

**Alex Micolau Bel**

# **Desarrollo de un sistema de bloqueo de sensores ADAS**

**TRABAJO FINAL DE GRADO**

**dirigido por Esteban Del Castillo Pérez**

**Grado de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**



**UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI**

**Tarragona**

**Junio 2024**

## **Resumen**

El presente proyecto surge de la necesidad de desarrollar un sistema de bloqueo para sensores de ayuda a la conducción (ADAS). El objetivo de la implementación de este sistema es realizar ensayos dentro de la empresa Applus+ IDIADA mejorando el diseño del sistema ya existente de bloqueo de sensores y añadiendo funciones eléctricas para la mejora de los ensayos. Este nuevo sistema se desarrollará bajo el programa de pruebas de seguridad europeo de Euro NCAP.

El sistema está diseñado específicamente para bloquear los sensores de radar y de visión, los cuales se encuentran incorporados en los vehículos. Permitiendo, además, el control de la velocidad del actuador que obstruye el sensor, así como el ajuste del porcentaje de obstrucción del sensor. También, se ha añadido una pantalla que muestra información en tiempo real sobre el estado del sistema, proporcionando una supervisión continua y precisa.

## **Resum**

El present projecte sorgeix de la necessitat de desenvolupar un sistema de bloqueig per a sensors d'ajuda a la conducció (ADAS). L'objectiu de la implementació d'aquest sistema és realitzar assajos dins de l'empresa Applus+ IDIADA millorant el disseny del sistema ja existent de bloqueig de sensors i afegint funcions elèctriques per a la millora dels assajos. Aquest nou sistema es desenvoluparà sota el programa de proves de seguretat europeu d'Euro NCAP.

El sistema està dissenyat específicament per a bloquejar els sensors de radar i de visió, els quals es troben incorporats en els vehicles. Permetent, a més, el control de la velocitat de l'actuador que obstrueix el sensor, així com l'ajust del percentatge d'obstrucció del sensor. També, s'ha afegit una pantalla que mostra informació en temps real sobre l'estat del sistema, proporcionant una supervisió contínua i precisa.

## **Abstract**

This project arises from the need to develop a locking system for driver assistance sensors (ADAS). The objective of the implementation of this system is to perform tests within the company, Applus+ IDIADA improving the design of the existing sensor blocking system and adding electrical functions for the improvement of the tests. This new system will be developed under the Euro NCAP European safety testing program.

The system is specifically designed to block radar and vision sensors, which are built into vehicles. It also allows control of the speed of the actuator that obstructs the sensor, as well as adjustment of the percentage obstruction of the sensor. Also, a display has been added that shows real-time information on the status of the system, providing continuous and accurate monitoring.

# Índice

<b>Resumen</b> .....	2
<b>Resum</b> .....	2
<b>Abstract</b> .....	2
<b>Índice de figuras</b> .....	5
<b>Índice de tablas</b> .....	7
<b>Abreviaciones</b> .....	8
<b>Introducción</b> .....	10
<b>Objetivo</b> .....	11
<b>1. Estado del arte</b> .....	12
<b>1.1 Applus+ IDIADA</b> .....	12
<b>1.2 Contextualización de los sensores</b> .....	13
<b>1.3 Alcance</b> .....	15
<b>1.4 Antecedentes</b> .....	16
<b>1.5 Diagrama de flujo del sistema</b> .....	18
<b>2. Elección de los componentes</b> .....	21
<b>2.1 Actuador</b> .....	21
<b>2.2 Mecanismo para mover el material obstructor</b> .....	23
<b>2.3 Modo de sujeción del sistema al chasis del vehículo</b> .....	24
<b>2.4 Maleabilidad de la estructura</b> .....	26
<b>2.5 Estructura objeto obstructor</b> .....	27
<b>2.6 Placa de desarrollo</b> .....	28
<b>2.7 Controlador motor</b> .....	29
<b>2.8 Pantalla LCD</b> .....	30
<b>2.9 Accionadores</b> .....	31
<b>2.10 Potenciómetros</b> .....	32
<b>2.11 Caja controladora del sistema</b> .....	33
<b>2.12 Controlador comunicación CAN</b> .....	33
<b>3. Desarrollo de la estructura</b> .....	35
<b>3.1 Sistema actual</b> .....	35
<b>3.2 Croquis del nuevo sistema</b> .....	35
<b>3.3 Nuevo sistema</b> .....	36
<b>4. Explicación del código</b> .....	37

<b>5. Esquemas eléctricos.....</b>	<b>39</b>
<b>6. Microcontrolador .....</b>	<b>42</b>
<b>7. Asignación de los pines de la placa Xplained Mini.....</b>	<b>43</b>
<b>8. Conexiones y comunicación.....</b>	<b>45</b>
<b>8.1 Conexionado pines Xplained Mini.....</b>	<b>45</b>
<b>8.2 Conexionado alimentación sistema.....</b>	<b>47</b>
<b>8.3 Conexionado motor paso a paso .....</b>	<b>48</b>
<b>8.4 Conexionado para la reprogramación de la placa .....</b>	<b>50</b>
<b>8.5 Conexionado para la comunicación CAN .....</b>	<b>50</b>
<b>9. Funcionamiento del sistema .....</b>	<b>53</b>
<b>10. Datos técnicos .....</b>	<b>55</b>
<b>11. Conclusiones .....</b>	<b>58</b>
<b>12. Propuestas de mejora.....</b>	<b>60</b>
<b>13. Agradecimientos.....</b>	<b>61</b>
<b>14. Bibliografía .....</b>	<b>62</b>
<b>15. Webgrafía.....</b>	<b>63</b>
<b>16. Anexos .....</b>	<b>65</b>
<b>Anexo I: Programa principal Sistema de Bloqueo sensores ADAS.....</b>	<b>65</b>
<b>Anexo II: Funciones utilizadas de la librería mcp2515.h .....</b>	<b>65</b>
<b>Anexo III: Librería pantallaLCD.h.....</b>	<b>69</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>73</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Logo de Applus+ IDIADA. Imagen extraída de: <a href="https://www.applusidiada.com/global/es/">https://www.applusidiada.com/global/es/</a> .....	12
<b>Figura 2.</b> Sistema de bloqueo cámara destapado.....	16
<b>Figura 3.</b> Sistema de bloqueo cámara obstruyendo el sensor.....	16
<b>Figura 4.</b> Sistema bloqueo radar visto de frente.....	17
<b>Figura 5.</b> Sistema bloqueo radar visto desde un lateral.....	17
<b>Figura 6.</b> Sistema bloqueo radar sin bloquear el sensor.....	18
<b>Figura 7.</b> Diagrama de flujo del cuerpo principal del programa .....	19
<b>Figura 8.</b> Diagrama de flujo de las interrupciones (parte 1).....	19
<b>Figura 9.</b> Diagrama de flujo de las interrupciones (parte 2).....	20
<b>Figura 10.</b> Motor paso a paso. Imagen extraída de: <a href="https://es.rs-online.com/web/p/motores-paso-a-paso/3680277?gb=s">https://es.rs-online.com/web/p/motores-paso-a-paso/3680277?gb=s</a> .....	21
<b>Figura 11.</b> Manguera de 5 hilos apantallada. Imagen extraída de: <a href="https://amzn.eu/d/ifMdvbh">https://amzn.eu/d/ifMdvbh</a> .....	23
<b>Figura 12.</b> Movimiento actual del material obstructor .....	23
<b>Figura 13.</b> Nuevo movimiento del material obstructor .....	24
<b>Figura 14.</b> Sistema de ventosas para sujetar la estructura al vehículo.....	24
<b>Figura 15.</b> Imanes neodimio. Imagen extraída de: <a href="https://es.rs-online.com/web/p/iman-de-neodimio/7924537">https://es.rs-online.com/web/p/iman-de-neodimio/7924537</a> .....	25
<b>Figura 16.</b> Brida para el soporte de la estructura. Imagen extraída de: <a href="https://amzn.eu/d/9n04QNo">https://amzn.eu/d/9n04QNo</a> .....	26
<b>Figura 17.</b> Posibles localizaciones del radar .....	27
<b>Figura 18.</b> Guías de bolas para la estructura. Imagen extraída de: <a href="https://amzn.eu/d/9zwClHX">https://amzn.eu/d/9zwClHX</a> ...	28
<b>Figura 19.</b> Placa ATmega328P. Imagen extraída de: <a href="https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-microcontroladores/1306148?gb=s">https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-microcontroladores/1306148?gb=s</a> .....	28
<b>Figura 20.</b> Controlador L298N. Imagen extraída de: <a href="https://amzn.eu/d/bfBreB0">https://amzn.eu/d/bfBreB0</a> .....	29
<b>Figura 21.</b> Controlador ULN2003. Imagen extraída de: <a href="https://amzn.eu/d/awYcY5H">https://amzn.eu/d/awYcY5H</a> .....	29
<b>Figura 22.</b> Pantalla LCD 20x4. Imagen extraída de: <a href="https://amzn.eu/d/6AvhdQK">https://amzn.eu/d/6AvhdQK</a> .....	30
<b>Figura 23.</b> Módulo adaptador I2C. Imagen extraída de: <a href="https://amzn.eu/d/6AvhdQK">https://amzn.eu/d/6AvhdQK</a> .....	31
<b>Figura 24.</b> Interruptor de tipo balancín utilizado. Imagen extraída de: <a href="https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-de-balancin/4406979?gb=s">https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-de-balancin/4406979?gb=s</a> .....	31
<b>Figura 25.</b> Pulsador de tipo botón utilizado. Imagen extraída de: <a href="https://es.rs-online.com/web/p/botones-pulsadores/8207596">https://es.rs-online.com/web/p/botones-pulsadores/8207596</a> .....	32
<b>Figura 26.</b> Potenciómetro. Imagen extraída de: <a href="https://es.rs-online.com/web/p/potenciometros/5220502">https://es.rs-online.com/web/p/potenciometros/5220502</a> .....	32
<b>Figura 27.</b> Caja estanca de uso general. Imagen extraída de: <a href="https://es.rs-online.com/web/p/cajas-de-uso-general/8180441?gb=s">https://es.rs-online.com/web/p/cajas-de-uso-general/8180441?gb=s</a> .....	33
<b>Figura 28.</b> Controlador CAN MCP2515. Imagen extraída de: <a href="https://www.electroart.cl/wp-content/uploads/IMG-ID-4719-A.jpg">https://www.electroart.cl/wp-content/uploads/IMG-ID-4719-A.jpg</a> .....	34
<b>Figura 29.</b> Medidas sistema actual de obstrucción radar.....	35
<b>Figura 30.</b> Croquis de la vista frontal de la estructura del sistema.....	36
<b>Figura 31.</b> Croquis de la vista superior de la estructura del sistema .....	36
<b>Figura 32.</b> Bobinado motor paso a paso.....	39

<b>Figura 33.</b> Conexionado motor y controlador ULN2003. Imagen extraída de: <a href="https://javiergarciaescobedo.es/squitty/495-programacion-de-motor-paso-a-paso-28byj-48-con-el-driver-uln2003">https://javiergarciaescobedo.es/squitty/495-programacion-de-motor-paso-a-paso-28byj-48-con-el-driver-uln2003</a> .....	39
<b>Figura 34.</b> Esquema del conexionado de los distintos interruptores .....	40
<b>Figura 35.</b> Esquema del conexionado de los distintos potenciómetros .....	40
<b>Figura 36.</b> Conexiones pantalla LCD. Imagen extraída de: <a href="https://arduinoque.com/arduino/conexion-de-lcd-16x2/">https://arduinoque.com/arduino/conexion-de-lcd-16x2/</a> .....	41
<b>Figura 37.</b> Distribución Placa Xplained Mini. Imagen extraída del datasheet del ATmega328P Xplained Mini[3].....	43
<b>Figura 38.</b> Conexiones en placa Xplained Mini .....	45
<b>Figura 39.</b> Conexiones de los pines de la pantalla LCD .....	46
<b>Figura 40.</b> Conexiones de los potenciómetros y del interruptor de liberar/obstruir .....	46
<b>Figura 41.</b> Conexiones de los tres pulsadores .....	46
<b>Figura 42.</b> Cable de alimentación USB – lemo macho tres pines .....	47
<b>Figura 43.</b> Cable de alimentación micro USB – lemo hembra tres pines.....	47
<b>Figura 44.</b> Conector lemo hembra tres pines.....	48
<b>Figura 45.</b> Conector lemo hembra cinco pines.....	48
<b>Figura 46.</b> Cable del motor con terminal lemo macho cinco pines .....	49
<b>Figura 47.</b> Conexionados cables con los conectores lemo de cinco pines .....	49
<b>Figura 48.</b> Cable USB – micro USB tipo b. Imagen extraída de: <a href="https://a.co/d/7xFxRwG">https://a.co/d/7xFxRwG</a> .....	50
<b>Figura 49.</b> Conexiones de los pines del controlador MCP2515 .....	51
<b>Figura 50.</b> Vistas conector D-sub nueve pines (a la izquierda parte de la soldadura, a la derecha parte exterior de la caja) .....	51
<b>Figura 51.</b> Conexionado conector D-sub nueve pines.....	51
<b>Figura 52.</b> Cable D9 con dos terminales hembra para la comunicación CAN. Imagen extraída de: <a href="https://es.rs-online.com/web/p/cables-serie/1828897">https://es.rs-online.com/web/p/cables-serie/1828897</a> .....	52
<b>Figura 53.</b> Vista frontal de la caja de control .....	59
<b>Figura 54.</b> Vista superior de la caja de control.....	59

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Características del motor 28BYJ-48.....	21
<b>Tabla 2.</b> Secuencia de pasos a aplicar al motor para que gire en el sentido horario.....	22
<b>Tabla 3.</b> Pines de la pantalla LCD (numerados de izquierda a derecha en la figura 22) .....	30
<b>Tabla 4.</b> Conexión de los pines del microcontrolador con los diferentes periféricos .....	44
<b>Tabla 5.</b> Combinaciones de colores para el conexión del motor con la manguera de cinco hilos .....	49

## Abreviaciones

ADAS	(Advanced Driver Assistance Systems) Sistemas avanzados de ayuda a la conducción
LiDAR	(Laser Imaging Detection and Ranging) Detección y localización por laser
GVT	(Global Vehicle Target) Objetivo vehículo global
VRU	(Vulnerable Road Users) Usuarios vulnerables
LCD	(Liquid Crystal Display) Pantalla de cristal líquido
SDA	(Serial Data) línea de datos
SCL	(Serial Clock) línea del reloj
NCAP	(European New Car Assessment Programme) Programa europeo de evaluación de automóviles nuevos
USB	(Universal Serial Bus) Bus universal en serie
CAV	(Connected and Autonomous Vehicles) Vehículos conectados y automatizados
HVAC	(Heating, ventilation and air conditioning) Sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado
NVH	(Noise, vibration, and harshness) Ruido, vibración y dureza
AVR	RISC virtual avanzado
RISC	(Reduced Instruction Set Computer) Computador con conjunto de instrucciones reducido
EEPROM	(Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) Memoria de solo lectura programable y borrrable eléctricamente
SRAM	(Static Random Access Memory) Memoria estática de acceso aleatorio
USART	(Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) Receptor transmisor síncrono y asíncrono universal
SPI	(Serial Peripheral Interface) Interfaz de periféricos serie
ADC	(Analog to Digital Converter) Convertidor analógico digital
CAN	(Controller Area Network) Red de area de controladores

## Abreviaciones

MOSI	(Master Out Slave In) Salida datos del master y entrada del esclavo
MISO	(Master In Slave Out) Salida datos del esclavo y entrada del maestro
SCK	(Serial Clock) Reloj serie

## Introducción

Hoy en día todos los vehículos que salen al mercado deben pasar ciertas certificaciones de seguridad y homologaciones. Esto asegura que cumplen con los estándares mínimos exigidos, permitiendo a los fabricantes garantizar a sus clientes que el vehículo cumple con todos los requisitos de seguridad. En la empresa Applus+ IDIADA se realizan numerosos ensayos bajo diferentes marcos normativos. En el caso concreto de este proyecto, se sigue la normativa europea de seguridad Euro NCAP<sup>1</sup>.

Bajo esta normativa, se lleva a cabo el ensayo de bloqueo de los sensores ADAS, que es de interés para el desarrollo del proyecto. Este ensayo se enfoca en los sensores de ayuda a la conducción, tales como los de visión y los sensores radar. El objetivo principal del sistema desarrollado para el bloqueo de estos sensores es analizar la reacción del vehículo ante la obstrucción de los sensores de ayuda a la conducción.

Por ello surge la necesidad de mejorar el sistema de bloqueo de sensores existente, que es muy antiguo y rudimentario. Se busca innovar y automatizar el mecanismo para permitir la realización de múltiples ensayos con precisión y alta repetibilidad. El desarrollo de un nuevo mecanismo para los ensayos de bloqueo de sensores ADAS tiene como objetivo posicionar a Applus+ IDIADA por delante de otras empresas que realizan el mismo tipo de ensayos.

El nuevo sistema se desarrolla utilizando una placa de desarrollo fácil de programar. Se implementa una programación específica para el accionamiento del motor actuador que moverá el sistema obstructor del sensor. Este sistema incluye una caja de control con varios periféricos que permiten modificar parámetros del sistema en tiempo real, además de incorporar una pantalla para visualizar el estado del sistema en cualquier momento.

Debido a la vinculación del proyecto con la empresa Applus+ IDIADA, y específicamente con el departamento de ADAS<sup>2</sup>, el presente documento será confidencial. Por lo tanto, habrá partes que se considerarán restringidas para asegurar la confidencialidad de datos externos a la empresa, así como procedimientos y sistemas considerados confidenciales.

Es importante destacar que el objetivo del proyecto es desarrollar un sistema único que sirva para el bloqueo de ambos tipos de sensores, radar y visión. Sin embargo, en ningún caso se realizará ensayos simultáneos de ambos sensores, siempre se ensayará primero uno y después el otro.

---

<sup>1</sup> Es un programa europeo de evaluación de automóviles nuevos, el cual da todas las especificaciones y aclaraciones para la realización correcta de todos los ensayos posibles.

<sup>2</sup> Hace referencia a todos los sistemas avanzados de ayuda a la conducción que lleva integrado un vehículo.

## Objetivo

En un sector tan competitivo como la automoción, es crucial mejorar y optimizar los sistemas de asistencia al conductor (ADAS) para cumplir con los requisitos y normativas cada vez más estrictos. El objetivo principal de este proyecto es desarrollar un sistema innovador de bloqueo de sensores que permita realizar pruebas precisas y repetibles de los sistemas ADAS en diversas condiciones controladas. Este sistema debe ser fácil de instalar, modular y compatible con diferentes tipos de sensores, como cámaras, radares y LiDAR.

Mediante el bloqueo de estos sensores, lo que se pretende es simular fallos debido al deterioro o bloqueo en condiciones climatológicas adversas. Al obstruir el campo de visión de estos sensores, se simula que el sensor no puede trabajar en condiciones normales y con ello advierte al vehículo de este suceso. El hecho de que los sensores no puedan trabajar en condiciones normales, lo que provoca que el vehículo emita una advertencia sobre el fallo del sensor y desactive los sistemas de ayuda a la conducción.

El sensor de radar que se va a ensayar es el que llevan incorporado los vehículos en la parte delantera, generalmente ubicado en la parrilla delantera, aunque su ubicación puede variar según el fabricante y el modelo del vehículo debido a restricciones de espacio o consideraciones estéticas. Las distintas posibilidades de ubicación del radar dentro de la parte frontal del vehículo se especificarán más adelante.

Por el otro lado, el segundo sensor que se desea ensayar es el sensor de visión que incorporan los vehículos detrás del retrovisor central delantero.

## 1. Estado del arte

### 1.1 Applus+ IDIADA

Applus+ IDIADA es una empresa dedicada a la industria de la automoción con una gran experiencia en este sector. Applus+ IDIADA ofrece apoyo a sus clientes en diversas actividades, tales como el desarrollo de productos mediante la prestación de servicios de diseño, ingeniería, ensayos y homologación.



