y manda una señal a los LEDs y al transceptor inalámbrico (mediante SPI).
- Sensores de contacto: Se tienen en cuenta únicamente en el funcionamiento de los guantes. Mandan información al microcontrolador.
- LEDs: Reciben información del microcontrolador para encenderse de una forma determinada.

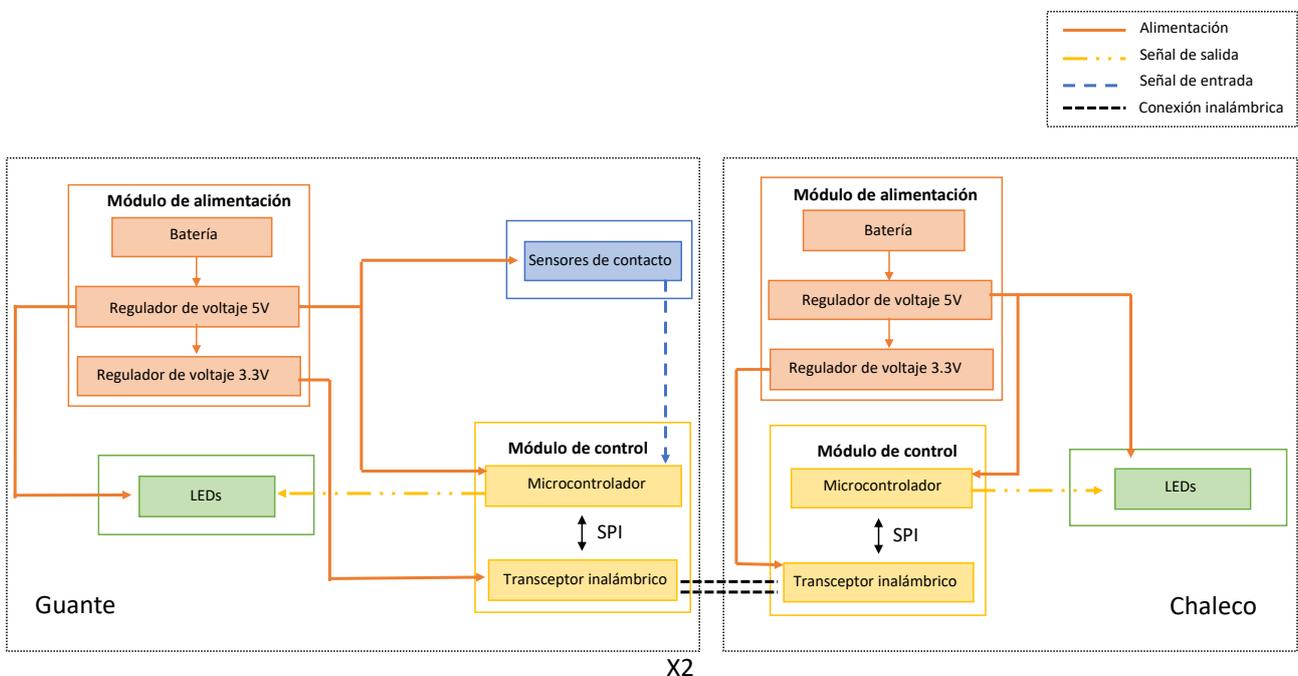


Figura 29: Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema

Teniendo en cuenta el diagrama de bloques, el diseño de los esquemas del chaleco y los guantes es el mostrado en la Figura 30 y Figura 31 correspondientemente. Así mismo, la vista de la placa del chaleco y los guantes es la mostrada en la Figura 32 y Figura 33 correspondientemente.