**Figura 1.** Logo de Applus+ IDIADA. Imagen extraída de: <https://www.applusidiada.com/global/es/>

IDIADA es una empresa donde el 80% de la propiedad pertenece a Applus+ y el 20% restante a la Generalitat de Cataluña. El centro tecnológico, o sede central, de la empresa se encuentra situado en el Polígono Industrial Box 20, 43710 Santa Oliva, Tarragona, España. Este centro tecnológico dispone de 351 hectáreas con una amplia variedad de pistas de prueba cumpliendo con los más altos estándares de seguridad y confidencialidad, donde poder realizar ensayos y homologaciones. Además de las instalaciones en Santa Oliva, la empresa cuenta con 56 filiales y sucursales en 22 países, lo que garantiza que sus clientes reciban soluciones rápidas y personalizadas.

Applus+ IDIADA ofrece servicios integrales de diseño, ingeniería y validación para distintos tipos de proyectos de desarrollo de vehículos en diferentes campos, tales como:

- ADAS y CAV<sup>3</sup>
- Desarrollo de carrocerías
- Desarrollo de chasis
- Durabilidad y fiabilidad
- Electrónica
- HVAC<sup>4</sup> y confort térmico
- NVH<sup>5</sup>
- Seguridad pasiva
- Powertrain<sup>6</sup>

Para el caso del proyecto que aquí se desarrolla, nos centraremos en el campo de ADAS y CAV, donde el primero de ellos es el departamento que trabaja con todo lo referente a los sistemas avanzados de ayuda a la conducción que los vehículos actuales llevan integrados.

---

<sup>3</sup> Sistema que se incorpora a los vehículos nuevos para intentar crear un vehículo conectado y automatizado.

<sup>4</sup> Hace referencia al sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado de un vehículo.

<sup>5</sup> Hace referencia a todo lo relacionado con el ruido, la vibración y la dureza.

<sup>6</sup> Referente al mecanismo que impulsa un vehículo, conocido como tren motor.

Y el segundo, CAV, es el departamento que trabaja para el desarrollo de los vehículos conectados y automatizados.

Más específicamente, este proyecto se lleva a cabo en colaboración con el departamento de ADAS, que se dedica a realizar distintos tipos de ensayos en pistas para verificar el correcto funcionamiento de los sistemas avanzados de ayuda a la conducción integrados en los vehículos. Su objetivo es comprobar y certificar que los vehículos cumplen con los requisitos mínimos establecidos por el programa europeo Euro NCAP, según lo especificado en diversos documentos que definen el marco de cada tipo de ensayo. En este departamento, se pretende certificar que los sistemas avanzados incorporados en cada vehículo cumplen con las especificaciones declaradas por cada fabricante.

Otro objetivo del departamento de ADAS es la realización de pruebas y ensayos en nuevos sistemas para certificar la seguridad y fiabilidad antes de incorporarlos en vehículos que puedan salir al mercado. Para la certificación de estos ensayos y calificarlos como favorables, se llevan a cabo diferentes tipos de pruebas según las necesidades de cada tipo de sistema avanzado. Estos ensayos buscan evaluar el desempeño del vehículo en concreto, en interacción con diversos tipos de objetivos (targets<sup>7</sup>). Las pruebas pueden ser estáticas o dinámicas, dependiendo de la situación del target. Por ejemplo, el vehículo puede acercarse a un target estático o a un target en movimiento, ya sea en la misma dirección que el vehículo o en dirección contraria.

## 1.2 Contextualización de los sensores

La función de los sensores radar en la ayuda a la conducción, es proporcionar información al vehículo sobre la presencia de objetos delante de él y su distancia. Esto permite al vehículo reaccionar si no se respeta una distancia mínima de seguridad con el objeto delantero o en caso de detectar que el vehículo se va acercando a gran velocidad al objeto.

La principal función que los vehículos incorporan para la señalización de esta advertencia marcada por el radar es una señalización visual e incluso advertencia acústica si fuese necesaria. Y en el peor de los casos, actuar sobre el vehículo para frenar de forma automática en caso de detectar que el conductor del vehículo no reacciona ante estas advertencias.

El funcionamiento del sistema radar se basa en la radiación electromagnética, emitiendo ondas de alta frecuencia, típicamente en el rango de los 24 a 77 GHz. Cuando estas ondas chocan con algún objeto que encuentran en su campo de visión, se produce un eco que es percibido de vuelta por el sensor del vehículo. Analizando las características de este eco, el sensor puede determinar diversos parámetros del objeto detectado, como por ejemplo la distancia a la que se encuentra o la velocidad relativa.

Para determinar la distancia al objeto, el sensor analiza el tiempo que tarda el pulso en ir y volver tras rebotar en el objeto. La distancia se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

---

<sup>7</sup> Plataformas que recrean la apariencia real de una persona, niño, bicicleta o motocicleta para los distintos tipos de ensayos a realizar.

$$\text{distancia} = \frac{\text{velocidad de la luz}}{\text{tiempo transcurrido}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{\text{tiempo transcurrido}} \quad (1)$$

Para el caso de querer determinar la velocidad relativa a la que se desplaza el objeto, el sensor radar se basa en el efecto Doppler. El efecto Doppler es un fenómeno físico que se produce cuando una onda se refleja en un objeto en movimiento, y por ello la onda original emitida sufre un cambio de frecuencia. Por lo tanto, si se conoce la frecuencia original a la que el sensor radar envía las ondas y se obtiene la nueva frecuencia del eco percibido por el sensor tras rebotar en el objeto, se podrá conocer la velocidad relativa a la que se mueve este.

$$\text{velocidad relativa} = \frac{\Delta f}{f_{\text{original}}} \cdot \frac{\text{velocidad de la luz}}{2} = \frac{\Delta f}{f_{\text{original}}} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2} \quad (2)$$

Donde  $\Delta f$  es el cambio de frecuencia del eco, es decir, la diferencia entre la frecuencia del pulso emitido por el sensor y la frecuencia del eco recibido tras rebotar en el objeto.

El interés de realizar un sistema de bloqueo del radar viene dado porque en el caso en que el radar no reciba respuesta de las distintas ondas electromagnéticas que emite y que estas deben rebotar en todos los objetos que encuentre delante de su ángulo de visión. Este sensor radar puede detectar que algo no funciona correctamente, ya bien sea por una avería del sensor o alguna adversidad externa que evita que el sensor reciba respuesta de las ondas electromagnéticas que este va enviando. De tal modo que el vehículo podrá emitir las advertencias pertinentes al conductor para indicarle que el sensor radar no está funcionando correctamente y marcar el fallo pertinente. En el caso de no recibir respuesta de las ondas emitidas por el radar, la reacción del vehículo que se espera por parte de los fabricantes es que este advierta al conductor de un posible fallo y que a su vez desactive los sistemas de ayuda a la conducción avanzados que incorpora el vehículo. De este modo, asegura al conductor que el vehículo no reaccione de una manera no esperada, ya que el radar no está funcionando como se espera y puede llegar a frenar de forma brusca en el peor de los casos. Este último caso puede deberse a que el sistema avanzado de ayuda a la conducción que incorpora el vehículo no está recibiendo información por parte del radar sobre los objetos que va encontrando por delante el vehículo a su paso. Por ello, puede darse el caso de que interprete la falta de información como si encontrara un objeto a muy poca distancia del sensor radar que obstruye su visión y con ello el sistema de ayuda a la conducción frenará de forma brusca para evitar el impacto contra el supuesto objeto.

Por el otro lado, el segundo de los sensores a ensayar, el sensor de visión. Este sensor también asiste en la conducción, ofreciendo funciones como asistencia de frenado, control de velocidad adaptativo, asistencia para mantener el vehículo centrado en el carril y detección de señales de tráfico. Todas ellas ayudas en la conducción y que en el caso de que este sensor falle, quedarán desactivadas. Es por ello donde se ve también la necesidad de bloquear este sensor y observar cómo reacciona el vehículo para verificar que actúa conforme a las especificaciones del fabricante. Del mismo modo que el sensor de radar, la actuación que se espera por parte del vehículo son las señalizaciones visuales y auditivas y desactivar los sistemas de ayuda avanzados.

Debido a la complejidad de la tecnología de radar moderna, se requiere una especificación de materiales concretos para realizar pruebas consistentes y reproducibles en múltiples laboratorios de pruebas Euro NCAP. Toda la información relevante y especificaciones del material que se utilizará para bloquear el radar y la cámara orientada hacia adelante se encuentra en el boletín técnico [TB041\[1\]](#).

### 1.3 Alcance

El alcance del proyecto abarca desde la implementación inicial de la estructura del sistema, hasta la parte electrónica de control del sistema obstructor y comunicación con el entorno exterior. Además, se realizan las pruebas pertinentes para comprobar el correcto funcionamiento del sistema y asegurar que se cumple con las especificaciones establecidas. En cuanto a la estructura, se busca desarrollar un mecanismo que permita al conductor obstruir los sensores de forma más automatizada y sencilla que el sistema actual. Además de incorporar un control más preciso para conocer en cualquier momento la posición exacta del sistema obstructor.

Para la obstrucción del radar, se deben utilizar materiales específicos que sean antirradar. Esto implica que el material utilizado debe ser capaz de absorber las señales de radar y evitar que estas reboten, asegurando que el emisor radar no obtenga respuesta, ya que las ondas emitidas no se reflejarán y volverán a él. Además, dado que el sensor de radar generalmente tiene un ángulo de apertura de 120°, las dimensiones del material obstructor deberán ser las adecuadas para cubrir completamente el campo de visión del radar. Para cumplir con estas especificaciones y asegurar una obstrucción completa de un ángulo de apertura de 120°, se seguirá el boletín [TB041\[1\]](#), que establece las siguientes dimensiones para el material que cubrirá el sensor radar:

- Ancho: 200 mm  $\pm$  10 mm
- Longitud: 200 mm  $\pm$  10 mm
- Altura: 10 mm  $\pm$  1 mm

Para el bloqueo de las cámaras, no se especifica el uso de ningún material con medidas precisas. Se determina que, en caso de un bloqueo completo de la cámara, se debe asegurar un bloqueo del 100%. Si se trata de un bloqueo parcial, se debe cubrir el 50% (-0/+5%) de la cámara si el sistema es de una sola cámara, y obstruir el 100% de una cámara en sistemas de dos cámaras.

Ambos ensayos se realizan utilizando un único mecanismo que pueda dar cobertura a ambos sensores, tanto el radar como la cámara. Para desplazar el elemento que bloquea los sensores, se utiliza un actuador, específicamente un motor paso a paso, y un microcontrolador para controlar el actuador. La elección de un motor paso a paso se debe a sus características superiores en comparación con los motores de corriente alterna y los motores sin escobillas. Los motores paso a paso permiten un fácil control de la velocidad, lo cual es muy útil para el sistema, y su alimentación de corriente continua es más factible para el sistema desarrollado. Ya que se puede extraer la tensión de alimentación del motor desde el mismo controlador o desde distintos conectores del vehículo, como pueden ser las baterías o los ordenadores incorporados para la extracción de datos de los ensayos. Otro para utilizar un

motor paso a paso es su fácil control mediante un microcontrolador. Al comparar los diferentes tipos de motores disponibles, los más convenientes serían los motores sin escobillas o los paso a paso, ya que ambos son perfectamente válidos para el proyecto. No obstante, se decide utilizar un motor paso a paso debido a su mayor precisión de posicionamiento.

Para lograr una gran precisión del posicionamiento del motor en cada instante y para las diversas funciones que se desean incorporar al sistema, se decide utilizar un microcontrolador. Este permite un fácil control del motor y ofrece múltiples conexiones para integrar diferentes periféricos al sistema. Así, mediante el uso del motor y el microcontrolador, se asegura un bloqueo completo de los sensores, minimizando la captación de luz exterior. Además, se añade un panel de control en el interior del vehículo con un interruptor que acciona el mecanismo para obstruir el sensor radar o la cámara cuando el conductor lo considere oportuno.

#### 1.4 Antecedentes

Actualmente, el bloqueo del sensor de la cámara se realiza mediante un sistema un tanto rudimentario, ya que el accionamiento es de forma manual, mediante el uso de una cuerda. Este mecanismo consiste en un movimiento lineal, en el cual una placa metálica está montada dentro de un marco rectangular. La placa está sujeta por dos cuerdas, una a cada extremo de ella, donde al tirar de la cuerda desde un extremo, se logra desplazar el objeto que obstruye la visión del sensor. De manera análoga, al tensar la cuerda atada al otro extremo del objeto obstructor, se consigue liberar la visión del sensor.



**Figura 2.** Sistema de bloqueo cámara destapado



**Figura 3.** Sistema de bloqueo cámara obstruyendo el sensor

Con el objetivo de mejorar este mecanismo, se desarrolló un nuevo mecanismo haciendo uso de un servomotor extraído de un VRU<sup>8</sup> Target viejo. Los VRU incorporan diversos servomotores para simular movimientos reales, como puede ser la simulación del movimiento de las piernas de una persona al andar. Utilizando uno de estos servomotores, se consiguió crear un sistema en el que mediante un interruptor se acciona el movimiento del elemento obstructor para bloquear el sensor. Desde el interior del vehículo, mediante el interruptor, se decide cuándo obstruir o liberar la visión del sensor. Este mecanismo fue diseñado específicamente para el sensor de radar, ya que para el caso del sensor de visión de la cámara, este no se ajustaba bien al parabrisas delantero del vehículo, resultando en ensayos insatisfactorios.



**Figura 4.** Sistema bloqueo radar visto de frente



**Figura 5.** Sistema bloqueo radar visto desde un lateral

---

<sup>8</sup> (Vulnerable Road Users) Usuarios vulnerables, donde el target hace referencia a estructuras que simulan la apariencia real de un usuario vulnerable, como pueden ser peatones adultos o niños, bicicletas o motocicletas.



**Figura 6.** Sistema bloqueo radar sin bloquear el sensor

Aunque este nuevo mecanismo está más automatizado que el primero, sigue presentando problemas que impiden obtener los resultados esperados. El elemento obstructor no se ajusta perfectamente al contorno del vehículo donde se encuentra el radar, por tanto, no asegura obstruir al 100% el ángulo de apertura del sensor. Lo que conlleva obtener resultados del ensayo erróneos respecto a lo que se espera obtener. Además, este nuevo sistema no es aplicable a todos los tipos de vehículos ni a diferentes tipos de radares. Ya que algunas superficies no permiten el uso del mecanismo, lo que obliga a utilizar el primer mecanismo en muchos ensayos debido a su mayor versatilidad.

En el caso de obstruir el sensor de la cámara, se presentan problemas similares. Aunque estos sensores están generalmente ubicados en el parabrisas delantero, cuya forma es similar en la mayoría de los coches, no siempre se puede garantizar que el sistema obstructor quede perfectamente ajustado al parabrisas, permitiendo el paso de luz.

Analizando los sistemas actuales de obstrucción tanto para cámaras de visión como para radares, el mayor inconveniente radica en la adaptación de estos sistemas a diferentes tipos de vehículos. Cada vehículo tiene los sensores ubicados en lugares distintos y no todos los vehículos tienen la misma carrocería. Esto significa que no siempre se puede sujetar el sistema con la misma seguridad y precisión, asegurando que quede bien ajustado a la carrocería e impida el paso de luz hacia el sensor.

### **1.5 Diagrama de flujo del sistema**

Para entender mejor el funcionamiento del sistema desarrollado para el control del bloqueo de los sensores de radar y visión, se ha elaborado un diagrama de flujo. Este diagrama facilita la identificación de las acciones que se realizan en cada momento de una forma general, sin entrar en demasiado detalle.

El programa se basa en un cuerpo principal que se ejecuta continuamente y permanece a la espera de interrupciones externas o internas. Estas interrupciones activan el resto de las funciones, como el control de los pulsadores, el control del motor o las conversiones del ADC<sup>9</sup>.

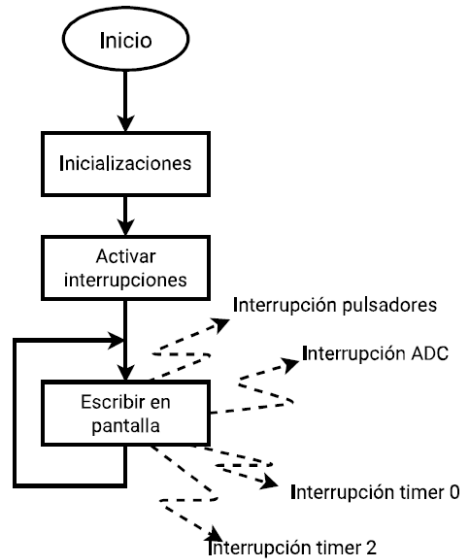


Figura 7. Diagrama de flujo del cuerpo principal del programa

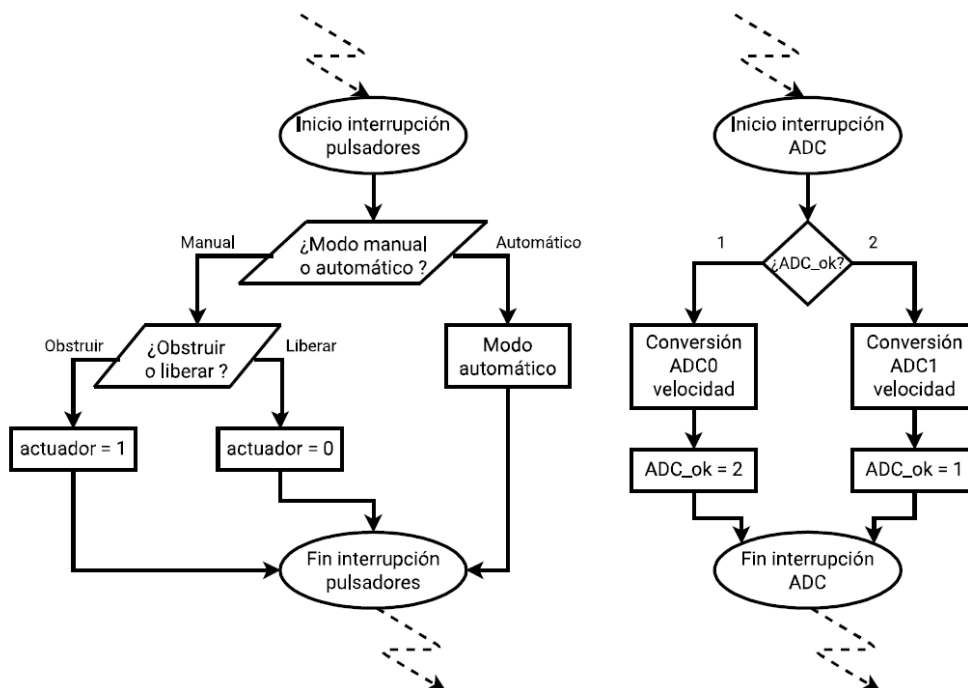


Figura 8. Diagrama de flujo de las interrupciones (parte 1)

<sup>9</sup> Conversor de señal analógica a una señal digital

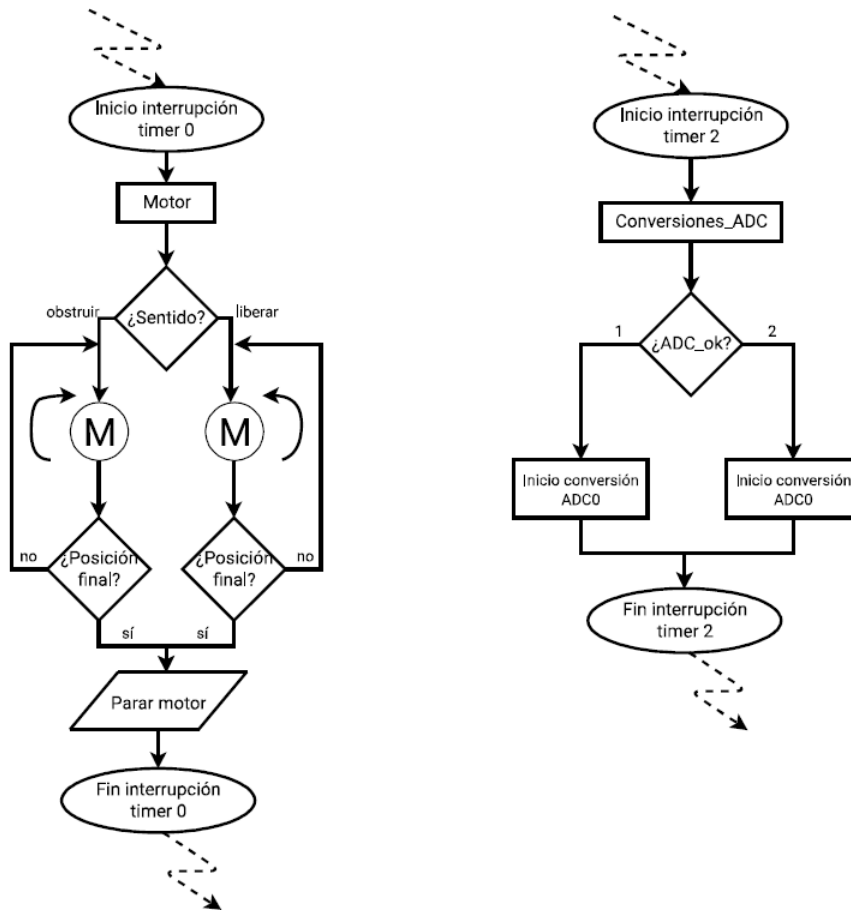


Figura 9. Diagrama de flujo de las interrupciones (parte 2)

## 2. Elección de los componentes

Para el desarrollo del nuevo mecanismo de obstrucción de los sensores de radar y de visión, se han planteado varias soluciones y se han considerado diferentes componentes para su funcionamiento. Se han analizado los distintos componentes para evaluar sus ventajas y desventajas, con el fin de seleccionar la mejor de las opciones en cada caso para cumplir con los requisitos mínimos para un funcionamiento óptimo.

### 2.1 Actuador

En el sistema actual para la obstrucción del sensor radar, se está utilizando un servomotor. Un servomotor es adecuado para el tipo de movimiento que se realiza, ya que este se encuentra acotado entre 0° y 180°. Sin embargo, para el nuevo sistema es preferible encontrar un actuador que ofrezca más libertad y que pueda girar indefinidamente, permitiendo conocer siempre la posición exacta en la que se encuentra.

Considerando los requisitos del sistema y analizando los tipos de motores que hay en el mercado, se ha optado por utilizar un motor paso a paso. Este tipo de motor que permite conocer en todo momento la posición exacta del eje, lo que permite controlar con precisión el bloqueo del sensor. Además, permite un control sencillo de la velocidad de giro del eje, lo cual posibilita ajustar la velocidad del sistema según sea necesario.



**Figura 10.** Motor paso a paso. Imagen extraída de: <https://es.rs-online.com/web/p/motores-paso-a-paso/3680277?gb=s>

Las principales características del motor se pueden encontrar en la hoja de datos del motor paso a paso [28BYJ-48\[2\]](#), pero las más importantes son las resumidas a continuación.

Voltaje nominal	5 V (DC)
Número de fases	4
Reducción de engranajes internos	1/64
Ángulo de paso	5,625 °/64
Frecuencia	100 Hz
Par	34 Nm
Corriente por fase	240 mA
Velocidad máxima de rotación	15 rpm

**Tabla 1.** Características del motor 28BYJ-48

Consultando diversas fuentes externas y documentación relacionada con el motor paso a paso 28BYJ-48, se puede encontrar la secuencia de pasos que se debe aplicar para hacer girar el motor en un sentido. Para invertir el giro, solo se debe aplicar la misma secuencia de pasos en el orden inverso.

Color cables motor	Secuencia de pasos para giro del motor en sentido horario							
	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8
Naranja	1	0	0	0	0	0	1	1
Amarillo	1	1	1	0	0	0	0	0
Rosa	0	0	1	1	1	0	0	0
Azul	0	0	0	0	1	1	1	0
Rojo	1	1	1	1	1	1	1	1

**Tabla 2.** Secuencia de pasos a aplicar al motor para que gire en el sentido horario

Para implementar esta secuencia de pasos en el código de programación, se debe crear una matriz con los distintos pasos en el orden especificado en la tabla 2.

```
volatile int posicion = 0; //variable para ir rotando las posiciones del motor paso a paso

volatile char pasos_motor[8] = {0x0C, 0x08, 0x18, 0x10, 0x30, 0x20, 0x24, 0x04}; //posiciones para el giro del motor
```

**Código 1.** Variables para el control del giro del motor y secuencia de pasos

Para el control del motor, se crea una función específica que analiza distintas variables condicionantes para determinar si el motor debe girar en un sentido u otro. El interruptor cambiará una de las variables para indicar si se quiere liberar u obstruir el sensor. Otra variable condicionante es que el motor no se encuentre en sus posiciones extremas. Es decir, que para que pueda moverse el motor, no debe encontrarse totalmente liberado en el caso de querer accionar el motor para liberar el sensor. Ni totalmente obstruido el sensor para el caso contrario en que se desee obstruir el sensor. Esta función se detallará más adelante junto con la descripción del controlador del motor, ya que este será el encargado de realizar el control del motor. Desde el controlador hasta el motor se debe utilizar un cable de cinco hilos para controlar la secuencia a aplicar a las distintas bobinas del motor. Este cable será un cable apantallado, ya que para el control del motor se trabaja mediante pulsos y además a altas frecuencias. Es por ello por lo que este cable permite evitar interferencias con el medio exterior o influir sobre otros periféricos del sistema o incluso distintos sistemas de captación de datos que lleve el vehículo incorporado en su interior.



Figura 11. Manguera de 5 hilos apantallada. Imagen extraída de: <https://amzn.eu/d/IFMdvbh>

## 2.2 Mecanismo para mover el material obstructor

Se analizan los distintos tipos de movimiento que el actuador elegido puede realizar para gestionar el material que obstaculiza la visión de la cámara y del radar. Se observan ciertos inconvenientes con el movimiento actual, como se muestra en la figura 12, los cuales varían según el modelo de vehículo ensayado.

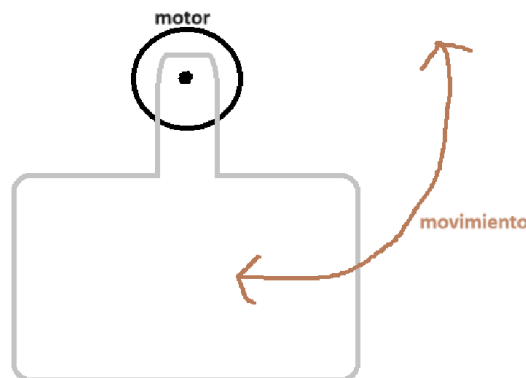
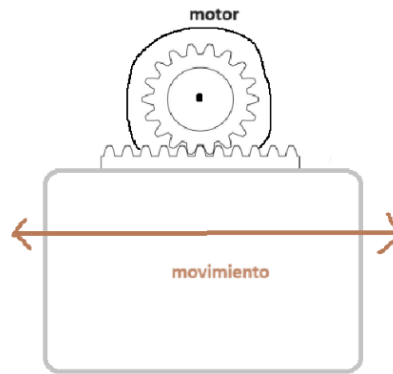


Figura 12. Movimiento actual del material obstructor

Este movimiento no logra que el objeto obstructor se ajuste perfectamente al chasis del vehículo, lo cual no es deseable. Esto se debe a la sujeción del sistema, que no garantiza que el material obstructor quede paralelo al radar en todos los casos.

Con el objetivo de mejorar el sistema actual, se diseña un mecanismo aplicable tanto a los sensores de visión en la luna delantera como a los radares en el parachoques. Dado que estas superficies son diferentes, se busca un movimiento que permita que el sensor se ajuste a la superficie en la mayoría de los casos. Se concluye que el movimiento óptimo para el actuador seleccionado es un desplazamiento lineal lateral.



**Figura 13.** Nuevo movimiento del material obstructor

Se emplea un mecanismo de piñón y cremallera, como se muestra en la figura 13, junto con el actuador elegido, para lograr un movimiento lineal de izquierda a derecha y viceversa. Este mecanismo se considera el más adecuado, ya que garantiza un movimiento paralelo a la superficie donde se encuentre la cámara o el radar. Por lo tanto, el foco se centra en ajustar al máximo el sistema al chasis del vehículo para evitar la interferencia de luz en los sensores. Este aspecto será abordado en los puntos siguientes sobre el desarrollo de la estructura del sistema.

### 2.3 Modo de sujeción del sistema al chasis del vehículo

Actualmente, el sistema de bloqueo de la cámara de visión se sujeta a la luna delantera del vehículo mediante cinta adhesiva. Método muy rudimentario y poco práctico, ya que cada vez que se quiera utilizar el sistema, se debe utilizar cinta nueva para fijarlo correctamente al vehículo. Además, se deberá limpiar bien la superficie del vehículo donde se va a pegar, en este caso la luna delantera, porque si está sucia, es probable que el sistema se despegue. Al finalizar el ensayo y desmontar el sistema, se debe limpiar con algún producto para eliminar los restos de adhesivo.

En el caso de la obstrucción del sensor radar, la sujeción del sistema se realiza mediante dos ventosas situadas sobre el capó del vehículo. De tal manera que se pretende fijar el sistema en el lugar óptimo para cubrir el radar de la mejor manera posible.



**Figura 14.** Sistema de ventosas para sujetar la estructura al vehículo

Para el nuevo sistema a diseñar, se busca un sistema que sea compatible tanto para la cámara de visión como para el radar. Por lo tanto, se exploran opciones de sujeción que se adapten tanto a la luna del vehículo como a la chapa del capó del vehículo. Tras evaluar distintas opciones, se eligen tres opciones consideradas convenientes para el sistema, que son el uso de ventosas, imanes de neodimio o un anclaje en la porta matrículas del propio vehículo.

El uso de ventosas es cómodo y efectivo en la luna del vehículo, pero presenta inconvenientes al bloquear el sensor radar. No todos los vehículos tienen una superficie que permita la instalación sencilla de ventosas en la carrocería. Si la superficie no es del todo lisa, las ventosas pueden no sujetar lo suficientemente fuerte y terminar despegándose. Además, la superficie debe estar completamente limpia y sin motas de polvo, ya que esto puede afectar a la adherencia de las ventosas.

Debido a los distintos motivos comentados anteriormente, se considera una segunda opción para el sistema, el uso de imanes de neodimio.



**Figura 15.** Imanes neodimio. Imagen extraída de: <https://es.rs-online.com/web/p/iman-de-neodimio/7924537>

Estos imanes son un tipo de imanes permanentes y están hechos de una aleación de neodimio, hierro y boro. Tienen mejores prestaciones que los imanes de ferrita, que son los más comunes y utilizados en diversas aplicaciones. De hecho, los imanes de neodimio son de los más fuertes disponibles en el mercado hoy en día, capaces de levantar hasta 225 kg debido a sus excelentes propiedades. Gracias a su uso extendido en la industria y la disponibilidad en diferentes tamaños, se ha optado por esta opción para garantizar que los imanes puedan soportar el peso de la estructura completa del sistema. Además, su gran atracción asegura que la estructura no se mueva de la carrocería del vehículo, incluso a altas velocidades donde el factor del aire puede ser un inconveniente.

No obstante, a pesar de la fiabilidad de los imanes de neodimio, se contempla una tercera opción de anclaje del sistema al chasis del vehículo. Las dos opciones anteriores, tanto la de las ventosas como la de los imanes, fijan el elemento al chasis del vehículo. Sin embargo, siempre existe la posibilidad de que la estructura del sistema obstructor se despegue y caiga, causando daños al vehículo o a personas cercanas al lugar de ensayo. Por ello, la tercera opción es realizar un anclaje que sea más seguro y difícil de soltarse, especialmente para el sensor radar, que es el que presenta mayor complejidad en la sujeción con ventosas o imanes.

Este tercer método se centra en la porta matrículas delantera que llevan incorporado todos los vehículos, ya que estos disponen de unos orificios roscados para anclar tornillos de

métrica estándar en la Unión Europea. Se ha buscado un elemento que tenga un terminal roscado compatible con estos orificios y, en el otro extremo, una brida para poder anclar el soporte de la estructura del elemento obstructor. Este enfoque asegura una sujeción más segura y estable al chasis del vehículo.



**Figura 16.** Brida para el soporte de la estructura. Imagen extraída de: <https://amzn.eu/d/9n04QNo>

Con una brida como la mostrada en la figura superior, se permite la sujeción de la estructura del sistema obstructor a los tornillos de la porta matrículas con gran facilidad. Esta solución permite ajustar la altura y la posición del sistema de manera rápida y sencilla, asegurando que la estructura no se suelte, ya que está firmemente enroscada al vehículo a través de la porta matrículas, lo que proporciona una unión más fiable.

## **2.4 Maleabilidad de la estructura**

Este es un factor clave del sistema, ya que se busca diseñar un sistema adaptable tanto a distintas partes del vehículo como a distintos tipos de vehículo. La adaptación del sistema a la luna delantera del vehículo y al parachoques delantero presenta ciertas complejidades, dado que cada superficie tiene una forma diferente. Por ello el sistema debe poder amoldarse a cada superficie.

Del mismo modo, para el caso de trabajar con distintos tipos de vehículos, los mayores inconvenientes surgirán principalmente en el sensor radar. El sensor de visión suele estar ubicado en el mismo lugar en todos los vehículos, en la luna delantera, detrás del espejo retrovisor central, lo que facilita la adaptación del sistema a cualquier vehículo.

En cambio, el sensor radar puede estar ubicado en diferentes posiciones del parachoques delantero según el vehículo. Algunos vehículos lo llevan en el logo del vehículo, otros justo debajo, e incluso algunos en la parte inferior, bajo la matrícula. Para entender mejor la ubicación del radar, se presenta la siguiente figura número 17, donde se muestran las tres posibles posiciones en las que se puede encontrar ubicado el radar en un mismo vehículo.



**Figura 17.** Posibles localizaciones del radar

Como se observa en la figura 17, el sistema debe ser capaz de adaptarse a cualquier situación, por lo que debe contar con una estructura extensible que permita situar el objeto obstructor en la posición más adecuada.

No es lo mismo que el radar se encuentre debajo de la matrícula que en el mismo logo, ya que si el sistema extensible es demasiado corto, es posible que no se pueda obstruir el radar adecuadamente, dado que no en todas las partes se podrá sujetar la estructura del sistema fácilmente. Por ello, desarrollar un sistema con un amplio margen de flexibilidad es fundamental para poder instalarlo de forma segura y fiable, asegurando que soporte sin caerse y cubra perfectamente el sensor radar.

## **2.5 Estructura objeto obstructor**

Para reducir al mínimo el peso de la pantalla que forma el sistema obstructor, se utilizan materiales ligeros pero resistentes para asegurar la rigidez del sistema. Por ello, se plantean varias opciones de materiales, como el aluminio, que es un metal ligero y permite desarrollar una estructura resistente. Sin embargo, se evalúan más opciones para diseñar una estructura lo más sencilla posible, que ocupe poco espacio y sea ajustable a distintos vehículos.

Una opción viable y acertada es el uso de guías de cajón, para ser precisos, específicamente guías de bolas. Estas guías proporcionan estabilidad a la estructura, ya que son rígidas y a su vez permiten que la pantalla obstructora se mueva con facilidad gracias al deslizamiento suave que ofrecen las bolas. Además, se eligen guías de bolas por su mayor resistencia cuando el vehículo está en movimiento y el aire impacta contra el sistema. Al tratarse de un deslizamiento por bolas, el sistema puede deslizarse con mayor facilidad frente a fuerzas externas debidas al aire, en comparación con una guía lineal normal, que podría dejar de deslizarse suavemente si se dobla ligeramente.

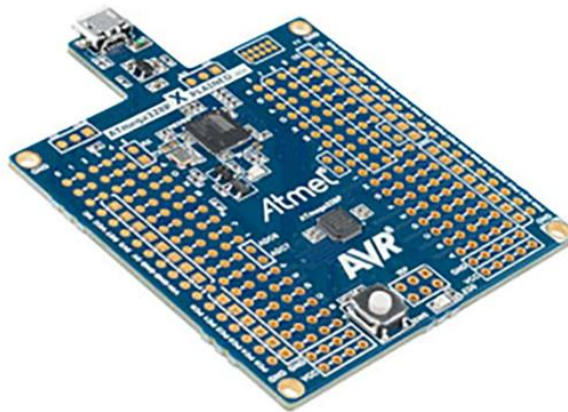
Por ello, se eligen dos guías de bolas, como se muestra en la figura inferior, una para la parte superior y otra para la parte inferior del sistema, incorporando las características mencionadas anteriormente.



**Figura 18.** Guías de bolas para la estructura. Imagen extraída de: <https://amzn.eu/d/9zwCIHX>

## 2.6 Placa de desarrollo

Para el control del sistema y el movimiento del actuador, se ha optado por utilizar una placa de desarrollo de la marca Microchip Studio, específicamente la placa ATmega328P Xplained Mini. Esta placa proporciona una gran velocidad de procesamiento de datos, lo que permite actuar de forma muy rápida sobre el actuador, que en este caso es un motor.



**Figura 19.** Placa ATmega328P. Imagen extraída de: <https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-microcontroladores/1306148?gb=s>

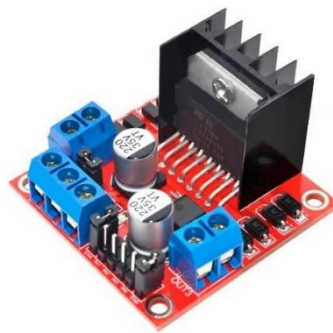
Además, cuenta con numerosas entradas y salidas para realizar conexiones, lo cual ofrece mucha flexibilidad para añadir elementos de control o señalización al sistema. El disponer de múltiples entradas y salidas analógicas y digitales hace que esta placa sea idónea para el sistema a desarrollar. Esto no solo cubre las necesidades iniciales, sino que también permite la posibilidad de ampliar el programa y añadir más periféricos al controlador.

Algunos datos de interés que son de utilidad conocer para el caso del desarrollo del proyecto son las limitaciones de corriente que presenta esta placa de desarrollo. Consultando la hoja

de características de la placa se puede apreciar como la corriente máxima por pin que puede entregar es de 40 mA. Dentro de los tres grandes puertos que presenta la placa (PORTB, PORTC y PORTD) se encuentran también limitaciones, ya que cada puerto puede suministrar como máximo una corriente de 150 mA. Y la última de las limitaciones que presenta respecto a la corriente, es la corriente total que puede suministrar o absorber la placa, ya que su máximo es de 200 mA.

## 2.7 Controlador motor

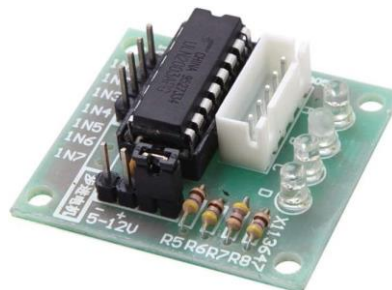
Para realizar el control del motor paso a paso integrado en el sistema, se utiliza un controlador de doble puente en H.



**Figura 20.** Controlador L298N. Imagen extraída de: <https://amzn.eu/d/bfBreB0>

El controlador L298N, que se aprecia en la figura superior, es un controlador específico para el control de dos motores de corriente continua, un motor paso a paso bipolar, o incluso un motor paso a paso unipolar configurado como bipolar. Por ello, se ajusta perfectamente a las necesidades de control del motor elegido, permitiendo un buen control tanto en un sentido de giro como en el otro.

A pesar de que el L298N es un módulo adecuado para el funcionamiento del motor paso a paso, se consideran y comparan otras opciones. El módulo ULN2003 también es un controlador específico para motores paso a paso, similar al L298N, pero presenta una diferencia clara en el tipo de conexionado respecto al L298N. El módulo ULN2003 ofrece un conexionado más sencillo entre el microcontrolador y el controlador, especialmente si se sueldan directamente los cables. Además, incorpora un conector rápido para los cinco cables del motor, lo que es idóneo para el sistema, ya que es más fácil el conexionado del módulo.