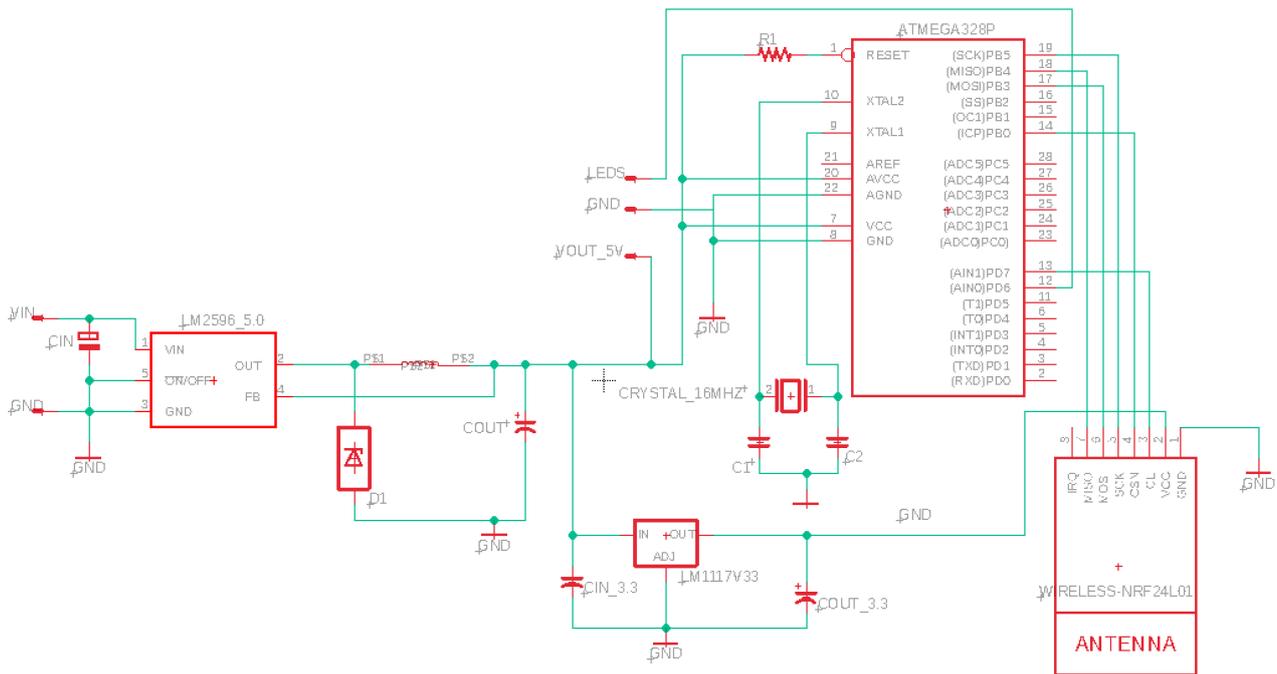


Figura 30: Esquema PCB chaleco

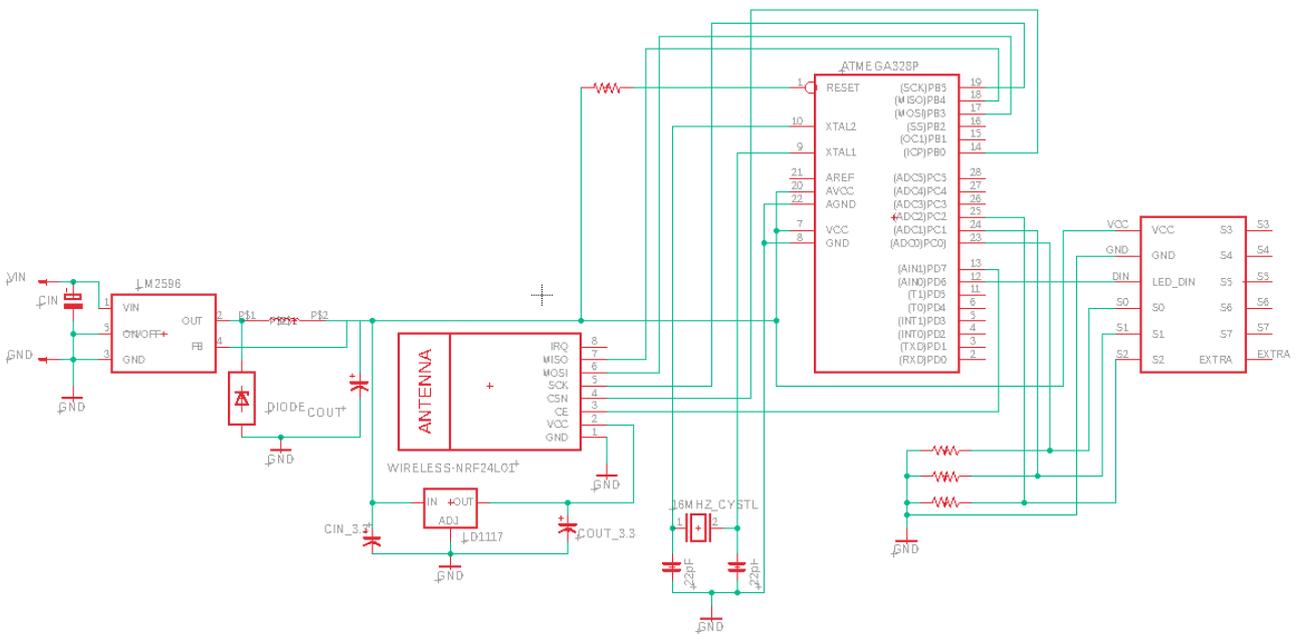


Figura 31: Esquema PCB guantes

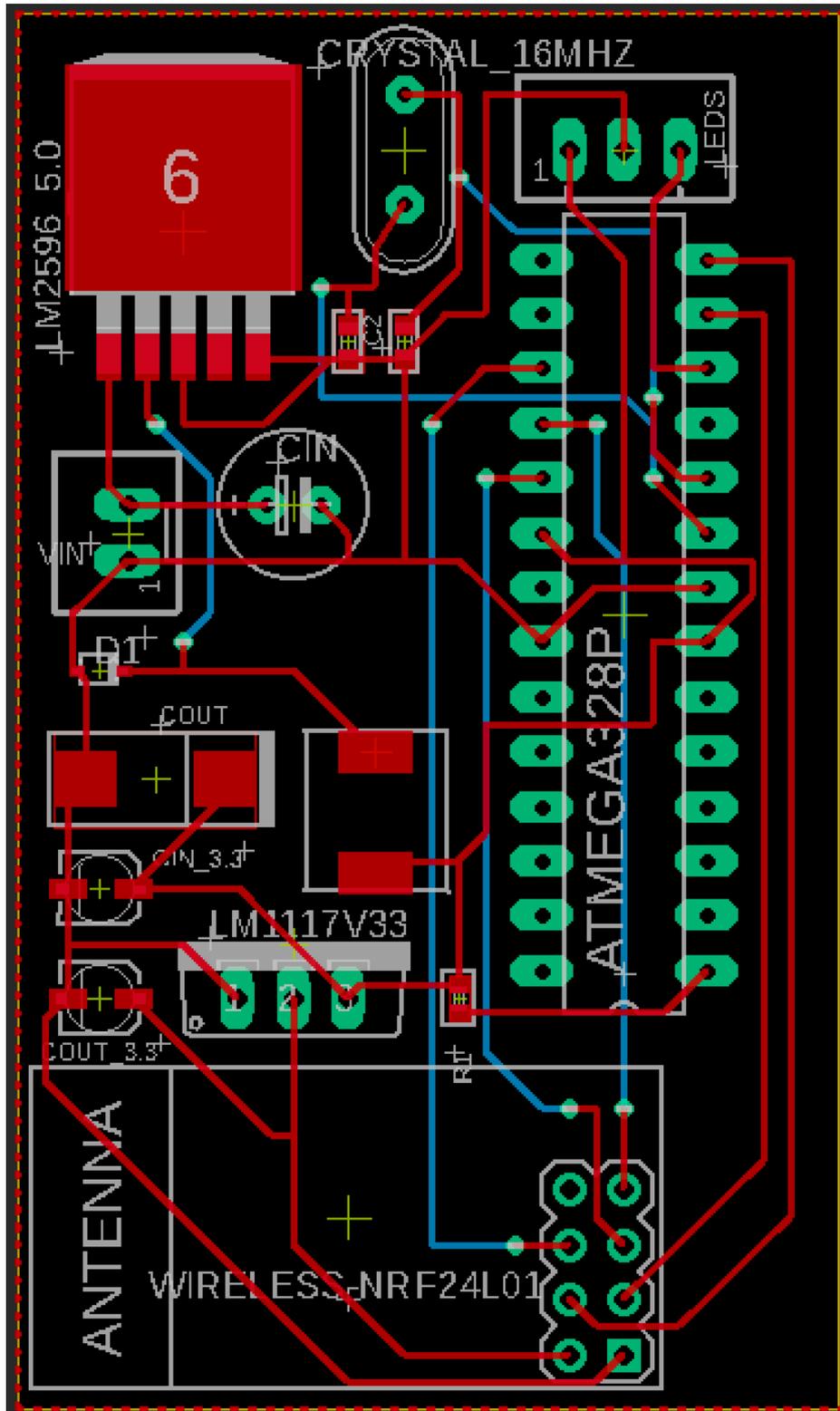


Figura 32: Vista PCB chaleco

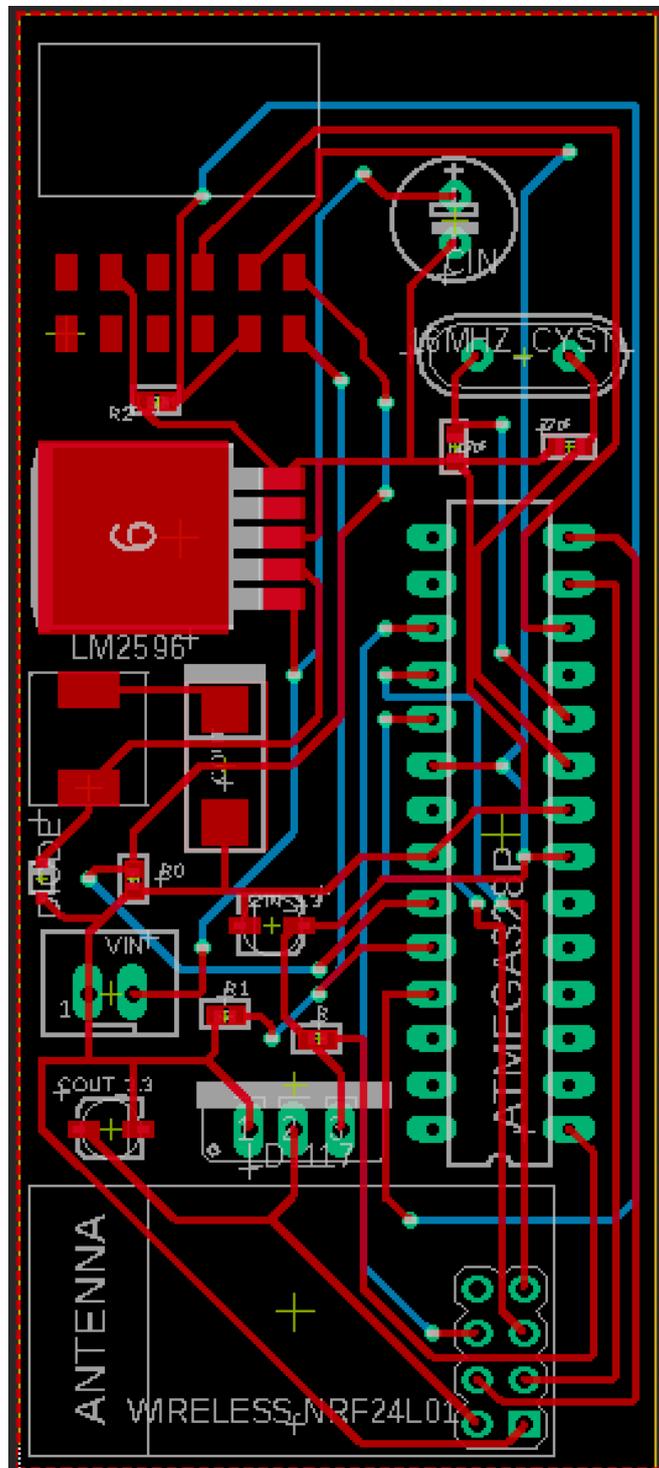


Figura 33: Vista PCB guantes

---

## Capítulo 3: Conclusiones

---

Este proyecto ha tenido como fin incrementar la seguridad vial mediante la garantía de la perfecta comunicación entre conductores y Agentes de Movilidad, así como la mejora de las condiciones de trabajo de estos últimos. A lo largo del desarrollo del producto se han tenido en cuenta diversos objetivos a cumplir los cuales han influenciado en la toma de muchas de las decisiones. Con la intención de producir un sistema útil y efectivo se ha contactado con el Departamento de Policía de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign. Dicha experiencia ha proporcionado al equipo de trabajo un conocimiento más exhaustivo del problema enfrentado, gracias al cual se ha podido solucionar de una forma efectiva.

Tras haber tomado la decisión de cómo funcionaría el sistema, es decir, su diseño físico e interacción con el usuario, se ha procedido al estudio de los componentes electrónicos. Dicha tarea, considerada de gran importancia, ha permitido al equipo elegirlos con acierto y diseñar el circuito impreso en las PCBs y cada uno de los módulos que lo forman.