**Figura 21.** Controlador ULN2003. Imagen extraída de: <https://amzn.eu/d/awYcY5H>

## 2.8 Pantalla LCD

Se integra una pantalla LCD<sup>10</sup> para proporcionar un control preciso del estado del sistema en cualquier instante. Esta pantalla permite verificar si el sensor se encuentra bloqueado o liberado, si el motor está funcionando, o incluso mostrar algún tipo de error que pueda suceder durante los ensayos. Se utiliza una pantalla LCD 20x4, es decir, que se dispone de cuatro líneas de escritura y veinte caracteres por línea, permitiendo mostrar un total de ochenta caracteres de información en cada instante.



**Figura 22.** Pantalla LCD 20x4. Imagen extraída de: <https://amzn.eu/d/6AvhdQK>

Para realizar el conexionado de la pantalla LCD se deben analizar los dieciséis pines que lleva incorporados, ya que cada uno de ellos tiene una función específica. Consultando la hoja de características de la pantalla, se obtiene la información pertinente de cada pin, información que se resume en la siguiente tabla.

Pin 1	Vss
Pin 2	Vdd
Pin 3	Vo
Pin 4	RS
Pin 5	RW
Pin 6	E
Pin 7 a 14	Datos (D0 – D7)
Pin 15	Vled
Pin 16	Vlss

**Tabla 3.** Pines de la pantalla LCD (numerados de izquierda a derecha en la figura 22)

La pantalla LCD se puede conectar utilizando todos sus pines o mediante un módulo adaptador de interfaz I2C<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> LCD, en inglés Liquid Crystal Display, es un tipo de pantalla, que se caracteriza por ser plana y por estar formada por píxeles que contienen moléculas de cristal líquido.

<sup>11</sup> I2C del inglés Inter-Integrated Circuit, bus de comunicación de datos en serie.



**Figura 23.** Módulo adaptador I2C. Imagen extraída de: <https://amzn.eu/d/6AvhdQK>

Si se hace uso de este módulo, el número de conexiones con la placa Xplained Mini se reduce bastante, ya que sin el módulo se requieren como mínimo seis pines para el control de la pantalla. Y, sin embargo, con el módulo solamente se necesitarán dos pines para la transmisión de datos entre el microcontrolador y la pantalla. Esto es un factor clave, ya que el número de pines de que dispone la placa Xplained Mini es limitado, por tanto, poder reducir el número de pines a utilizar por la pantalla LCD puede dar más flexibilidad a dejar pines libres para otros componentes. En caso de utilizar el módulo adaptador, es importante tener en cuenta que la transmisión de los datos desde el microcontrolador debe realizarse desde pines específicos definidos para la comunicación I2C. Esta información se puede consultar en la hoja de datos del [ATmega328P Xplained Mini](#)[3] que se puede encontrar en la página web de Microchip Studio.

Para el caso del código del proyecto, se opta por no utilizar el módulo I2C, ya que no hay problemas con la falta de pines, permitiendo realizar las seis conexiones pertinentes.

## 2.9 Accionadores

En el sistema se incorporan dos tipos de accionadores, cada uno de ellos va destinado a unas funciones específicas. El primer tipo de accionador es un interruptor de tipo balancín, el cual dispone de dos posiciones donde permite el paso de corriente o no.



**Figura 24.** Interruptor de tipo balancín utilizado. Imagen extraída de: <https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-de-balancin/4406979?gb=s>

Este interruptor es idóneo para el control del motor, ya que sus dos posiciones permiten definir el sentido de giro del motor. En una de las posiciones, el motor gira en un sentido para obstruir el sensor, y en la otra posición, gira el motor en el sentido contrario para liberar el sensor. Es por ello por lo que este tipo de accionador es adecuado porque siempre se requiere accionar el motor en un sentido u otro, pero nunca en ambos simultáneamente.

El segundo tipo de accionadores utilizados son los pulsadores de tipo botón.



**Figura 25.** Pulsador de tipo botón utilizado. Imagen extraída de: <https://es.rs-online.com/web/p/botones-pulsadores/8207596>

Estos pulsadores están integrados en el sistema para el control y ajuste del porcentaje de obstrucción del sistema. Dos de ellos se utilizan para indicar al microcontrolador la posición en la que se encuentra actualmente el motor que se desea guardar. Esto permite ajustar la posición del 0% de obstrucción según sea necesario para cada tipo de ensayo, desplazando el sistema obstructor hasta la posición deseada y, mediante el pulsador, se indica al microcontrolador que esa posición es la posición de 0% de obstrucción. De manera similar, para indicar cuál es la posición que interesa utilizar en este instante como 100% de obstrucción, se incluye un segundo pulsador tipo botón que funciona del mismo modo.

Y el tercero de los pulsadores de tipo botón utilizado, va destinado a realizar un reinicio de los parámetros guardados previamente sobre el valor de obstrucción, permitiendo al sistema volver a los valores iniciales establecidos antes de guardar ningún nuevo valor.

## 2.10 Potenciómetros

Para dar flexibilidad al sistema, se incluyen dos potenciómetros que permiten variar diferentes parámetros del sistema. Ambos potenciómetros son iguales, aunque cada uno de ellos se destine a modificar un parámetro u otro.



**Figura 26.** Potenciómetro. Imagen extraída de: <https://es.rs-online.com/web/p/potenciometros/5220502>

El primero se utiliza para ajustar la velocidad de rotación del motor, permitiendo que el sistema obstruya el sensor de manera más lenta o rápida. Esto es crucial para evaluar la capacidad de reacción del sensor de visión y del radar ante obstrucciones bruscas o repentinas, así como obstrucciones más lentas, donde el sensor tiene más tiempo de reacción. El segundo de los potenciómetros va destinado al ajuste del porcentaje de obstrucción del sensor, permitiendo especificar qué porcentaje de visión de la cámara o del radar se desea obstruir. Este ajuste es útil en ensayos donde el sensor necesita mantener algo de visibilidad en lugar de estar completamente obstruido.

Para ambos casos, la señal analógica proporcionada por los potenciómetros debe acondicionarse a los valores pertinentes dentro del código del sistema. Esto es necesario porque ambos parámetros tienen un valor máximo y mínimo definidos, entre los cuales los potenciómetros deben variar su tensión de entrada hacia el microcontrolador.

## 2.11 Caja controladora del sistema

Para realizar el control de todo el sistema se necesita una botonera de control, además de un elemento para incorporar la pantalla LCD que muestra el estado actual del sistema. Para integrar todo lo comentado de una forma compacta y que sea fácil de instalar en el interior del vehículo junto al conductor, se ha decidido utilizar una caja estanca de uso general.



**Figura 27.** Caja estanca de uso general. Imagen extraída de: <https://es.rs-online.com/web/p/cajas-de-uso-general/8180441?gb=s>

Esta caja es ideal por sus dimensiones que son 60,5 mm de alto, 90 mm de ancho y 160 mm de largo, permitiendo incorporar sin problemas todos los elementos del sistema en su interior. Además, en la tapa de la caja se pueden instalar los elementos de control, como son los pulsadores y potenciómetros, así como la pantalla LCD. También se pueden acoplar unos conectores hembra en los laterales de la caja para la entrada del motor y la alimentación del sistema. De este modo, es muy sencillo desconectar la caja de forma independiente y colocarla donde sea conveniente, sin necesidad de tener los cables dispersos, y luego conectar todo de nuevo fácilmente.

## 2.12 Controlador comunicación CAN

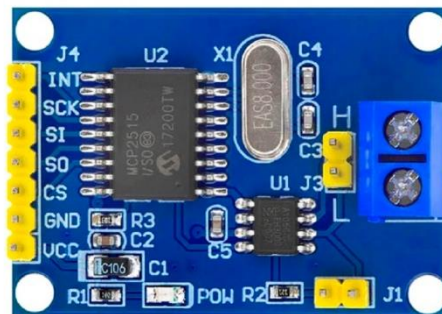
Para poder compartir el valor de algunas variables del sistema almacenadas en el microcontrolador con elementos externos, se utiliza una comunicación CAN<sup>12</sup>. Para ello, es necesario incorporar un periférico controlador CAN para realizar la comunicación con los periféricos que estén conectados a este bus de datos. Se integra un módulo MCP2515, que

---

<sup>12</sup> Controller Area Network, es un protocolo de comunicación ideal para aplicaciones de automatización industrial, domótica, autotrónica o mecatrónica automotriz entre otros.

actúa como controlador de bus CAN, permitiendo la transmisión y recepción de mensajes CAN a través del bus.

Este controlador establece una comunicación SPI<sup>13</sup> con el microcontrolador, lo que facilita su integración en sistemas embebidos<sup>14</sup>. Además, es un módulo de muy bajo consumo energético. Para realizar la conexión con el microcontrolador, se sigue un orden específico utilizando pines definidos para la comunicación SPI. Estos pines son los pines PB3 y PB4 que corresponden a los pines MOSI y MISO respectivamente. El pin MOSI se utiliza para enviar datos desde el microcontrolador al periférico que tenga conectado, mientras que el pin MISO se utiliza para recibir información del periférico que se tenga conectado. Para realizar una comunicación SPI, además de los dos pines ya comentados, se utiliza un tercer pin SCK. Este pin corresponde a la señal de reloj que permite sincronizar la transferencia de datos entre el microcontrolador y el periférico.



**Figura 28.** Controlador CAN MCP2515. Imagen extraída de: <https://www.electroart.cl/wp-content/uploads/IMG-ID-4719-A.jpg>

Algunas de las funciones que permite este módulo son el filtrado y enmascaramiento de los mensajes, la incorporación de buffers<sup>15</sup> de transmisión y recepción, lo cual permite asegurar que no habrá pérdida de datos. Y otra función que incorpora el controlador es la capacidad de detección de errores en la comunicación del bus CAN, lo cual mejora la fiabilidad del sistema.

---

<sup>13</sup> Estándar de comunicación de periféricos serie, donde se dispone de reloj para la transmisión de datos

<sup>14</sup> Los sistemas embebidos son sistemas de computación diseñados para realizar funciones específicas dentro de un dispositivo o sistema más grande.

<sup>15</sup> Los buffers son áreas de memoria temporal utilizadas para almacenar y gestionar datos en sistemas informáticos o de comunicación.

### 3. Desarrollo de la estructura

#### 3.1 Sistema actual

Para el desarrollo de la nueva estructura del sistema, se intenta respetar un poco las medidas iniciales del sistema actual de la obstrucción del sistema radar. Para ello, se han tomado medidas del sistema actual para tener una pequeña referencia y dimensionar el nuevo sistema.

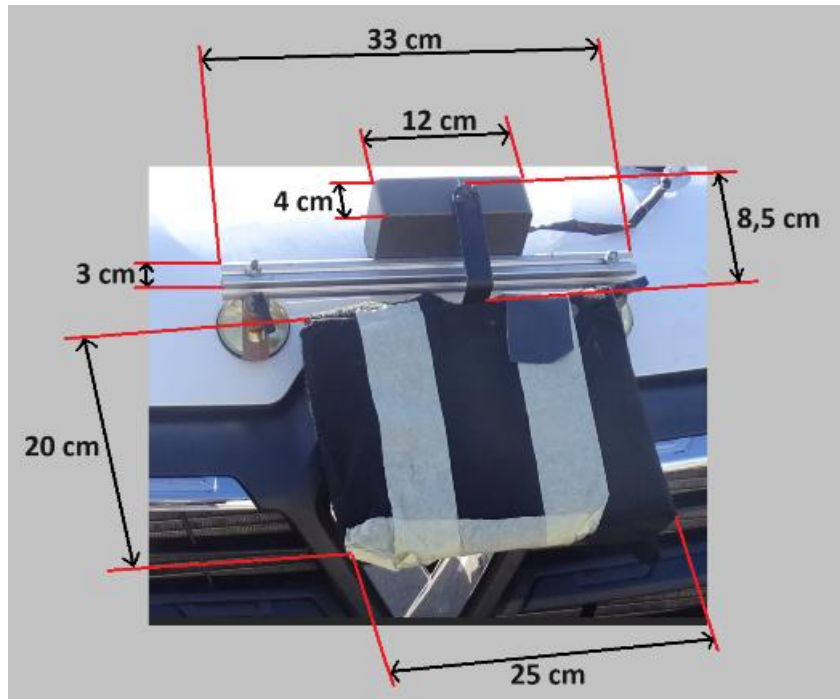


Figura 29. Medidas sistema actual de obstrucción radar

Aunque el nuevo sistema tiene una forma algo distinta a la actual, las medidas del material obstructor se intentan respetar.

En cuanto al resto de la estructura, se busca remodelarla un poco. Por ejemplo, elimina el perfil cuadrado de aluminio donde van sujetas las ventosas. Otro aspecto a considerar es que en el sistema actual se precisa de una caja estanca donde va ubicado el motor y la placa de control del actuador, en el nuevo sistema únicamente va el motor en el exterior del vehículo, el resto va incorporado dentro del vehículo.

#### 3.2 Croquis del nuevo sistema

Antes de empezar a desarrollar el nuevo sistema, se realizó una fase previa de bocetaje de los posibles sistemas y mecanismos a implementar. Esto permitió visualizar cómo quedaría el sistema y evaluar si se ajusta a los requisitos del proyecto. Tras realizar los distintos bocetos de tipos de estructura, se seleccionó el que mejor se adecuaba al sistema que se pretende desarrollar. Ya con el boceto del sistema definido, se realizan los croquis pertinentes de la estructura con mayor detalle para comprender el diseño final.

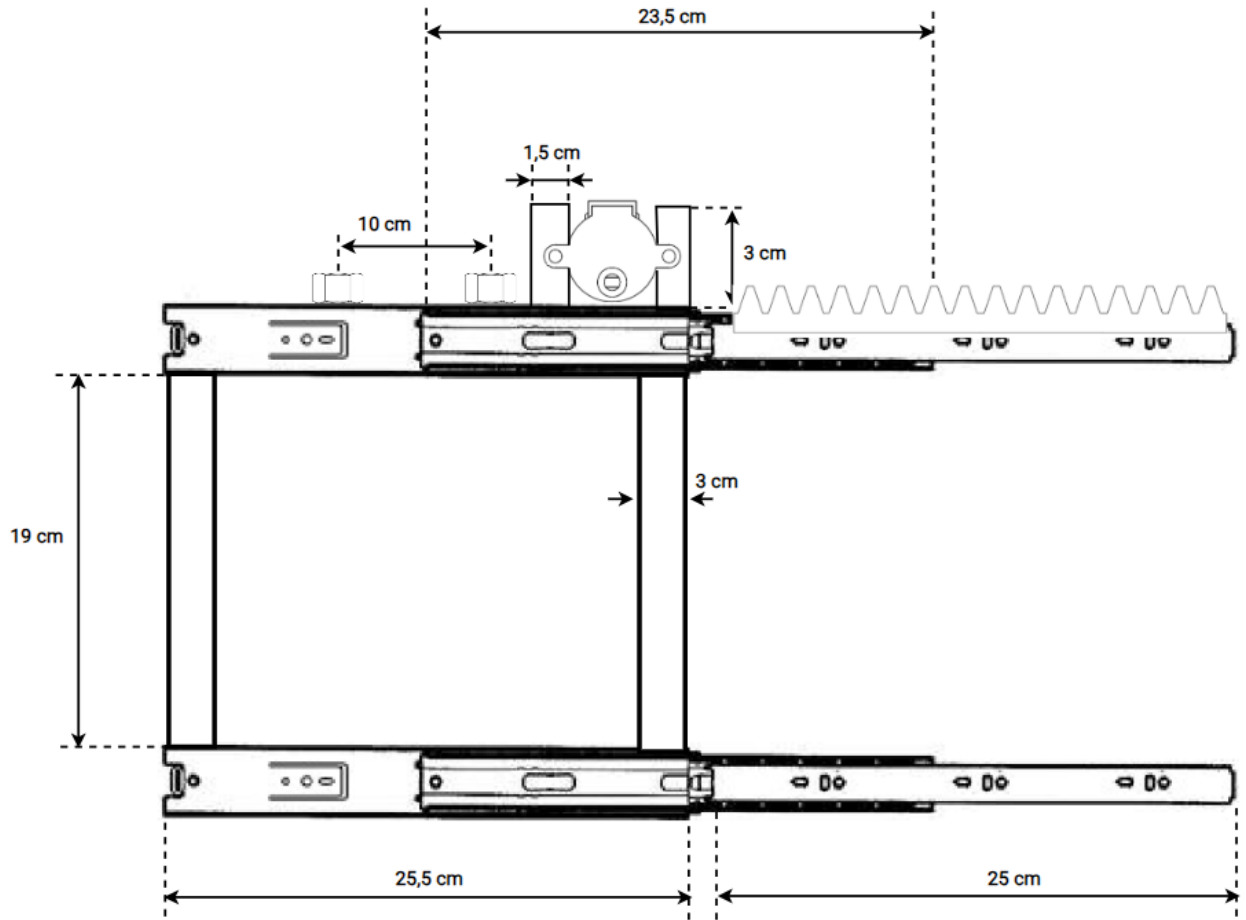


Figura 30. Croquis de la vista frontal de la estructura del sistema

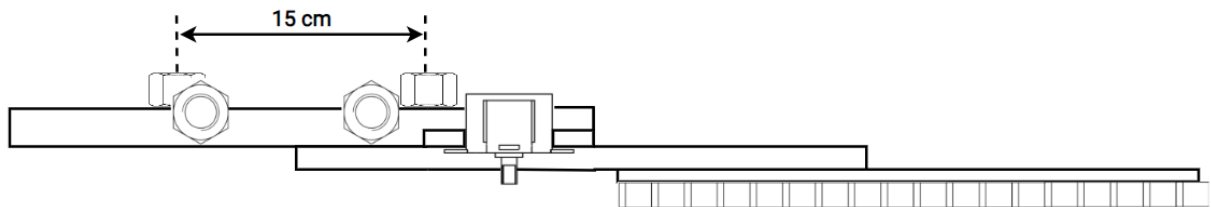


Figura 31. Croquis de la vista superior de la estructura del sistema

### 3.3 Nuevo sistema

Debido a la confidencialidad de este documento, se omiten las imágenes de la nueva estructura del sistema obstructor. Esta decisión busca mantener la exclusividad del sistema desarrollado en colaboración con la empresa Applus+ IDIADA, distinguiéndolo de otros sistemas de obstrucción de sensores ADAS utilizados en otros laboratorios de ensayo.

## 4. Explicación del código

Para entender un poco mejor el funcionamiento del sistema en su conjunto global se trata de explicar un poco con mayor detalle las partes de código más relevantes del sistema. Siempre haciendo referencia al código de programación de la placa de desarrollo Xplained Mini incluida en el proyecto. Debido a la confidencialidad de este documento, se proporcionará una explicación general de cada función implementada en el código principal del sistema. No se entrará en detalles específicos ni se incluirán fragmentos del código a los que se hace referencia. Solo están disponibles en la parte de anexos, las funciones completas de las bibliotecas incluidas en el proyecto general ( [anexo II](#) y [anexo III](#)).

El primer paso es configurar la placa, definiendo todos los elementos que se desean utilizar y asignando los pines que actúan como entradas o salidas. Para configurar un puerto como entrada o salida, se hace uso del comando DDRx, donde “x” hace referencia al grupo de pines que lleva integrado la placa, que son los pines B, C y D. Con el comando DDRx, se define cada bit del puerto correspondiente como entrada o salida, dependiendo de si se le configura un 1 lógico (salida) o un 0 lógico (entrada).

Además de configurar los pines de la placa de desarrollo como entradas o salidas, se configuran otros elementos que se desean utilizar, como son los temporizadores o los ADC. Los distintos pines de la placa Xplained Mini tienen sus correspondientes acciones para causar interrupciones, por lo que se configuran los vectores necesarios para habilitar estas interrupciones en los pines relevantes.

Todo lo mencionado se implementa en el código del programa en distintas funciones, donde cada función inicializa distintas partes que ya se han comentado anteriormente. Se crea una función ‘*void inicializaciones()*’ para inicializar los pines y elementos a utilizar, como el ADC. Una segunda función ‘*void ini\_timer0\_int()*’ para la configuración del timer 0 a modo de contador, otra distinta ‘*void ini\_timer2\_int()*’, para del mismo modo realizar la configuración del timer 2. Y finalmente, una función ‘*void ini\_PORT\_int()*’ para activar los distintos grupos de pines y permitir las interrupciones.

Del mismo modo que se realizan las inicializaciones pertinentes a los elementos internos de la propia placa Xplained Mini, también se crean inicializaciones a periféricos externos como es el controlador CAN MCP2515. Mediante la función creada ‘*void mcp2515\_init()*’ se ejecutan distintas funciones de la librería externa mcp2515 con la intención de inicializar el controlador CAN y dejarlo configurado para su utilización. Las distintas funciones que se utilizan en el código para el uso del controlador CAN las podemos encontrar en el [anexo II](#). Haciendo referencia al controlador CAN, se dispone también de una función ‘*void mcp2515\_enviar\_mensaje(uint32\_t id, uint8\_t \*data, uint8\_t len)*’ destinada al envío de un mensaje CAN a través del controlador.

Para realizar el control del motor paso a paso que acciona el sistema obstructor del sensor se dispone de la función ‘*void pulsadores()*’, que se encarga de analizar el estado de los pulsadores. Esta función se ejecuta cada vez que se genera una interrupción en cualquiera de los pines del grupo PCINT[7:0], donde esta interrupción ‘*ISR(PCINT0\_vect)*’ se da cuando

se detecta algún cambio de estado en el grupo de pines mencionado. Se tiene en cuenta cualquier cambio en el interruptor destinado a la obstrucción/liberación del sensor y al pulsador que efectúa el reinicio de los valores de obstrucción definidos.

Para dar una mayor flexibilidad del sistema aparecen los potenciómetros, con los cuales se pueden variar parámetros del sistema como son la velocidad del motor y el porcentaje de obstrucción del campo de visión del sensor. Por ello, la función *'void conversiones\_ADC()'* es la encargada de iniciar las conversiones pertinentes mediante el ADC para ir tomando valores tanto de la entrada de un potenciómetro como del otro. Además, esta función se ejecuta con la interrupción *'ISR (TIMER2\_COMPA\_vect)'* generada mediante el temporizador 2 que previamente se ha configurado como contador.

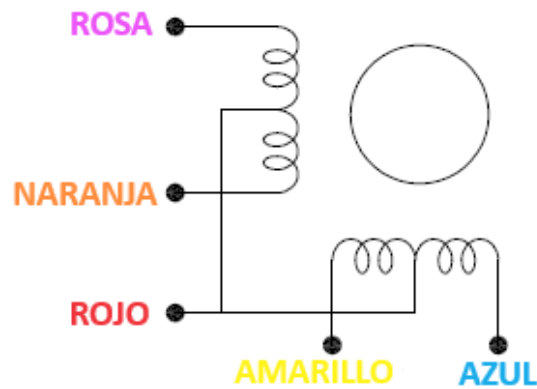
Para guardar los valores de obstrucción que son de interés en cada instante o en cada ensayo, se ha integrado una función *'void ajuste\_limites\_obstruccion()'* donde se analiza que pulsador se está actuando, si el destinado a guardar el valor de 0% de obstrucción o el de 100%. Ya que depende del pulsador que se ha actuado, el valor de pulsos del motor que interesa variar será el valor mínimo o el máximo. La función destinada al ajuste de la obstrucción se ejecuta mediante la interrupción *'ISR(PCINT2\_vect)'*, la cual se da cada vez que se detecta algún cambio de estado en los pines PCINT[16:23]. Este grupo de pines es donde están conectados ambos pulsadores destinados al ajuste del valor de obstrucción del 0% y del 100%.

La activación del motor, o la función destinada al control del motor *'void motor()'* se ejecuta mediante la interrupción *'ISR(TIMERO\_COMPA\_vect)'* creada con el temporizador 0, el cual también está configurado como contador. Para controlar el motor, se analiza cuál es el sentido de giro deseado, que viene marcado por la posición en la que se encuentra el interruptor que indica si se debe obstruir o liberar el sensor. Una vez conocido el estado del interruptor, se le aplica al motor la secuencia correspondiente de pasos a las distintas bobinas para lograr el giro del actuador.

Para saber en todo momento como se encuentra el sistema e indicarlo a los usuarios que controlan el sistema obstructor, se hace uso de la pantalla LCD incorporada en la caja de comandos. La pantalla se controla mediante la función *'void pantalla()'*, la cual gestiona las acciones que se quieren aplicar en ella y los mensajes a enviar en cada instante según las condiciones en las que se encuentra el sistema. En la función del control de la pantalla se hacen uso de algunas funciones que se han adaptado al código para poder crear una librería. Estas funciones referentes a las acciones que se pueden aplicar sobre la pantalla quedan recogidas en la librería creada como pantallaLCD, como se puede observar en el [anexo III](#). Donde se dispone de funciones para inicializar la pantalla, para configurarla, enviar caracteres que se desean imprimir o incluso limpiar la pantalla para dejarla en blanco cuando se crea conveniente.

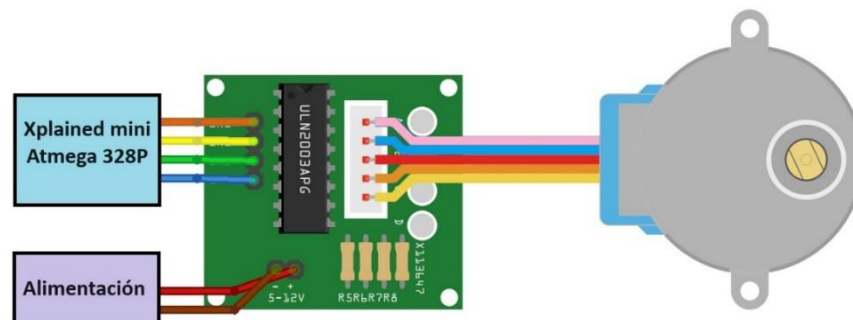
## 5. Esquemas eléctricos

Antes de empezar con la parte eléctrica del proyecto, se han realizado los esquemas pertinentes para determinar cómo conectar cada elemento del sistema. En primer lugar, se ha consultado el conexionado interno del motor paso a paso para conocer la disposición de los bobinados internos.



**Figura 32.** Bobinado motor paso a paso

Como se aprecia en la figura superior, el motor paso a paso que se ha seleccionado para el proyecto dispone de cinco hilos. El hilo rojo va siempre conectado a una tensión positiva de cinco voltios, y el resto de los hilos van conectados al controlador ULN2003 que es el encargado de ir aplicando la secuencia de pasos necesaria para el movimiento correcto del motor.

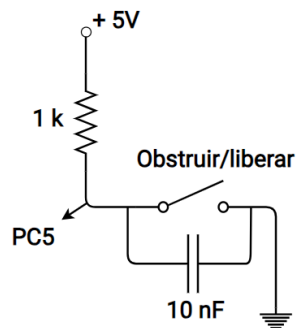


**Figura 33.** Conexionado motor y controlador ULN2003. Imagen extraída de: <https://javiergarciaescobedo.es/squitty/495-programacion-de-motor-paso-a-paso-28byj-48-con-el-driver-uln2003>

La figura superior también muestra las conexiones pertinentes con el microcontrolador para realizar el control del motor y la alimentación, que se puede extraer del propio microcontrolador. Si no se utiliza la alimentación de cinco voltios directamente desde el microcontrolador, se puede utilizar una fuente externa de hasta máximo doce voltios, dependiendo de cómo están conectados los puentes de la alimentación del ULN2003. Además, se conectan los cinco hilos provenientes del motor, correspondientes a las bobinas internas.

Ambos tipos de accionadores utilizados en el proyecto, el interruptor de tipo balancín y los pulsadores de tipo botón, se conectarán de forma similar. A pesar de tener un diferente accionamiento, el conexionado entre la alimentación y la placa Xplained Mini será el mismo.

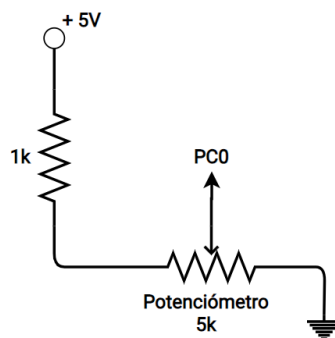
Para realizar el correspondiente conexionado de cada accionador con las distintas entradas del microcontrolador, se sigue el esquema mostrado en la figura 34. Este esquema ha sido diseñado de forma manual en la página web [Aspose\[4\]](#), que cuenta con una sección destinada al diseño de esquemas eléctricos.



**Figura 34.** Esquema del conexionado de los distintos interruptores

Como se observa en la figura anterior, se parte de una alimentación de cinco voltios conectada a una resistencia de pull-up antes de pasar por el interruptor y finalmente conectar a masa. Con el uso de la resistencia de pull-up, lo que se pretende es que en la entrada al microcontrolador siempre se disponga de un nivel alto (5 V) o un nivel bajo (0 V). La elección de una resistencia de valor de  $1\text{ k}\Omega$  no influye significativamente en el sistema, ya que simplemente asegura que la entrada del microcontrolador tenga un nivel estable. El valor en la entrada al microcontrolador depende de la posición del interruptor, si está abierto se dispone de un nivel alto (5 V) en la entrada y en caso de estar cerrado se obtiene un nivel bajo (0 V). Para asegurar esto último, se introduce el condensador de 10 nF, para evitar que en ningún caso se puedan obtener falsos positivos o falsos negativos en la entrada del microcontrolador a la hora de cambiar de una posición a otra del interruptor. De esta forma se asegura que la entrada al microcontrolador correspondiente al pulsador sea mucho más estable y fiable en el momento de cambiar la posición del interruptor.

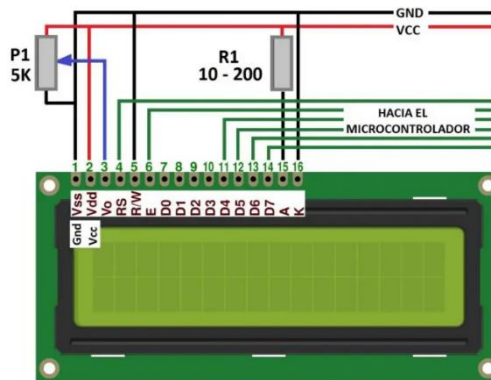
Para dar más flexibilidad al sistema de obstrucción, se integran dos potenciómetros, uno para variar la velocidad de accionamiento del motor y otro para especificar el porcentaje de obstrucción del sensor. Ambos potenciómetros se conectan de la misma manera, a pesar de tratar distintas señales distintas. El esquema de montaje de ambos potenciómetros se muestra en la siguiente figura 35. Para cada potenciómetro se realizan las conversiones y linealizaciones pertinentes para acotar la señal en el rango deseado.



**Figura 35.** Esquema del conexionado de los distintos potenciómetros

Se integra una resistencia antes del potenciómetro y acto seguido se conecta el potenciómetro. Donde la conexión intermedia del potenciómetro es la que se entra hacia el microcontrolador para tomar la señal analógica obtenida según la posición del potenciómetro. Este valor analógico que se obtiene del potenciómetro varía en función de su posición, ya que como bien se sabe, este elemento varía su valor de resistencia y con ello se obtiene un valor de tensión u otro a la entrada del microcontrolador.

Para conocer el estado actual del sistema obstructor y verificar si el sensor está bloqueado o liberado, se integra una pantalla LCD que muestra la distinta información de interés dependiendo del estado actual del sistema. En la pantalla se indica en qué situación se encuentra actualmente el motor y con ello el sensor. Si el motor está parado, se imprime por pantalla un mensaje donde nos indica si el sensor está obstruido o bien está liberado. Y en el caso en que el motor esté en movimiento, se imprime por pantalla otro mensaje donde se especifica si el motor está girando en el sentido para liberar el sensor o gira en el sentido opuesto para obstruir el sensor. Además, otros valores que interesan saber en todo momento son la velocidad a la que está trabajando actualmente el motor, y el porcentaje de obstrucción que se aplica al sensor. Donde se refleja cualquier cambio en estos parámetros en cualquier instante. El conexionado de la pantalla LCD se realiza según se muestra en la figura 36.



**Figura 36.** Conexiones pantalla LCD. Imagen extraída de: <https://arduinoque.com/arduino/conexion-de-lcd-16x2/>

Para la transmisión de los caracteres que se desean mostrar en pantalla se utilizan 4 cables, que van conectados a los terminales ‘D4’, ‘D5’, ‘D6’ y ‘D7’ de la pantalla. Los terminales ‘A’ y ‘K’ hacen referencia al ánodo y cátodo de la retroiluminación de la pantalla LCD. ‘Vss’ y ‘Vdd’ son los terminales referentes a la alimentación de la pantalla, la cual se alimenta a 5 V que se pueden extraer de la placa directamente. El tercer terminal de la pantalla, el ‘Vo’ es un pin al cual, si se conecta un potenciómetro, se puede ajustar el contraste de la pantalla LCD para que se visualice la información mostrada de forma correcta a la vista humana. Y, por último, los terminales ‘RS’, ‘R/W’ y ‘E’ son los referentes al control de la pantalla. Con el primero de ellos, ‘RS’, se selecciona el registro, con el terminal ‘R/W’ se especifica si se desea trabajar en modo escritura o lectura. Para el caso de este proyecto, como solo se desea imprimir por pantalla y no es de interés leer nada, se puede fijar 0 V en el terminal, para configurar la pantalla en modo de escritura. Y el terminal ‘E’ es el que habilita las operaciones de la pantalla y el cual se maneja desde el microcontrolador, al igual que el terminal ‘RS’.

## 6. Microcontrolador

El microcontrolador Atmega328P es una opción muy eficiente, de alto rendimiento y de un precio muy asequible para todas las prestaciones que ofrece.

Este microcontrolador utiliza una arquitectura AVR<sup>16</sup> RISC<sup>17</sup> de 8 bits, donde AVR es una familia de microcontroladores desarrollada por Atmel<sup>18</sup> desde 1996 y adquirida más tarde por Microchip Technology<sup>19</sup> en 2016. Los microcontroladores AVR son dispositivos compactos de un solo chip, RISC y tienen una arquitectura Harvard que separa las memorias de los buses de programas y datos.

El microcontrolador Atmega328P ofrece 32 kB<sup>20</sup> de memoria flash programable en el sistema, además de disponer de 1024 bytes de memoria EEPROM<sup>21</sup> y 2 kB de memoria SRAM<sup>22</sup>. Además de las propiedades de memoria comentadas, este microcontrolador incluye 3 temporizadores/contadores flexibles, con la posibilidad de crear interrupciones tanto internas como externas. Esto es muy conveniente para el proyecto, ya que se van a utilizar varias interrupciones para gestionar periféricos externos. También, puede darse el caso de que cada interrupción interese que se active en distintos instantes, por ello el uso de más de un temporizador/contador es muy acertado.

Otra función que lleva integrado el microcontrolador es una USART<sup>23</sup> serie programable y una interfaz SPI serie, que facilitan la comunicación en serie de datos. Estas características son muy útiles para poder añadir la pantalla LCD al sistema y poder visualizar en tiempo real el estado del sistema.

Además, dado que se desea tratar datos analógicos para controlar y ajustar algunos parámetros del sistema como son la velocidad del motor o el porcentaje de obstrucción del sensor, es clave la disponibilidad de un convertidor analógico digital de 10 bits como el que lleva incorporado el microcontrolador. Este ADC dispone de seis canales de entrada o salida referenciados al convertidor, con lo cual se dispone de muchas combinaciones para entrar diferentes señales analógicas. Factor crucial, ya que si en el futuro se desea incorporar más variaciones en el sistema o ajustar parámetros de forma manual y externa, hay suficientes canales disponibles para el ADC.

Finalmente, un aspecto también clave para la elección de este microcontrolador es la versatilidad que proporciona. Dispone de muchos pines de entrada/salida, lo que facilita una posible ampliación del proyecto en el futuro si se desea añadir más periféricos.

---

<sup>16</sup> RISC Virtual Avanzado.

<sup>17</sup> Computador con conjunto de instrucciones reducido.

<sup>18</sup> Compañía de semiconductores.

<sup>19</sup> Empresa fabricante de microcontroladores, memorias y semiconductores. En el año 2016 compro Atmel.

<sup>20</sup> Kilobyte, es una unidad de almacenamiento de información, la cual su abreviación es kB.

<sup>21</sup> Memoria de solo lectura programable y borrable eléctricamente.

<sup>22</sup> Memoria estática de acceso aleatorio.

<sup>23</sup> Receptor transmisor síncrono y asíncrono universal, es una interfaz de comunicación programable.

## 7. Asignación de los pines de la placa Xplained Mini

Para definir los pines de la placa para cada periférico que se le conecta, lo primero es conocer la disponibilidad de pines. Para ello, se puede consultar la [hoja de datos de la placa\[3\]](#) e ir al apartado de la distribución de la placa, donde se encontrará toda la información necesaria.

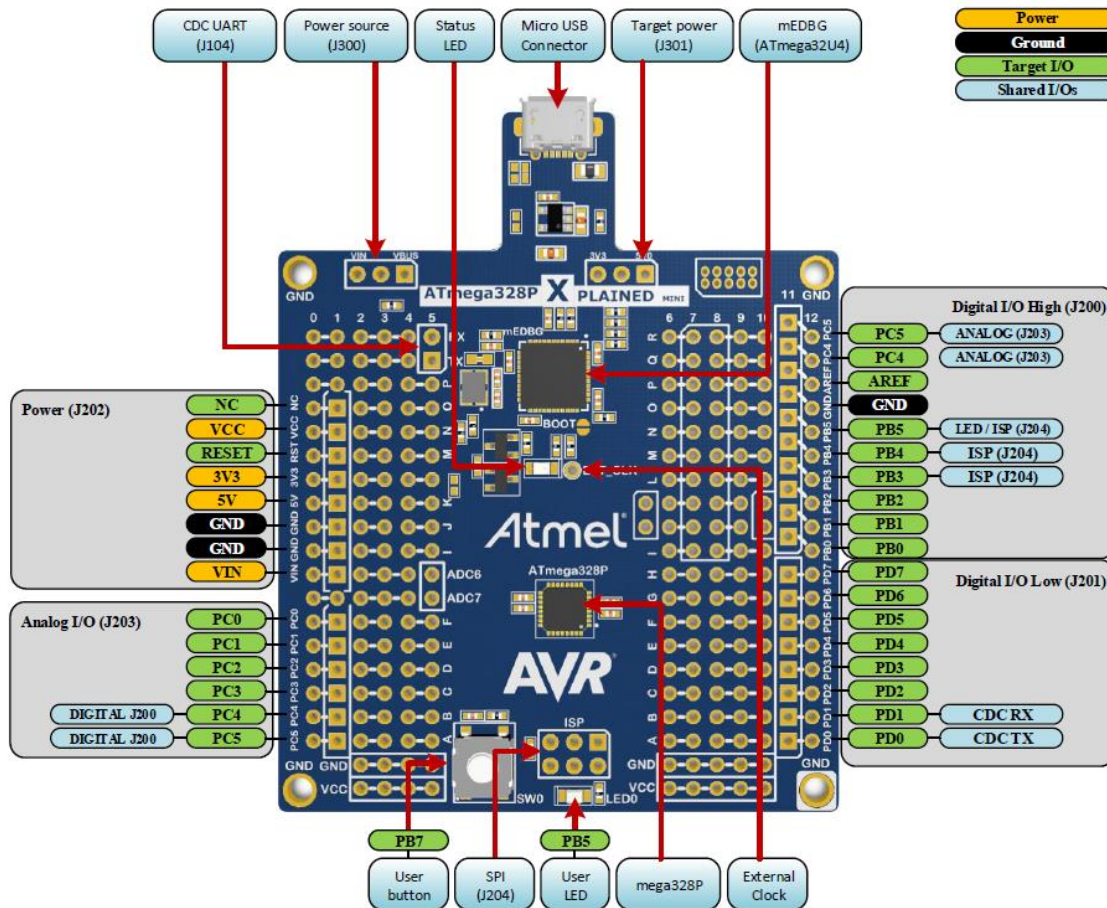


Figura 37. Distribución Placa Xplained Mini. Imagen extraída del datasheet del ATmega328P Xplained Mini[3]

Como se puede apreciar, la placa ATmega328P Xplained Mini se divide en distintos grupos de pines disponibles para la conexión de periféricos externos. Empezando por la parte superior izquierda, se encuentran los pines de alimentación, donde se pueden extraer los cinco voltios y GND<sup>24</sup> necesarios para el funcionamiento de algunos periféricos. Justo debajo se encuentran los pines PCx, que son pines para una configuración de entradas y salidas de forma analógica. Ya en el otro lado de la placa, en el lado derecho, se encuentran los pines para configuración digital, tanto los PBx como los PDx. Por tanto, observamos que se dispone de seis pines de entrada/salida analógicos y dieciséis pines de entrada/salidas digitales. Cabe destacar que los pines PC4 y PC5 se pueden utilizar en ambos modos, tanto de modo analógico como digital, dependiendo de dónde se conecte el periférico.