La solución, formada por dos guantes y un chaleco, proporcionan a los agentes una gran ayuda a la hora de dar indicaciones en carretera. Gracias a las tiras de LEDs WS2813 empleadas para iluminar los guantes de color rojo o verde y el chaleco con las palabras “STOP” y “GO”, cualquier conductor que se aproxime al área de trabajo del oficial será capaz de interpretar la orden sin ningún problema. Para la alimentación se han empleado unas baterías de polímero de litio, en concreto el modelo LIPO803860, debido a su ligereza y alta densidad energética. Para el funcionamiento del sistema se han diseñado tres placas con Eagle, una implementada en cada guante y otra en el chaleco. Dichas placas contienen un circuito impreso en el que los diferentes componentes han sido soldados. Para obtener una respuesta concreta dependiendo de la orden dada por el usuario, se ha utilizado el microcontrolador ATmega328p-pu fácilmente programable con Arduino UNO. En cuanto a la conexión inalámbrica entre guantes y chaleco se ha hecho uso del módulo nRF24L01, un transceptor inalámbrico compatible con el microcontrolador empleado y con capacidad suficiente para el uso dado. Finalmente, dos reguladores de voltaje han sido implementados con el fin de obtener 5V y 3,3V ya que son las tensiones requeridas por los componentes.

---

## Capítulo 4: Referencias

---

- [1] Evolución del parque automovilístico nacional. UNESPA, Asociación Empresarial del Seguro.  
<<http://www.unespa.es/notasdeprensa/espana-alcanza-30-millones-vehiculos-asegurados/>>
- [2] Sonia Recio, (20 de junio de 2018). La mala señalización es la tercera causa de distracción de los conductores. Autopista.es  
<<https://www.autopista.es/noticias-motor/articulo/la-mala-senalizacion-es-la-tercera-causa-de-conduccion-de-los-conductores>>
- [3] Equipos para control policial. DENSL - Desarrollos Empresariales Nebrija S.L.  
<<http://www.densl.com/pdf/9-3-CP.pdf>>
- [4] ATmega328p-pu Datasheet. 2015 Atmel corporation.  
<[http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf)>
- [5] Descripción ATmega 328p-pu. Naylamp mechatronics.  
<<https://naylampmechatronics.com/atmel/111-atmega328.html>>
- [6] Guillermo Pérez, (22 de Abril de 2015). Tutorial Arduino: Entradas analógicas y digitales.  
<<https://openwebinars.net/blog/tutorial-arduino-entradas-analogicas-y-digitales/>>
- [7] Guillermo Pérez, (22 de Abril de 2015). Tutorial Arduino: Salidas.  
<<https://openwebinars.net/blog/tutorial-arduino-salidas/>>
- [8] nRF24L01 Datasheet. Nordic Semiconductor ASA.  
<[https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/nRF24L01\\_prelim\\_prod\\_spec\\_1\\_2.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/nRF24L01_prelim_prod_spec_1_2.pdf)>
- [9] Colaboradores de Wikipedia. (1 de julio de 2019). Banda ISM - Wikipedia, la enciclopedia libre.  
<[https://es.wikipedia.org/wiki/Banda\\_ISM](https://es.wikipedia.org/wiki/Banda_ISM)>
- [10] El estándar SPI para comunicación síncrona de alta velocidad. Punto flotante SA.  
<<http://www.puntoflotante.net/COMUNICACION-SPI-TUTORIAL.htm>>
- [11] Last Minute Engineers (7 de diciembre de 2018). How nRF24L01 + Wireless Module works and interface with Arduino.  
<<https://lastminuteengineers.com/nrf24l01-arduino-wireless-communication/>>
- [12] WS2813 Datasheet. Shenzhen Normand Electronic Co.,Ltd.  
<<http://www.normandle.com/upload/201605/WS2813%20LED%20Datasheet.pdf>>