Analizando los distintos periféricos que se desean conectar, se pueden distribuir las entradas digitales o analógicas según mejor convenga. Para el caso de la pantalla LCD se pueden encontrar restricciones, ya que en caso de querer conectar la pantalla en modo I2C se debe

<sup>24</sup> GND es una abreviatura de «ground» en inglés, y se utiliza para establecer un punto de referencia común en un circuito o sistema eléctrico.

hacer uso de unos pines en concreto. Para el uso de la pantalla en modo I2C, se deben utilizar los pines destinados a la comunicación I2C SDA<sup>25</sup> e I2C SCL<sup>26</sup>. El pin SDA, es el encargado de la transmisión de los datos y, en el caso de la Xplained Mini, se encuentra en el pin PD7. El pin SCL, es el referente a la señal de reloj necesaria para la comunicación I2C y se encuentra en el pin PB0.

De tal forma que la distribución de pines para este proyecto queda de la siguiente manera:

Pines microcontrolador	Periféricos por conectar
PC0	Potenciómetro “%” obstrucción (entrada)
PC1	Potenciómetro velocidad motor (entrada)
PC2	IN1 controlador motor paso a paso (salida)
PC3	IN2 controlador motor paso a paso (salida)
PC4	IN3 controlador motor paso a paso (salida)
PC5	IN4 controlador motor paso a paso (salida)
PB0	Interruptor liberar/obstruir (entrada)
PB1	Libre
PB2	CS módulo CAN MCP2515
PB3	MOSI módulo CAN MCP2515
PB4	MISO módulo CAN MCP2515
PB5	SCK módulo CAN MCP2515
PD0	TXD módulo CAN MCP2515
PD1	RXD módulo CAN MCP2515
PD2	Enable pantalla LCD (salida)
PD3	RS pantalla LCD (salida)
PD4	D4 pantalla LCD (salida)
PD5	D5 pantalla LCD (salida)
PD6	D6 pantalla LCD (salida)
PD7	D7 pantalla LCD (salida)

**Tabla 4.** Conexión de los pines del microcontrolador con los diferentes periféricos

<sup>25</sup> SDA, en inglés Serial Data, es la línea destinada a la transmisión de datos en binario del protocolo I2C.

<sup>26</sup> SCL, en inglés Serial Clock, es la línea destinada al reloj en el protocolo I2C.

## 8. Conexiones y comunicación

Para realizar el conexionado entre los distintos elementos que conforman el sistema de obstrucción de los sensores, se han realizado distintos tipos de conexiones. Cada tipo de conexionado se ha realizado en función de la ubicación del elemento en concreto a conectar. Ya que hay elementos que van directamente insertados en la misma caja de control donde va integrada la placa Xplained Mini y otros están ubicados en el exterior de la caja.

### 8.1 Conexionado pines Xplained Mini

Los pines que se utilizan van soldados directamente a los elementos a conectar, de este modo se asegura una buena conexión de los distintos periféricos con los pines de entrada y salida. Para proteger los distintos pines de la placa y evitar cortocircuito entre ellos, así como los distintos terminales de cada elemento utilizado, se utilizan trozos de termorretráctil<sup>27</sup> para aislar cada soldadura por separado.

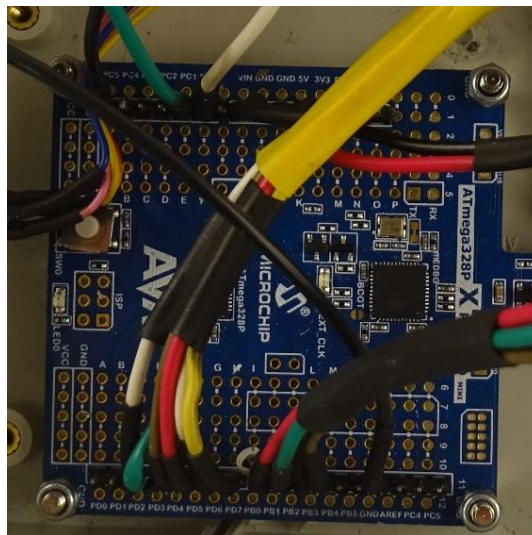
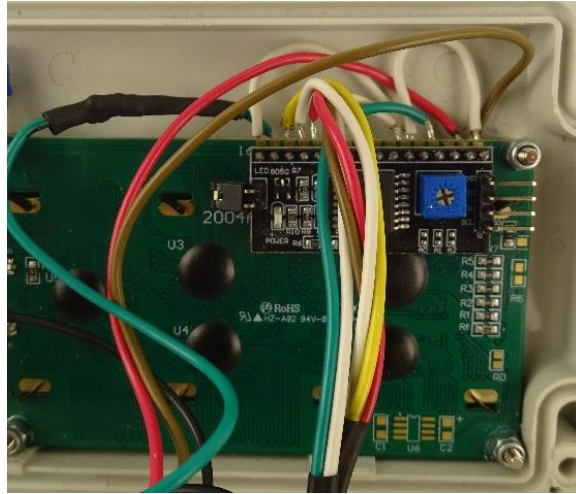


Figura 38. Conexiones en placa Xplained Mini

Como se observa en la figura superior, se han agrupado los distintos cables conectados para separarlos y diferenciar a qué periférico hacen referencia. Por ejemplo, los cuatro cables de datos y los dos de control de la pantalla LCD se han agrupado para tener un mejor control de todos los cables. Para el caso de la alimentación de cinco voltios de cada elemento y de su correspondiente GND, se unen todos los terminales en un único nodo para proporcionar la tensión positiva de cinco voltios y otro nodo para el GND.

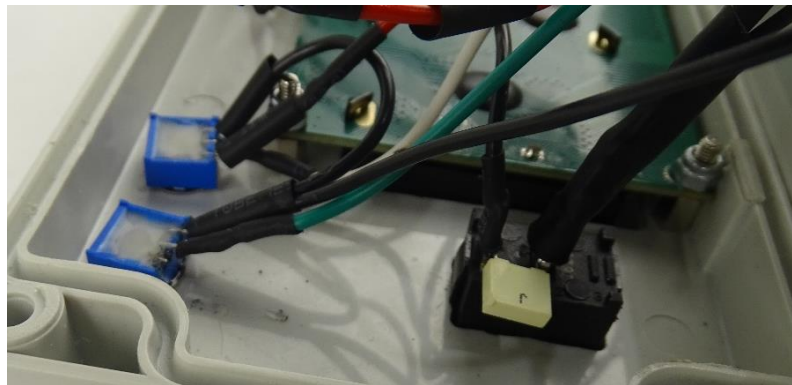
Para el caso de las conexiones de la pantalla LCD, como son conexiones fijas y que no se van a tener que modificar, se opta también por soldar los cables a los pines correspondientes. De este modo se asegura que las conexiones de la pantalla sean seguras y no se desconectan de manera accidental.

<sup>27</sup> El termorretráctil es un tipo de plástico que se contrae al ser sometido a calor, lo cual permite que se amolde muy fácilmente al elemento que envuelve



**Figura 39.** Conexiones de los pines de la pantalla LCD

Por el mismo motivo, para el caso de los pulsadores y potenciómetros se decide realizar soldaduras directas en sus terminales para el conexionado. Aislando siempre cada terminal con su respectiva soldadura para evitar cortocircuitos con el resto de los periféricos integrados en la caja de control.



**Figura 40.** Conexiones de los potenciómetros y del interruptor de liberar/obstruir



**Figura 41.** Conexiones de los tres pulsadores

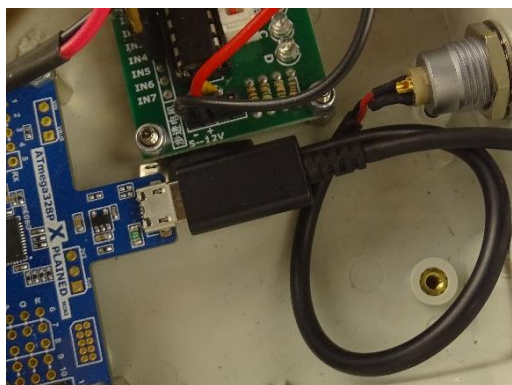
## 8.2 Conexión alimentación sistema

Para la alimentación general de la placa Xplained Mini y con ello la alimentación de todos los periféricos conectados a ella, se utiliza una alimentación externa de cinco voltios. Alimentación que se extrae mediante un cable USB<sup>28</sup> desde el ordenador integrado en el interior del vehículo para la captación de datos. De este modo se asegura una alimentación de cinco voltios constante y nunca superior a este valor. La típica alimentación de la Xplained Mini utiliza un cable micro USB, pero como el sistema se puede montar en diferentes vehículos, el cable micro USB puede sufrir daños debido a desconexiones frecuentes. Para evitar esto, se diseña una alimentación distinta que de mayor seguridad y con la cual los conectores no se dañen fácilmente. Para evitar que suceda esto, se acopla un conector lemo29 macho de tres pines en el cable USB en vez de tener un terminal micro USB. De este modo se dispone del terminal USB que va conectado al ordenador o fuente de alimentación, y en el otro extremo un conector lemo que es mucho más resistente que el conector micro USB.



**Figura 42.** Cable de alimentación USB – lemo macho tres pines

Para adaptar esta conexión, se instala un conector lemo hembra de tres pines en uno de los laterales de la caja y se le suelda un trozo de cable con un terminal de cable micro USB que es el que va conectado en el interior a la placa Xplained Mini.



**Figura 43.** Cable de alimentación micro USB – lemo hembra tres pines

---

<sup>28</sup> USB, en inglés Universal Serial Bus, es un estándar de conexión y transmisión eléctrica y de datos entre computadoras, dispositivos periféricos y otros aparatos electrónicos.

<sup>29</sup> Un conector LEMO es un tipo de conector eléctrico utilizado en diversas aplicaciones. Se caracteriza por un mecanismo de bloqueo push-pull y un diseño único que permite un alto grado de flexibilidad y versatilidad.



**Figura 44.** Conector lemo hembra tres pines

Con la modificación del cable de alimentación típico de USB – micro USB y el acople de los conectores lemo, se consigue una mayor seguridad en el cable de alimentación ante cualquier tipo de desconexión brusca del cable. Y es debido al mecanismo de seguridad push-pull<sup>30</sup> que llevan incorporados los conectores, mecanismo que consigue que la desconexión de estos conectores no sea de una manera tan sencilla como la del micro USB.

### 8.3 Conexión motor paso a paso

Como el controlador del motor va incorporado en el interior de la caja junto a la placa, los cables que van desde el controlador hasta el motor serán solo cinco. Estos cinco hilos, que controlan la activación de las bobinas del motor, permiten girar el motor en un sentido u otro y hasta una posición exacta. Del mismo modo que la alimentación de la placa, que se obtiene de una fuente externa, el motor al encontrarse situado fuera de la caja también necesita un cable de conexión. Para asegurar también una buena conexión y facilitar el montaje en caso de ensayos en otro vehículo, se hace uso de conectores lemo, pero en este caso conectores macho y hembra de cinco pines. Justo en el lateral opuesto, en el que se ha colocado el lemo hembra de tres pines destinado a la alimentación del sistema, se coloca el lemo hembra de cinco pines para el motor. A este lemo de cinco pines se le sueldan los cinco cables que van conectados directamente al controlador del motor.



**Figura 45.** Conector lemo hembra cinco pines

De tal manera que solo queda realizar un conector macho que vaya conectado al cable del motor y de esta manera permita desmontar de manera fácil y rápida la parte de la caja con los mandos de control de la estructura del sistema obstructor.

---

<sup>30</sup> Push-pull es un tipo de conector eléctrico que se caracteriza por tener un mecanismo de conexión y desconexión basado en un sistema de empuje y tracción.



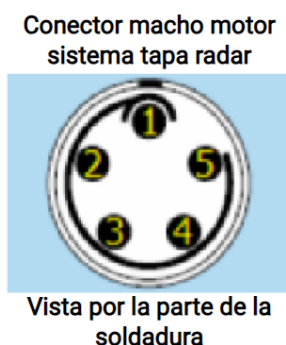
**Figura 46.** Cable del motor con terminal lemo macho cinco pines

Por otro lado, como el color de los cables de la manguera de cinco hilos no se corresponde con los colores de los cables que incorpora el propio motor. Se debe definir, antes de realizar el conexionado de los conectores macho y hembra, una secuencia y combinación de colores a respetar en todo momento. De este modo se asegura que, al realizar todas las conexiones y soldaduras pertinentes, la secuencia de pasos de las bobinas del motor se respeta como al inicio antes de añadirle el cable de cinco metros al motor.

Cables manguera cinco hilos	Cables motores
Marrón	Azul
Gris	Rojo
Blanco	Naranja
Amarillo	Amarillo
Verde	Rosa

**Tabla 5.** Combinaciones de colores para el conexionado del motor con la manguera de cinco hilos

Y ya con las combinaciones predefinidas, se puede consultar la figura 47 para realizar el conexionado de los conectores lemo hembra y macho y evitar cruces .



Conector	Cable 5 hilos	Motor 28BYJ-48
1	marrón	azul
2	gris	rojo
3	blanco	naranja
4	amarillo	amarillo
5	verde	rosa

**Figura 47.** Conexionados cables con los conectores lemo de cinco pines

Como se aprecia en la figura superior, el conector que se ha dibujado es un conector lemo de cinco pines de tipo macho, y es una vista desde la parte trasera (lado de la soldadura). De este modo ya queda más claro cuál debe ser la conexión de cada cable en los diferentes terminales del conector lemo. Además, si se conocen las conexiones en el conector macho, para el conector hembra serán las mismas, pero a la inversa, vistas también desde la parte de la soldadura. De este modo se asegura que, al realizar la conexión del conector hembra con el conector macho, la secuencia de colores se respeta en todo momento y la secuencia de colores que sale directamente del motor es la que llega finalmente al controlador del motor.

#### **8.4 Conexionado para la reprogramación de la placa**

Para la programación de la placa y futuras reprogramaciones que se le deseen realizar para actualizar el sistema o para añadir mejoras en este. Se utiliza el cable USB – micro USB, ya que solo se necesita desconectar el conector micro USB de alimentación del interior de la caja y conectar directamente el cable USB – micro USB. Cabe destacar que el cable para la programación debe ser un cable que disponga de transmisión de datos, ya que si no no servirá para la programación de la placa y simplemente servirá de alimentación.



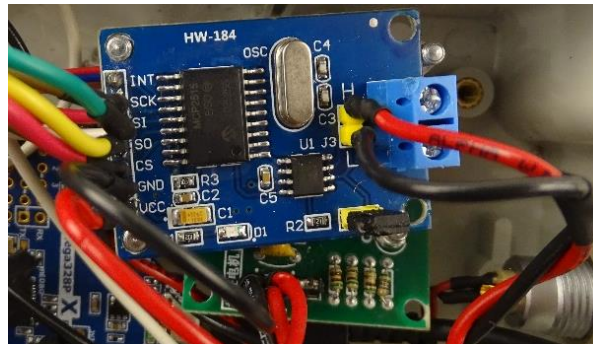
**Figura 48.** Cable USB – micro USB tipo b. Imagen extraída de: <https://a.co/d/7xFxRwG>

Con el uso de este cable y con un ordenador que disponga del programa Microchip Studio, se puede cargar cualquier modificación que se realice en el código de programación del funcionamiento del sistema. De manera que se puede realizar una reprogramación rápida y sencilla de la placa Xplained Mini sin necesidad de extraerla del interior de la caja de los mandos de control.

#### **8.5 Conexionado para la comunicación CAN**

Para exportar el valor de algunas variables de interés al exterior del microcontrolador y utilizarlas en la captación de datos que se realiza en cada ensayo, se ha optado por utilizar la comunicación CAN. Se opta por la comunicación CAN porque es la comunicación más habitual en el sector automovilístico, y con la cual se captan el resto de los datos de interés del vehículo para luego realizar el análisis del ensayo realizado. Para la exportación de las variables en comunicación CAN desde el microcontrolador, como se ha comentado en puntos anteriores. Se hace uso de un controlador MCP2515, ya que el microcontrolador no dispone de pines destinados a esta comunicación. El controlador debe ir conectado a ciertos

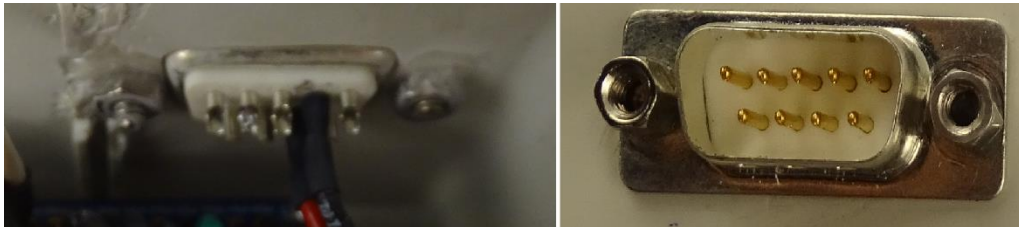
pinos concretos que van destinados a la comunicación SPI. Por tanto, las conexiones entre el microcontrolador y el controlador MCP2515 se realizan mediante cables soldados, para asegurar una buena conexión entre ambos elementos.



**Figura 49.** Conexiones de los pines del controlador MCP2515

Con el uso del controlador MCP2515 se consigue obtener la señal ya dispuesta para una transmisión a un bus CAN, lo que quiere decir que se dispone de dos cables como salida. Los cables referentes a CAN alto y CAN bajo, que actúan como una línea diferencial, lo que significa que la señal CAN, que bien es 0 o 1 está representada por la diferencia de potencial entre la línea CAN alta y la línea CAN baja. Si la diferencia es positiva y mayor que un cierto voltaje mínimo, entonces es un 1 y si la diferencia es negativa, entonces corresponde a enviar o recibir un 0.

Como ya se ha hecho previamente con los conectores del motor y de alimentación, para posibilitar la extracción de las dos señales que forman la comunicación CAN, se decide incluir un conector macho D-sub de nueve pines. El cual se incorpora en uno de los laterales de la caja de control gracias a su fácil montaje en panel que presentan.



**Figura 50.** Vistas conector D-sub nueve pines (a la izquierda parte de la soldadura, a la derecha parte exterior de la caja)

Del mismo modo que ya se hizo con los conectores lemo, se debe especificar cuál va a ser el conexionado del conector D-sub y qué pines se van a utilizar. Ya que únicamente se hará uso de dos pines del total de nueve pines que incorpora el conector. En la figura inferior, se muestra que dos pines del conector se utilizan para la comunicación CAN, donde cabe destacar que la vista es desde la parte de soldadura del conector.



**Figura 51.** Conexionado conector D-sub nueve pines

Desde este conector, conectando un cable con terminales D9, se puede exportar la información a cualquier bus de comunicación CAN para tratar las variables de interés. En el caso del proyecto, interesa conectar la salida de nuestro sistema con el controlador de la interfaz CAN que se instrumenta en los vehículos para realizar los ensayos. Por tanto, se utiliza un cable con dos terminales hembra D9, ya que el módulo CAN incorporado en el vehículo también presenta un conector D-sub de nueve pines como el del sistema. Estos cables hembra a hembra en las cubiertas de sus extremos llevan incorporadas unas protecciones contra tirones y evitar que el cable se divida. Este sistema de fijación del cable es idóneo para el sistema, ya que es probable que este cable se esté conectando y desconectando continuamente. Por tanto, se necesita asegurar una conexión fiable y difícil de dividirse en caso de tirones al desmontar y montar el sistema de un vehículo a otro.