- [13] Witop Technology Co., Ltd. (3 de julio de 2017). WS2813 Addressable Break-poin tRGB LED strip.  
<<https://www.witop-tech.com/do-you-know-ws2813-addressable-rgb-led-strip/>>
- [14] Li-Polymer Battery Technology Specification. Shenzhen Pknergy Energy Co.,Ltd.  
<<https://ecksteinimg.de/Datasheet/803860-2000mAh.pdf>>
- [15] The Fundamentals of LDO Design and Applications. Analog devices.  
<<https://www.analog.com/en/design-center/landing-pages/001/fundamentals-of-ldo-design-and-applications.html>>
- [16] Fuentes de alimentación. Electrocomponentes SA.  
<[http://dis.um.es/~lopezquesada/documentos/IES\\_1718/LMSGI/curso/UT4/xhtml/xhtml4/doc/fuente.pdf](http://dis.um.es/~lopezquesada/documentos/IES_1718/LMSGI/curso/UT4/xhtml/xhtml4/doc/fuente.pdf)>
- [17] Argos, ( 12 de abril de 2015). Convertidores DC/DC Buck. Nómadas electrónicos.  
<<https://nomadaselectronicos.wordpress.com/2015/04/12/convertidores-dcdc-buck/>>
- [18] LM2596 Datasheet. Texas Instruments.  
<<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>>
- [19] LD1117V33 Datasheet. Sparkfun.  
<<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LD1117V33.pdf>>
- [20] Eagle. AUTODESK.  
<<https://www.autodesk.com/products/eagle/overview>>

# PARTE II ANEXOS

---



---

## Anexo 1: Código del microcontrolador de los guantes

---

En este anexo se incluye el código correspondiente a la programación del microcontrolador ATmega328p-pu conectado a la PCB de los guantes:

```
//Librería LEDs
#include <FastLED.h>

//Librería transceptor inalámbrico
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

//Variables transceptor inalámbrico

RF24 radio(7, 8); // CE, CSN
const uint64_t left_to_vest_pipe = 0x1; //dirección guante izquierdo
//Para el guante derecho la dirección es 0x2

//Variables LEDs
#define LED_PIN 6 //Pin del microcontrolador
#define NUM_LEDS 31 //Número de LEDs
#define brightness_lv0 0 //Nivel intensidad de apagado
#define brightness_lv1 10 //Nivel baja intensidad de brillo
#define brightness_lv2 100 //Nivel intensidad media de brillo
#define brightness_lv3 255 //Nivel intensidad alta de brillo
#define hold_time 200000 //Tiempo para los sensores

//Información chaleco
byte vest_state = 0;

//Bloque de memoria para los datos del los LEDs
CRGB leds[NUM_LEDS];

//Definición de colores a usar
CRGB red,green;

//Definición de estados
int curr_b0,curr_b1,curr_b2;
int prev_b0,prev_b1,prev_b2;
enum state{g_solid,r_solid,b_lv0,b_lv1,b_lv2,b_lv3};
state prev_state,curr_state,color_state,bright_state;

//Definición de funciones
int fetch_button();
void update_state();
bool state_change();
void green_solid();
void red_solid();
void call_effect();
void bright_lv0();
void bright_lv1();
void bright_lv2();
void bright_lv3();
void send_signal();
```

```
void setup(){  
  
  //Inicialización Transceptor inalámbrico  
  radio.begin();  
  radio.setPALevel(RF24_PA_HIGH);  
  radio.stopListening();  
  radio.openWritingPipe(left_to_vest_pipe);  
  
  //Inicialización LEDs  
  FastLED.addLeds<WS2812, LED_PIN, GRB>(leds, NUM_LEDS);  
  FastLED.setBrightness(brightness_lv1);  
  red = CRGB(255,0,0);  
  green = CRGB(0,255,0);  
  prev_state = r_solid;  
  curr_state = r_solid;  
  color_state = r_solid;  
  bright_state = b_lv0;  
  bright_lv0();  
  curr_b0 = 0 ; curr_b1 = 0 ; curr_b2 = 0 ;  
  prev_b0 = 0 ; prev_b1 = 0 ; prev_b2 = 0 ;  
}
```

```
int fetch_button(){
    //Lectura sensores
    prev_b0 = curr_b0;
    curr_b0 = digitalRead(14);
    prev_b1 = curr_b1;
    // curr_b1 = digitalRead(15);
    prev_b2 = curr_b2;
    curr_b2 = digitalRead(16);

    //Función de activación de respuesta según el sensor activado
    if( prev_b0 == 0 && curr_b0 == 1 ){

        long k = 0;
        for(long p = 0 ; p <= hold_time ; p++ ){

            prev_b0 = curr_b0;
            curr_b0 = digitalRead(14);

            if( prev_b0 == 1 ){
                k++;
                if( k == hold_time){
                    return 0;
                }
            }
            else{
                return -1;
            }
        }
    }
    else if( prev_b1 == 0 && curr_b1 == 1 ){
        long k = 0;
        for(long p = 0 ; p <= hold_time ; p++ ){

            prev_b1 = curr_b1;
            curr_b1 = digitalRead(15);

            if( prev_b1 == 1 ){
                k++;
                if( k == hold_time){
                    return 1;
                }
            }
            else{
                return -1;
            }
        }
    }
    else if( prev_b2 == 0 && curr_b2 == 1 ){
        long k = 0;
        for(long p = 0 ; p <= hold_time ; p++ ){

            prev_b2 = curr_b2;
            curr_b2 = digitalRead(16);

            if( prev_b2 == 1 ){
                k++;
                if( k == hold_time){
                    return 2;
                }
            }
            else{
                return -1;
            }
        }
    }
    else{
        return -1;
    }
}
```

```
void update_state(){

    int button_number = fetch_button();
    //Respuesta en caso de no activarse ningún sensor
    if( button_number == -1 ){
        return;
    }
    //Cambio de estado en caso de activarse algún sensor
    switch (button_number)
    {
        case 0:
            if( curr_state == g_solid ){
                curr_state = r_solid;
                color_state= r_solid;
            }
            else{
                curr_state = g_solid;
                color_state = g_solid;
            }
            break;
        case 1:
            if( bright_state == b_lv0 ){
                curr_state = b_lv1;
                bright_state = b_lv1;
            }
            else if( bright_state == b_lv1 ){
                curr_state = b_lv2;
                bright_state = b_lv2;
            }
            else if( bright_state == b_lv2 ){
                curr_state = b_lv3;
                bright_state= b_lv3;
            }
            else{
                curr_state = b_lv0;
                bright_state = b_lv0;
            }
            break;
        case 2:
            send_signal();
        default:
            break;
    }
}

bool state_change(){

    prev_state = curr_state;
    update_state();
    if( curr_state != prev_state ){
        return true;
    }
    else{
        return false;
    }
}

}
```

```
//Respuesta según el estado
void green_solid(){
    for( int i = 0 ; i < NUM_LEDS ; i++){
        leds[i] = green;
    }
    FastLED.show();
}
void red_solid(){
    for( int i = 0 ; i < NUM_LEDS ; i++){
        leds[i] = red;
    }
    FastLED.show();
}
void bright_lv0(){
    curr_state = color_state;
    FastLED.setBrightness(brightness_lv0);
    call_effect();
}
void bright_lv1(){
    curr_state = color_state;
    FastLED.setBrightness(brightness_lv1);
    call_effect();
}
void bright_lv2(){
    curr_state = color_state;
    FastLED.setBrightness(brightness_lv2);
    call_effect();
}
void bright_lv3(){
    curr_state = color_state;
    FastLED.setBrightness(brightness_lv3);
    call_effect();
}
}
```

```
void loop(){
    while( state_change() == false ){
    }
    call_effect();
}
void call_effect(){
    switch (curr_state)
    {
        case g_solid:
            green_solid();
            break;
        case r_solid:
            red_solid();
            break;
        case b_lv0:
            bright_lv0();
            break;
        case b_lv1:
            bright_lv1();
            break;
        case b_lv2:
            bright_lv2();
            break;
        case b_lv3:
            bright_lv3();
            break;
        default:
            break;
    }
}
}
```

```
void send_signal(){
    byte button_code = ( vest_state % 3 ) + 2 ; //la respuesta siempre es 2, 3 o 4
    //Para el guante derecho: ( vest_state % 2 ) + 2 ; la respuesta siempre es 2 o 3
    vest_state = vest_state + 1;
    radio.write(&button_code, sizeof(button_code));
}
}
```