**Figura 52.** Cable D9 con dos terminales hembra para la comunicación CAN. Imagen extraída de: <https://es.rs-online.com/web/p/cables-serie/1828897>

## 9. Funcionamiento del sistema

El funcionamiento del sistema está basado en el accionamiento del motor mediante un interruptor, de tipo balancín. Al conmutar el interruptor se le especifica al microcontrolador si se desea obstruir el sensor o, por el contrario, se desea liberar el sensor. El programa está diseñado para que, según el valor que se obtiene de la entrada del interruptor, el motor gire en un sentido o gire en el sentido opuesto. Por ejemplo, para girar en el sentido horario, se le aplica al motor una secuencia de conmutación a las distintas bobinas que lo forman para que pueda ir girando. Y para girar en el sentido antihorario, lo único que se hace es aplicar al motor los mismos pasos, pero en sentido inverso, y con ello conseguir que la secuencia de las bobinas sea la inversa que el otro sentido de giro.

El sistema cuenta con dos potenciómetros para variar y ajustar los parámetros durante los distintos tipos de ensayos. Para asegurar un correcto funcionamiento, se limitan ambas variables que se pueden modificar con los potenciómetros para que el sistema pueda obstruir como máximo un 100% y tenga una velocidad máxima del 100% también. Cabe comentar que al tratarse de un motor paso a paso, se sabe que tiene una velocidad máxima permitida de funcionamiento, que está limitada por la frecuencia a la que puede trabajar el motor.

Otro factor clave que incorpora el sistema son los pulsadores de tipo botón para el ajuste de obstrucción del sensor. Si bien no se hace uso de los pulsadores, el recorrido del objeto obstructor está determinado por la capacidad de extensión de la estructura. Es decir, que el 0% significa que las guías extensibles que forman la estructura móvil del sistema están completamente recogidas. Y en el otro extremo, una obstrucción del 100% significa que las guías están completamente extendidas. Sin embargo, como se desea trabajar con el 0% y 100% de obstrucción referido al campo de visión del sensor y no de la capacidad de extensión del sistema. Se debe dotar de información al sistema para delimitarle en qué posición empieza el 0% de obstrucción del sensor y en qué posición se encuentra la obstrucción del 100% del sensor.

Para ello, se desplaza el objeto obstructor hasta la posición deseada, mediante el uso del interruptor de bloqueo y liberación para que el motor actúe. Una vez se encuentra en la posición deseada como el 0% de bloqueo de visión del sensor, mediante el uso de un pulsador de tipo botón, se indica al microcontrolador que la información actual debe ser guardada. Ya que se debe dotar al sistema de la información, como por ejemplo registrar el número exacto de pasos en el que se encuentra el motor en este instante. Del mismo modo, para el caso de desear ajustar el 100%, mediante el uso de otro pulsador de tipo botón, se indica al microcontrolador que esta posición es también de interés. De este modo se consigue que ahora el movimiento del motor no vaya desde 0 pulsos hasta el máximo número de pulsos que se había establecido de un inicio con un valor fijo. Ahora el motor tiene un recorrido delimitado entre los valores de los pulsos guardados mediante los pulsadores de tipo botón. El motor no se moverá más allá de estos límites, asegurando que se respete la obstrucción del sensor establecida.

Para reiniciar los valores de pulsos de motor correspondientes al 0% y 100%, se dispone de un tercer pulsador de tipo botón. Mediante el cual se elimina esta información y el motor pasa otra vez a tener el recorrido que va entre 0 pulsos y el máximo estipulado al inicio del código.

El uso de estos pulsadores permite ajustar el recorrido del sistema a cualquier tipo de sensor, ya que no todos tienen el mismo campo de visión. Así, se puede establecer cuál es el recorrido que interesa que ejecute el motor, y ya con el potenciómetro del porcentaje de obstrucción, se puede ajustar qué porcentaje de visión del sensor se desea bloquear.

## 10. Datos técnicos

En el caso del motor paso a paso elegido para este proyecto, la frecuencia límite es de 100 Hz, lo que significa que como máximo se le pueden aplicar 100 pasos por segundo.

Conociendo el valor de la frecuencia se puede calcular el periodo máximo que se le puede aplicar para la secuencia de los pasos. Se sabe que el periodo es la inversa de la frecuencia, por tanto:

$$\text{Periodo} = \frac{1}{\text{Frecuencia}} = \frac{1}{100 \text{ Hz}} = 0,01 \text{ segundos} \quad (3)$$

Por tanto, el periodo máximo que se puede aplicar para el cambio de secuencia de pasos para realizar el movimiento del motor es el que se observa en la ecuación número tres. Es decir, 0,01 segundos, o lo que es lo mismo, 10 milisegundos. Si se aplica un valor menor, el motor no se moverá adecuadamente debido a la incapacidad de seguir una secuencia de pasos tan rápida.

Para el caso en concreto del proyecto se han establecido unos valores máximos y mínimos de periodo que se varían haciendo uso del potenciómetro destinado a la velocidad del motor. Para ser precisos, veamos cuál es el valor máximo de velocidad que se aplica al sistema, ya que es el más crítico para no sobrepasar los 10 ms de periodo como máximo. Decir que se está aplicando la velocidad máxima, es lo mismo que decir que está aplicando el periodo mínimo a la conmutación de pulsos a enviar a las bobinas del motor.

Por tanto, el periodo mínimo establecido en el sistema es:

$$F_{\text{prescaler}} = \frac{F_{\text{oscilación}}}{V_{\text{prescaler}}} = \frac{16000000 \text{ Hz}}{64} = 250000 \text{ Hz} \quad (4)$$

$$\text{Pulso} = \frac{1}{F_{\text{prescaler}}} = \frac{1}{250000 \text{ Hz}} = 0,000004 \text{ segundos} \quad (5)$$

$$\text{Periodo} = \text{OCR} \cdot \text{Pulso} = 100 \cdot 0,000004 \text{ segundos} = 0,0004 \text{ segundos} = 0,4 \text{ ms} \quad (6)$$

Otro dato que se puede extraer del sistema es la resolución en términos de movimiento lineal del material obstructor, ya que se conoce el paso del motor, la relación de engranajes y el módulo tanto del piñón como de la cremallera. El motor 28BYJ-48 es un motor paso a paso unipolar cuyas características se han visto en puntos anteriores. De estas características se pueden tomar algunos datos de interés, como que el paso del motor es de 5,625 grados y la relación interna es de 64:1.

Dado que cada paso del motor es de 5,625 grados, y la relación de reducción es de 64:1, lo primero que se puede calcular es la cantidad de pasos necesarios para un giro completo del eje de salida del motor:

$$\text{Pasos por revolución del eje} = \frac{360 \text{ grados}}{5,625 \text{ grados/paso}} \cdot 64 = 4096 \text{ pasos/revolución} \quad (7)$$

A continuación, se puede determinar la distancia lineal que se desplaza la cremallera por cada revolución del piñón. Para ello, se debe considerar el módulo del piñón y su número de dientes. Con los datos de los elementos utilizados en el proyecto, se conoce el módulo del piñón ( $m$ ) y su número de dientes ( $z$ ). Se puede obtener el diámetro del círculo primitivo de este:

$$m = \frac{d}{z} \rightarrow d = m \cdot z = 0,7 \cdot 11 = 7,7 \text{ mm} \quad (8)$$

Entonces, por cada revolución del piñón, la cremallera se desplaza una distancia lineal igual al perímetro del círculo primitivo, que es:

$$\text{distancia lineal por revolución} = \pi \cdot d = \pi \cdot 7,7 \text{ mm} = 24,2 \text{ mm} \quad (9)$$

Finalmente, la resolución lineal del sistema es la distancia lineal que se desplaza la cremallera por cada paso del motor. Según el cálculo realizado en la fórmula (7), hay 4096 pasos por revolución del eje de salida del motor, por lo tanto, la distancia lineal por paso es:

$$\text{Resolución lineal} = \frac{\text{distancia lineal por revolución}}{\text{pasos por revolución}} = \frac{24,2 \text{ mm}}{4096} \approx 0,0059 \text{ mm/paso} \quad (10)$$

En resumen, la resolución lineal del sistema, es decir, el mínimo movimiento lineal que puede realizar el motor paso a paso 28BYJ-48, con un piñón de 11 dientes y una cremallera de módulo 0,7, es aproximadamente 0,0059 mm por paso.

Otros datos técnicos de interés del sistema desarrollado pueden ser los diferentes consumos de los periféricos conectados al microcontrolador. Por tanto, se puede comentar un poco sobre cada uno de ellos para observar cuál es el consumo cuando están en funcionamiento.

El controlador de motor ULN2003 en sí mismo consume una cantidad insignificante de corriente para su funcionamiento, pero el consumo significativo proviene del motor que controla. El motor 28BYJ-48, alimentado a cinco voltios, tiene una corriente de fase de 240 mA. Teniendo en cuenta que nunca tiene las cuatro fases activas simultáneamente y que, en el peor de los casos, hay solamente dos fases activas, el máximo consumo del motor será de 480 mA. Cabe mencionar que el consumo del motor también puede verse influenciado por la carga que deba soportar y si está sometido a fuerzas externas, como puede ser el aire.

Por otro lado, el controlador CAN MCP2515 presenta un consumo de 5 mA durante su funcionamiento, al cual hay que añadirle el consumo que presenta el propio transceptor CAN, que es de aproximadamente 10 mA.

La pantalla LCD incorporada en el sistema, según las especificaciones del fabricante, tiene un consumo de 20 mA en condiciones normales. A este consumo nominal de la pantalla hay que añadir el consumo de la retroiluminación, que permite leer los caracteres en la pantalla. El consumo de la retroiluminación puede variar, pero se ha realizado una medición con un amperímetro y se ha determinado que presenta un consumo de aproximadamente 80 mA.

El consumo referente a los pulsadores es despreciable, ya que según el conexionado realizado, el pulsador conduce corriente solamente cuando está pulsado. Como esta pulsación suele ser muy breve, el pulsador estará en estado cerrado muy poco tiempo, por lo tanto, la corriente que consume es insignificante.

Para el caso de los potenciómetros, se ha realizado un conexionado distinto al de los pulsadores. Dado que sus extremos están siempre conectados entre cinco voltios y GND, el potenciómetro consume corriente constantemente. Para conocer el consumo exacto de cada potenciómetro, sabiendo que el potenciómetro tiene un valor de  $5000 \Omega$  y está conectado a una diferencia de potencial de cinco voltios, se puede determinar que:

$$\text{corriente} = \frac{\text{tensión}}{\text{resistencia}} \rightarrow \text{corriente} = \frac{5 \text{ V}}{5000 \Omega} = 1 \text{ mA} \quad (11)$$

Por tanto, el consumo de ambos potenciómetros es de 2 mA en total, ya que ambos tienen el mismo valor de resistencia entre sus extremos.

## 11. Conclusiones

En este proyecto surgió la necesidad de crear un nuevo sistema de bloqueo de los sensores ADAS, ya que el sistema actual no es del todo eficiente para que los ensayos se realicen como se espera. En concreto, el sistema debe centrarse en el bloqueo de los sensores radar y de visión que llevan incorporados los vehículos en su parte delantera, tras la parrilla o parachoques delantero, y en el retrovisor central.

Para llevar a cabo este sistema, se ha utilizado un microcontrolador Atmega328P, con el que ya se ha interactuado previamente en alguna asignatura de la universidad, y con el cual ya se estaba familiarizado. Por este motivo, el entorno de programación utilizado para el microcontrolador ha sido el programa [Microchip Studio\[5\]](#), el cual se puede instalar de manera gratuita desde su página web.

Con el sistema terminado y con todos los periféricos correctamente añadidos al conjunto global del sistema de bloqueo de los sensores ADAS, se puede afirmar que el sistema cumple con las especificaciones iniciales planteadas para solucionar las carencias del sistema de bloqueo actual. Se ha conseguido un sistema innovador y automatizado, donde el conductor del vehículo que realiza el ensayo tiene el control absoluto del sistema gracias a la caja de mandos incorporada. El nuevo sistema permite ajustar el porcentaje de bloqueo del campo de visión del sensor, así como la velocidad de obstrucción del actuador. Estos ajustes no eran posibles con el sistema antiguo, ya que solo permitía una obstrucción del 100% del sensor.

El movimiento del sistema obstructor del nuevo sistema es mucho más eficiente que el del antiguo, ya que, al tratarse de un movimiento lineal, permite ubicar el sistema en paralelo a la ubicación del sensor. De este modo, en el caso del sistema de bloqueo para la cámara de visión, se consigue obstruir mejor el paso de luz hacia el sensor, que era el principal inconveniente del sistema actual.

La flexibilidad de la estructura del sistema obstructor permite adaptarse mejor a distintos tipos de vehículos para tapar el sensor radar. En el sistema antiguo, el principal inconveniente era la ubicación del radar en cada vehículo y cómo podía sujetarse el sistema en distintas superficies para asegurar la obstrucción del sensor. Con la nueva estructura, se puede asegurar con mayor certeza que en la mayoría de los vehículos el sensor quedará bloqueado con el porcentaje especificado según la caja de control.

Otro aspecto destacado del sistema desarrollado es la incorporación de la pantalla LCD. La inclusión de la pantalla proporciona al conductor del vehículo información relevante del sistema en todo momento, facilitando el control del ensayo. En cualquier instante, se puede conocer la posición del motor o el porcentaje de obstrucción que se está aplicando al sensor.

Por todo lo mencionado anteriormente, se puede asegurar que el sistema desarrollado cubre la necesidad de mejorar el sistema de bloqueo de los sensores ADAS actual.

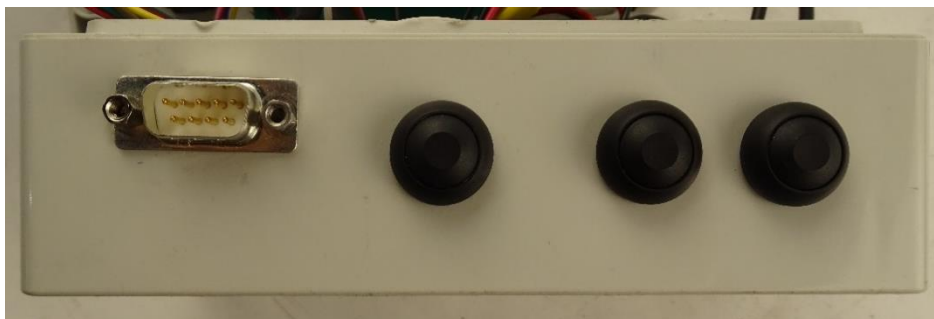
Debido a la confidencialidad de este documento, se presentan únicamente las imágenes de la caja de control, omitiendo las de la estructura del sistema obstructor.

## Conclusiones

Esto se debe a que el diseño y anclaje de dicha estructura al vehículo han sido desarrollados desde cero en colaboración con el equipo de ADAS de Applus+ IDIADA. Tras múltiples prototipos y modificaciones, se ha logrado una estructura que cumple perfectamente con los requisitos iniciales, haciendo de este sistema algo único en comparación con los de otras empresas de ensayos de sensores ADAS.



**Figura 53.** Vista frontal de la caja de control



**Figura 54.** Vista superior de la caja de control

## 12. Propuestas de mejora

Como propuestas de mejora para el futuro, se plantean varias ideas. La primera de ellas es la posibilidad de realizar un control automático del sistema, eliminando la necesidad de utilizar un pulsador para obstruir o liberar el sensor. Esto se haría controlando la velocidad actual a la que circula el vehículo. El principal desafío es detectar cuándo el vehículo ha alcanzado la velocidad de ensayo deseada. No interesa que el sistema se active en caso de detectar que el vehículo circula a velocidad constante si no es la velocidad especificada para el ensayo. Para dar solución a esto, se podría incorporar un potenciómetro o una entrada analógica que especifique la velocidad deseada para el ensayo. De esta forma, el sistema sabría que no debe activarse hasta que la velocidad del vehículo se acerque a la velocidad de ensayo especificada. Una vez alcanzada esta velocidad de ensayo deseada, el sistema se activaría y desactivaría automáticamente al cabo de cierto tiempo especificado en el código.

Además de esta propuesta de mejora, se plantean otras distintas. Como puede ser la implementación de dos sistemas de bloqueo de los sensores de radar y visión por separado. Esto permitiría montar ambos sistemas simultáneamente en el vehículo, evitando la necesidad de desmontar el sistema de uno de los sensores para adaptarlo al otro y realizar un nuevo ensayo. Una solución sería desarrollar una estructura similar a la actual, pero con dos sistemas independientes que funcionen de la misma manera, utilizando el mismo programa de control. Se podría incluir un nuevo interruptor para seleccionar qué motor se desea actuar, el que obstruirá el sensor radar o el que obstruirá el sensor de visión. El programa sería el mismo, pero teniendo en cuenta la posición de del interruptor, se especificaría internamente que actúe sobre unas salidas u otras. Por ello se necesitarían cuatro conexiones adicionales desde la Xplained Mini hacia un nuevo controlador destinado al nuevo motor. De esta forma, el interruptor dirigiría los pulsos generados en el programa hacia un motor u otro.

### **13. Agradecimientos**

Este apartado está dedicado a todas las personas que, gracias a su ayuda e implicación, han hecho posible que este trabajo se haya realizado satisfactoriamente, cumpliendo con las expectativas planteadas al inicio.

Agradezco a la empresa Applus+ IDIADA por brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de final de grado en colaboración con uno de sus proyectos como ha sido la mejora del sistema de ensayo de bloqueo de sensores ADAS.

A Alvaro Esquer Molina, por ser mi tutor dentro de la empresa, ofrecerme apoyo en todos los ámbitos y facilitarme los medios necesarios para el desarrollo del proyecto. Además, agradezco sus aportaciones de calidad y profesionalidad para el desarrollo del sistema e integración de funciones innovadoras para el nuevo sistema.

También me gustaría agradecer la plena colaboración en el desarrollo mecánico de la estructura del sistema por parte de Alvaro Rubias Anaya y todos sus compañeros del taller mecánico del departamento de ADAS. Sin su ayuda para facilitarme los materiales necesarios, herramientas, lugares de trabajo y su tiempo, este proyecto no hubiera sido posible.

Por último, quiero agradecer a mi tutor académico Esteban Del Castillo Pérez, por su ayuda en todo momento en el planteamiento inicial del proyecto. Aprecio su valoración y análisis de las ideas principales antes de comenzar con el proyecto, comprobando su viabilidad y corrigiendo los aspectos débiles. Agradezco también su supervisión continua, sus respuestas a mis dudas y sus comentarios para mejorar el documento escrito del proyecto.

## **14. Bibliografía**

Esteban del Castillo, Control de procesos : implementación de una plataforma hardware/software para la experimentación en control digital directo: controladores PID y Fuzzy, Publicaciones Universidad Rovira i Virgili, 2014

## 15. Webgrafía

<https://www.euroncap.com/en> [consulta] 8/02/2024

<https://es.rs-online.com/web/> [consulta] 26/02/2024

[https://www.miravia.es/?spm=euspain.searchlist.public\\_header.dmiravia\\_logo.50a254fexv08Jz](https://www.miravia.es/?spm=euspain.searchlist.public_header.dmiravia_logo.50a254fexv08Jz) [consulta] 26/02/2024

<https://proyectosconarduino.com/modulos/motor-driver-1298n/> [consulta] 26/02/2024

<https://www.amazon.es/> [consulta] 26/02/2024

<https://www.electrocomponentes.es/> [consulta] 28/02/2024

<https://www.dfrobot.com/> [consulta] 28/02/2024

<https://kaimexindustrial.com/> [consulta] 29/02/2024

<https://www.luisllamas.es/arduino-motor-corriente-continua-1298n/> [consulta] 29/02/2024

<https://www.makerguides.com/es/1298n-stepper-motor-arduino-tutorial/> [consulta] 29/02/2024

<https://www.manomano.es/> [consulta] 4/03/2024

[Diagrama eléctrico en línea -Create Electrical con plantillas | Aplicación eléctrica de dibujo gratuito \(aspose.app\)](#) [consulta] 20/03/2024

<https://www.hwlibre.com/resistencia-pull-down-pull-up/> [consulta] 21/03/2024

[Empowering Innovation | Microchip Technology](#) [consulta] 21/03/2024

<https://hetpro-store.com/TUTORIALES/i2c/> [consulta] 17/04/2024

<https://www.hwlibre.com/28byj-48/> [consulta] 18/04/2024

[28BYJ-48 5V Stepper Motor: 28BYJ-48 Datasheet, Pinout, Wiring \(utmel.com\)](#) [consulta] 22/04/2024

<https://www.applusiada.com/global/es/> [consulta] 22/04/2024

[Editor de Imágenes Online Gratuito - ResizePixel](#) [consulta] 7/05/2024

Hoja de datos de pantalla LCD: [I2C\\_2004\\_LCD.pdf \(handsontec.com\)](#) [consulta] 7/05/2024

Hoja de datos del Atmega328P: [ATmega48A](#), [ATmega48PA](#), [ATmega88A](#), [ATmega88PA](#), [ATmega168A](#), [ATmega1688PA](#), [ATmega328](#), [ATmega328P datasheet \(microchip.com\)](#) [consulta] 7/05/2024

Hoja de datos de la caja de control: [A700000007520022.pdf \(rs-online.com\)](#) [consulta] 7/05/2024

Hoja de datos de los conectores lemo: [Unipole Multipole catalog \(rs-online.com\)](#) [consulta] 7/05/2024

Hoja de datos de la cremallera: [0900766b816aed3f.pdf \(rs-online.com\)](#) [consulta] 7/05/2024

Hoja de datos del interruptor: [0900766b813cca93.pdf \(rs-online.com\)](#) [consulta] 7/05/2024

Hoja de datos de los potenciómetros: [0900766b813ed24b.pdf \(rs-online.com\)](#) [consulta] 7/05/2024

## Webgrafía

<https://www.taloselectronics.com/blogs/tutoriales/modulo-can-mcp2515> [consulta] 22/05/2024

[Para todas tus vidas, coches.net. Campaña 2024 \(youtube.com\)](#) [consulta] 22/05/2024

[Materiales radar absorbentes - Soliani EMC](#) [consulta] 23/05/2024

[Bus CAN - Wikipedia, la enciclopedia libre](#) [consulta] 23/05/2024

[Protocolo can bus: qué es y cómo funciona - Advantecnia](#) [consulta] 23/05/2024

["Convierte tu Arduino en una MÁQUINA DE COMUNICACIÓN con este tutorial imperdible" \(topelectric.es\)](#) [consulta] 24/05/2024

Hoja de datos de los pulsadores: <https://docs.rs-online.com/be6b/A700000007944994.pdf> [consulta] 23/05/2024

Hoja de datos de conector D-sub nueve pines: <https://docs.rs-online.com/8a6e/A700000007658210.pdf> [consulta] 23/05/2024

Hoja de datos del cable sub-D hembra a hembra nueve pines: <https://docs.rs-online.com/a334/0900766b816da3a0.pdf> [consulta] 23/05/2024

Hoja de datos del controlador CAN MCP2515: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP2515-Stand-Alone-CAN-Controller-with-SPI-20001801J.pdf> [consulta] 23/05/2024

[Tutorial CAN de Arduino - Módulo MCP2515 CAN BUS de interfaz con Arduino - EcuRobot](#) [consulta] 24/05/2024

[Publications by department \(urv.cat\)](#) [consulta] 05/06/2024

## 16. Anexos

### Anexo I: Programa principal Sistema de Bloqueo sensores ADAS

Debido a motivos de confidencialidad y para evitar problemas de plagio y asegurar que este sistema sea único en comparación con otros sistemas de obstrucción de sensores ADAS de empresas como Applus+ IDIADA, se ha decidido omitir el código de programación desarrollado desde cero.

### Anexo II: Funciones utilizadas de la librería mcp2515.h

```
#include <stdint.h>

//definición de los pines del controlador CAN MCP2515
#define MCP2515_CS_PIN    PB2 // Pin de Chip Select del MCP2515
#define MCP2515_MOSI_PIN PB3 // Pin MOSI de la interfaz SPI
#define MCP2515_MISO_PIN PB4 // Pin MISO de la interfaz SPI
#define MCP2515_SCK_PIN  PB5 // Pin SCK de la interfaz SPI

//definición de los puertos correspondientes
#define MCP2515_CS_PORT  PORTB
#define MCP2515_MOSI_PORT PORTB
#define MCP2515_MISO_PORT PORTB
#define MCP2515_SCK_PORT PORTB
//#define MCP2515_INT_PIN PD2 //definimos el pin INT del controlador
CAN

//definición de los registros del MCP2515
#define MCP_RXF0SIDH    0x00
#define MCP_RXM0SIDH    0x20 // Registro de máscara de recepción 0
#define MCP_TXB0CTRL    0x30
#define MCP_TXB0SIDH    0x31
#define MCP_CNF1        0x28 // Registro de configuración 1
#define TXREQ_TX0      0x08 // Bit de solicitud de envío para el
buffer de transmisión 0

//definición de los modos de operación
#define MODE_NORMAL     0x00
#define MODE_SLEEP      0x01
#define MODE_LOOPBACK   0x02
#define MODE_LISTEN     0x03
#define MODE_CONFIG     0x04

//definición de los comandos del MCP2515
#define MCP_RESET       0xC0 // Comando de reset del MCP2515
#define MCP_READ        0x03 // Comando de lectura
#define MCP_WRITE       0x02 // Comando de escritura
#define MCP_RTS         0x80 // Comando de solicitud de envío
#define MCP_READ_STATUS 0xA0 // Comando de lectura de estado
#define MCP_RX_STATUS   0xB0 // Comando de lectura de estado de
recepción
#define MCP_BIT_MODIFY  0x05 // Comando de modificación de bits
#define MCP_LOAD_TX_BUFFER 0x40 // Comando de carga del buffer
transmisión
```

## Anexos

```
#define MCP_READ_RX_BUFFER 0x90 // Comando de lectura del buffer
recepción
#define MCP_READ_RX_BUFFER_EXT 0x94 // lectura buffer recepción
extendido
#define MCP_LOAD_TX_BUFFER_EXT 0x41 // carga buffer transmisión
extendido
#define MCP_READ_RX      0x90 // Comando de lectura del buffer
recepción
#define MCP_CANSTAT      0x0E
#define MCP_CANCTRL      0x0F
#define MCP_TEC          0x1C
#define MCP_REC          0x1D

//definición de las velocidades de bus CAN
#define CAN_5KBPS        0x01
#define CAN_10KBPS       0x02
#define CAN_20KBPS       0x03
#define CAN_31K25BPS     0x04
#define CAN_40KBPS       0x05
#define CAN_50KBPS       0x06
#define CAN_80KBPS       0x07
#define CAN_100KBPS      0x08
#define CAN_125KBPS      0x09
#define CAN_200KBPS      0x0A
#define CAN_250KBPS      0x0B
#define CAN_500KBPS      0x0C
#define CAN_1000KBPS     0x0D
////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////////////////////////////////////////////////////

//funciones para el control del módulo CAN MCP2515
////////////////////////////////////////////////////////////////
//código para transmitir un byte a través de la interfaz SPI
void SPI_transmit(uint8_t data)
{
    SPDR = data;
    while (!(SPSR & (1 << SPIF)));
}

////////////////////////////////////////////////////////////////
//código para recibir un byte a través de la interfaz SPI
uint8_t SPI_receive(void)
{
    SPDR = 0xFF;
    while (!(SPSR & (1 << SPIF)));
    return SPDR;
}

////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////////////////////////////////////////////////////
void mcp2515_reset(void)
{
    MCP2515_CS_PORT &= ~(1 << MCP2515_CS_PIN); //seleccionar el chip
MCP2515
    SPI_transmit(MCP_RESET); //enviar el comando de reset
    MCP2515_CS_PORT |= (1 << MCP2515_CS_PIN); //deseleccionar el chip
MCP2515
    _delay_ms(10); //esperar un tiempo después del reset
}
////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////////////////////////////////////////////////////
```

## Anexos

```
////////////////////////////////////
void mcp2515_set_mode(uint8_t mode)
{
    MCP2515_CS_PORT &= ~(1 << MCP2515_CS_PIN); //seleccionar el chip
MCP2515
    //enviar el comando de configuración de modo
    SPI_transmit(MCP_WRITE);
    SPI_transmit(MCP_CANCTRL);
    SPI_transmit(mode);
    MCP2515_CS_PORT |= (1 << MCP2515_CS_PIN); //deseleccionar el chip
MCP2515
}
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
void mcp2515_set_baudrate(uint8_t baudrate)
{
    MCP2515_CS_PORT &= ~(1 << MCP2515_CS_PIN); //seleccionar el chip
MCP2515
    //enviar el comando de configuración de velocidad de bus
    SPI_transmit(MCP_WRITE);
    SPI_transmit(MCP_CNF1);
    SPI_transmit(baudrate);
    MCP2515_CS_PORT |= (1 << MCP2515_CS_PIN); //deseleccionar el chip
MCP2515
}
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
void mcp2515_load_tx_buffer(uint8_t num, uint32_t id, uint8_t *data,
uint8_t len)
{
    MCP2515_CS_PORT &= ~(1 << MCP2515_CS_PIN); //seleccionar el chip
MCP2515
    //enviar el comando de carga del buffer de transmisión
    SPI_transmit(MCP_WRITE);
    SPI_transmit(MCP_TXB0SIDH + (num * 0x10));
    //enviar el ID del mensaje
    SPI_transmit((id >> 21) & 0xFF);
    SPI_transmit((id >> 13) & 0xFF);
    SPI_transmit((id >> 5) & 0xFF);
    SPI_transmit((id << 3) & 0xFF);
    for (uint8_t i = 0; i < len; i++) //enviar los datos del mensaje
    {
        SPI_transmit(data[i]);
    }
    MCP2515_CS_PORT |= (1 << MCP2515_CS_PIN); //deseleccionar el chip
MCP2515
}
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
void mcp2515_set_filter(uint8_t num, uint32_t id, uint32_t mask)
{
    MCP2515_CS_PORT &= ~(1 << MCP2515_CS_PIN); //seleccionar el chip
MCP2515
    SPI_transmit(MCP_WRITE); //enviar el comando de escritura (0x02)
    //calcular los registros a escribir según el número de filtro
    uint8_t filter_sidh = (num * 4) + MCP_RXF0SIDH;
    uint8_t filter_sidl = filter_sidh + 1;
    uint8_t filter_eid8 = filter_sidl + 1;
    uint8_t filter_eid0 = filter_eid8 + 1;
    //escribir el ID del filtro
    SPI_transmit(filter_sidh);
}
```

```

    SPI_transmit((id >> 21) & 0xFF);
    SPI_transmit(filter_sid1);
    SPI_transmit(((id >> 13) & 0xE0) | ((id >> 16) & 0x03));
    SPI_transmit(filter_eid8);
    SPI_transmit((id >> 8) & 0xFF);
    SPI_transmit(filter_eid0);
    SPI_transmit(id & 0xFF);
    //escribir la máscara del filtro
    SPI_transmit((num * 4) + MCP_RXMOSIDH);
    SPI_transmit((mask >> 21) & 0xFF);
    SPI_transmit((mask >> 13) & 0xE0);
    SPI_transmit((mask >> 16) & 0x03);
    SPI_transmit((mask >> 8) & 0xFF);
    SPI_transmit(mask & 0xFF);
    //deseleccionar el chip MCP2515
    MCP2515_CS_PORT |= (1 << MCP2515_CS_PIN);
}
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
void mcp2515_set_mask(uint8_t num, uint32_t mask)
{
    MCP2515_CS_PORT &= ~(1 << MCP2515_CS_PIN); //seleccionar el chip
MCP2515
    SPI_transmit(MCP_WRITE); //enviar el comando de escritura (0x02)
    //calcular los registros a escribir según el número de máscara
    uint8_t mask_sidh = (num * 4) + MCP_RXMOSIDH;
    uint8_t mask_sidl = mask_sidh + 1;
    uint8_t mask_eid8 = mask_sidl + 1;
    uint8_t mask_eid0 = mask_eid8 + 1;
    //escribir la máscara
    SPI_transmit(mask_sidh);
    SPI_transmit((mask >> 21) & 0xFF);
    SPI_transmit(mask_sidl);
    SPI_transmit(((mask >> 13) & 0xE0) | ((mask >> 16) & 0x03));
    SPI_transmit(mask_eid8);
    SPI_transmit((mask >> 8) & 0xFF);
    SPI_transmit(mask_eid0);
    SPI_transmit(mask & 0xFF);
    //deseleccionar el chip MCP2515
    MCP2515_CS_PORT |= (1 << MCP2515_CS_PIN);
}
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
void mcp2515_request_to_send(uint8_t tx_buffer)
{
    MCP2515_CS_PORT &= ~(1 << MCP2515_CS_PIN); //seleccionar el chip
MCP2515
    SPI_transmit(MCP_RTS | tx_buffer); //enviar el comando de
solicitud de envío
    MCP2515_CS_PORT |= (1 << MCP2515_CS_PIN); //deseleccionar el chip
MCP2515
}

```

**Anexo III: Librería pantallaLCD.h**

```

#ifndef PANTALLALCD_H_
#define PANTALLALCD_H_

#define F_CPU 16000000UL
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

//*****
// CONFIGURACIÓN DE LOS PINES DE INTERFAZ
//*****

/* Define el puerto a donde se conectará el BUS de datos del LCD
 * Se utilizará el nivel alto del puerto escogido (ejem. PB4-
DB4, ..., PB7-DB7) */
#define LCD_DATA_OUT PORTD // Registro PORTx del puerto
#define LCD_DATA_DDR DDRD // Registro DDRx del puerto

/* Define el puerto a donde se conectarán las líneas de control
del LCD
 * EN y RS (Puede ser el mismo puerto del BUS de datos) */
#define LCD_CTRL_OUT PORTD // Registro PORT del puerto
#define LCD_CTRL_DDR DDRD // Registro DDR del puerto

//Define los numeros de bits a donde se conectará el modulo LCD
#define RS 3 // Pin Register Select
#define EN 2 // Pin Enable
#define D4 4 //define el pin del MCU conectado LCD D4
#define D5 5 //define el pin del MCU conectado LCD D5
#define D6 6 //define el pin del MCU conectado LCD D6
#define D7 7 //define el pin del MCU conectado LCD D7

//Prototipo de funciones
void Lcd_Port(unsigned char a);
void Lcd_Cmd(unsigned char a);
void Lcd_Init( void );
void Lcd_Clear( void );
void Lcd_Set_Cursor(unsigned char a, unsigned char b);
void Lcd_Write_Char(char a);
void Lcd_Write_String(char *a);
void Lcd_Shift_Right( void );
void Lcd_Shift_Left( void );

//////////__Desarrollo de las funciones__//////////
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
//función para asignar los puertos de datos
void Lcd_Port(unsigned char a)
{
    if(a & 1)
        //D4 = 1;
        LCD_DATA_OUT |= (1<<D4);
    else
        //D4 = 0;
        LCD_DATA_OUT &= ~(1<<D4);
    if(a & 2)
        //D5 = 1;
        LCD_DATA_OUT |= (1<<D5);
    else

```

Anexos

```

        //D5 = 0;
        LCD_DATA_OUT &= ~(1<<D5);
        if(a & 4)
        //D6 = 1;
        LCD_DATA_OUT |= (1<<D6);
        else
        //D6 = 0;
        LCD_DATA_OUT &= ~(1<<D6);
        if(a & 8)
        //D7 = 1;
        LCD_DATA_OUT |= (1<<D7);
        else
        //D7 = 0;
        LCD_DATA_OUT &= ~(1<<D7);
    }
}
//función para mandar comandos a la pantalla
void Lcd_Cmd(unsigned char a)
{
    LCD_CTRL_OUT &= ~(1<<RS); // => RS = 0
    Lcd_Port(a);
    LCD_CTRL_OUT |= (1<<EN); // => EN = 1
    _delay_ms(4);
    LCD_CTRL_OUT &= ~(1<<EN); // => EN = 0
}
//función para iniciar la pantalla
void Lcd_Init( void )
{
    /* Configurar las direcciones de los pines de interface del
LCD */
    LCD_DATA_DDR |= 0xF0; //se configuran los pines del BUS de
datos del LCD como salida
    LCD_CTRL_DDR |= (1<<EN)|(1<<RS); //se configuran los pines
de control del LCD como salida

    Lcd_Port(0x00);
    _delay_ms(20);
    Lcd_Cmd(0x03);
    _delay_ms(5);
    Lcd_Cmd(0x03);
    _delay_ms(11);
    Lcd_Cmd(0x03);
    //////////////////////////////////////
    Lcd_Cmd(0x02);
    Lcd_Cmd(0x02);
    Lcd_Cmd(0x08);
    Lcd_Cmd(0x00);
    Lcd_Cmd(0x0C);
    Lcd_Cmd(0x00);
    Lcd_Cmd(0x06);
}
//función para limpiar la pantalla
void Lcd_Clear( void )
{
    Lcd_Cmd(0);
    Lcd_Cmd(1);
}

```

```
}
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//función para posicionar el cursor de la pantalla
void Lcd_Set_Cursor(unsigned char a, unsigned char b)
{
    char temp, z, y;
    if(b < 1 || b > 20) return; // columna inválida
    if(a < 1 || a > 4) return; // fila inválida
    if(a == 1)
    {
        temp = 0x80 + b - 1;
        z = temp>>4;
        y = temp & 0x0F;
        Lcd_Cmd(z);
        Lcd_Cmd(y);
    }
    else if(a == 2)
    {
        temp = 0xC0 + b - 1;
        z = temp>>4;
        y = temp & 0x0F;
        Lcd_Cmd(z);
        Lcd_Cmd(y);
    }
    else if(a == 3)
    {
        temp = 0x94 + b - 1;
        z = temp>>4;
        y = temp & 0x0F;
        Lcd_Cmd(z);
        Lcd_Cmd(y);
    }
    else if(a == 4)
    {
        temp = 0xD4 + b - 1;
        z = temp>>4;
        y = temp & 0x0F;
        Lcd_Cmd(z);
        Lcd_Cmd(y);
    }
}
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//función para imprimir un carácter en la pantalla
void Lcd_Write_Char(char a)
{
    char temp, y;
    temp = a&0x0F;
    y = a&0xF0;
    LCD_CTRL_OUT |= (1<<RS); // => RS = 1
    Lcd_Port(y>>4);          //Transferencia de datos (formato
4 bits)

    LCD_CTRL_OUT |= (1<<EN); // => EN = 1
    _delay_us(40);
    LCD_CTRL_OUT &= ~(1<<EN); // => EN = 0
    Lcd_Port(temp);          //Transferencia de datos (formato
4 bits)

    LCD_CTRL_OUT |= (1<<EN); // => EN = 1
    _delay_us(40);
    LCD_CTRL_OUT &= ~(1<<EN); // => EN = 0
}
```

## Anexos

```
    }
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////
    //función para imprimir un String (cadena) en la pantalla
    void Lcd_Write_String(char *a)
    {
        int i;
        for(i=0;a[i]!='\0';i++)
            Lcd_Write_Char(a[i]);
    }
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////
    //función para desplazar texto a la derecha
    void Lcd_Shift_Right( void )
    {
        Lcd_Cmd(0x01);
        Lcd_Cmd(0x0C);
    }
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////
    //función para desplazar texto a la izquierda
    void Lcd_Shift_Left( void )
    {
        Lcd_Cmd(0x01);
        Lcd_Cmd(0x08);
    }

#endif /* PANTALLALCD_H_ */
```

## Referencias

[1]<https://www.euroncap.com/media/79868/tb-041-ad-sensor-blocking-v20.pdf> [consulta] 8/02/2024

[2] [Microsoft Word - 28BYJ-48 Stepper Motor.docx \(mouser.com\)](#) [consulta] 22/05/2024

[3]<https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/MCU08/ProductDocuments/UserGuides/ATmega328P-Xplained-Mini-UG-DS50002659B.pdf> [consulta] 21/03/2024

[4][Diagrama eléctrico en línea -Create Electrical con plantillas | Aplicación eléctrica de dibujo gratuito \(aspose.app\)](#) [consulta] 20/03/2024

[5] <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/develop/microchip-studio> [consulta] 23/05/2024