---

## Anexo 2: Código del microcontrolador del chaleco

---

En este anexo se incluye el código correspondiente a la programación del microcontrolador ATmega328p-pu conectado a la PCB del chaleco:

```
//Librería LEDs
#include <FastLED.h>

//Librerías transceptor inalámbrico
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

//Variables transceptor inalámbrico

RF24 radio(7, 8); // CE, CSN
const uint64_t left_to_vest_pipe = 0x1; //pipe_address
const uint64_t right_to_vest_pipe = 0x2; //pipe_address

//Variables LEDs

#define LED_PIN 6 //Pin microcontrolador
#define NUM_LEDS 48 //Número de LEDs
#define BRIGHTNESS 255 // Intensidad de brillo
#define delay_constant 10000 //constante de tiempo
#define go_front_len 12 //Número de LEDs necesarios para GO frontal
#define stop_front_len 21 //Número de LEDs necesarios para STOP frontal
#define stop_back_len 22 //Número de LEDs necesarios para STOP trasero
#define blank_front_len 26 //Número de LEDs necesarios para apagado frontal
#define blank_back_len 22 //Número de LEDs necesarios para apagado trasero

CRGB leds[NUM_LEDS];
CRGB red,green,empty;
int go_front_arr[go_front_len] = {6,7,8,9,10,13,14,15,16,17,18,25}; //LEDs empleados para GO frontal
int stop_front_arr[stop_front_len] = {0,1,2,3,4,5,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25}; //LEDs
empleados para STOP frontal
int stop_back_arr[stop_back_len] = {26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47}; //
LEDs empleados para STOP trasero

//Definición de estados
enum state{stop_front,stop_back,go_front,blank_front,blank_back,blank_all};
state prev_state,curr_state;

//Declaración de funciones
byte fetch_button();
void update_state();
bool state_change();
bool delay_plus_check();
void go_front_show();
void stop_front_show();
void stop_back_show();
void blank_front_show();
void blank_back_show();
void blank_effect();
```

```
void setup(){
  //Inicialización variables transceptor inalámbrico
  radio.begin();
  radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
  radio.openReadingPipe(1, left_to_vest_pipe);
  radio.openReadingPipe(2, right_to_vest_pipe);
  radio.startListening();

  //Inicialización variables LEDS
  FastLED.addLeds<WS2812, LED_PIN, GRB>(leds, NUM_LEDS);
  FastLED.setBrightness(BRIGHTNESS);
  red = CRGB(255,0,0);
  green = CRGB(0,255,0);
  empty = CRGB(0,0,0);
  prev_state = blank_all;
  curr_state = blank_all;
  blank_effect();
};
```

```
byte fetch_button(){
  //fetch button
  byte pipe_num;
  while( 1 ){
    if( radio.available(&pipe_num) ){
      byte button_number = 0 ;
      radio.read(&button_number, sizeof(button_number));
      if( pipe_num == 1 ){
        return button_number - 1 ; //Información recibida por el guante izquierdo
      }
      if( pipe_num == 2 ){
        return button_number + 2; //Información recibida por el guante derecho
      }
    }
  }
}
```

```
//Cambio de estado según la información recibida
void update_state(){
  int button_number = int( fetch_button() );

  switch (button_number)
  {
    case 1:
      curr_state = go_front;
      break;
    case 2:
      curr_state = stop_front;
      break;
    case 3:
      curr_state = blank_front;
      break;
    case 4:
      curr_state = stop_back;
      break;
    case 5:
      curr_state = blank_back;
      break;
    default:
      break;
  }
}
```

```
//Efectos de los LEDs según el estado
void go_front_show(){
    for( int i = 0 ; i < go_front_len ; i++){
        leds[go_front_arr[i]] = green;
    }
    FastLED.show();
}
void stop_front_show(){
    for( int i = 0 ; i < stop_front_len ; i++){
        leds[stop_front_arr[i]] = red;
    }
    FastLED.show();
}
void stop_back_show(){
    for( int i = 0 ; i < stop_back_len ; i++){
        leds[stop_back_arr[i]] = red;
    }
    FastLED.show();
}
void blank_front_show(){
    for( int i = 0 ; i < blank_front_len ; i++){
        leds[i] = empty;
    }
    FastLED.show();
}
void blank_back_show(){
    for( int i = blank_front_len ; i < NUM_LEDS ; i++){
        leds[i] = empty;
    }
    FastLED.show();
}

void blank_effect(){
    for( int i = 0 ; i < NUM_LEDS ; i++){
        leds[i] = empty;
    }
    FastLED.show();
}
```

```
//Cambio de estados
void loop(){
    update_state();

    switch (curr_state)
    {
        case go_front:
            blank_front_show();
            go_front_show();
            break;
        case stop_front:
            blank_front_show();
            stop_front_show();
            break;
        case stop_back:
            stop_back_show();
            break;
        case blank_front:
            blank_front_show();
            break;
        case blank_back:
            blank_back_show();
            break;
        case blank_all:
            blank_effect();
            break;
        default:
            break;
    }
}
```

