

**JUAN ANTONIO FERNÁNDEZ DEL CAMPO**

Premio internacional  
**A LA INNOVACIÓN EN CARRETERAS**

Texto completo

**Active Cyclist Detection.**

**Autores:**

**Raúl Gómez.** Insegsa (España).

**Sergio Mena.** Insegsa (España).

ÍNDICE DE LA MEMORIA DESCRIPTIVA

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.	BASE DE LA INVESTIGACIÓN DEL PROYECTO I+D+i. ....	3
3.	ANTECEDENTES DE LA INVENCION.....	6
4.	DESARROLLO DEL PROTOTIPO.....	6
4.1	Componentes y características técnicas con detección mediante sensores.....	10
4.2	Esquema electrónico del “Prototipo” .....	15
4.3	Programación mediante Arduino .....	16
4.4	Resultados extraídos del prototipo.....	17
4.5	Conclusiones extraídas de la fase de prototipado .....	20
5.	DESARROLLO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL. ....	21
5.1	Componentes y características técnicas con detección mediante IA .....	24
5.2	Programación para IA.....	26
5.3	Esquema electrónico con la IA.....	31
5.4	Programación combinada Arduino & IA .....	31
5.5	Resultados extraídos por detección mediante IA.....	32
6.	DESARROLLO Y RESULTADOS DE LA PRUEBA PILOTO CON LA IMPLEMENTACIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL. ....	34
7.	FASE ACTUAL DEL PROYECTO I+D+i. ....	35
8.	OBJETIVOS DEL PROYECTO I+D+i. ....	35
9.	RESULTADOS PRUEBA PILOTO .....	36
10.	IMPACTO SOCIAL .....	37
11.	ASPECTOS ECONÓMICOS.....	39
12.	DESARROLLO DE OTROS PROGRAMAS DE INNOVACIÓN VINCULADOS A ACTIVE CYCLIST DETECTION.....	39
13.	REFERENCIA A LOS PLANOS DEL PROYECTO I+D+i. ....	40
14.	PLANOS.....	42

## **MEMORIA DESCRIPTIVA**

### **1. INTRODUCCIÓN.**

La justificación del proyecto “**Active Cyclist Detection**” se sustenta en el interés social. Es un proyecto con el que se pretende **resolver la siniestralidad de los ciclistas y salvar vidas en cualquier tipo de carretera**, tanto con arcén como sin él, urbana como interurbana, que por sus características o porque así lo decida la titularidad, se quiera: **mejorar la seguridad vial y reducir la siniestralidad de los ciclistas**. Para alcanzar estas dos premisas, convertidas en objetivos claves para este proyecto I+D+i, previo a desarrollar el proyecto se realizó un análisis del equipamiento de las carreteras, se estudió el comportamiento del tráfico y también se analizaron las opiniones y experiencia de los ciclistas de la región extremeña; extrayéndose unos resultados, en primera instancia, muy claros, que podrían quedar sintetizados a que “***no se puede poner PUERTAS AL CAMPO***” (como hacen los carriles-bici) y que “***URGE tomar medidas adaptadas a las necesidades reales de los ciclistas***”.

Otra premisa, con la que se partía, se centraba en los entes que tenían la capacidad de mejorar la situación del binomio inseparable VEHICULO-BICICLETA, como son los titulares y gestores de las carreteras, es decir, las Administraciones Públicas (en adelante AA.PP.) del tipo Diputaciones y Entidades Locales, CC.AA. y Ministerios (MITMA e Interior) principalmente; debiendo ser, especialmente relevante para las Administraciones, que el nuevo sistema I+D+i tuviera la condición de ser novedoso, adaptado a la vía, de bajo coste y rentable (mínimo mantenimiento).

A estos requisitos, además, el **sistema innovador** debía de tener por base 3 **medidas de acción** que se simplifican en: ***suplir las necesidades del equipamiento de las carreteras, rescatar la atención de los conductores y mejorar el binomio inseparable vehículo-ciclista***; exigiéndose, en consecuencia, un **producto de formato preventivo**, con capacidad de captar la atención de forma activa (equipo activado por el paso del ciclista) y pasiva (equipo no activado), y, por tanto, el diseño de rutas ciclistas seguras. Estas medidas de acción, nada fáciles de conseguir, pero imprescindibles para alcanzar los objetivos, bajo la hipótesis de partida, debían de tener la capacidad de conseguir los dos objetivos marcados: MEJORAR LA SEGURIDAD VIAL y, por ende, REDUCIR LA SINIESTRALIDAD DE LOS CICLISTAS.

### **2. BASE DE LA INVESTIGACIÓN DEL PROYECTO I+D+i.**

Anualmente la DGT informa, en abierto, de los atropellos de ciclistas por vehículos usuarios de las vías; destacando, especialmente para el proyecto I+D+i, los atropellos con resultado mortal para el ciclista en tramo interurbanos. Recabados estos datos, se comprueba, una vez analiza la evolución de la

**siniestralidad de los ciclistas fallecidos por atropello**, desde el año 93 hasta el 2017 (último año con datos para desarrollar nuestro proyecto I+D, y donde cabe destacar que, hasta la actualidad, apenas ha habido cambios), que en el año 2008 se genera un punto de inflexión, en el descenso de los siniestros mortales de ciclistas en carretera, con un ligero repunte al alza hasta llegar al año 2017 con 49 ciclistas muertos en carretera; resultando también llamativo que la incidencia media de ciclistas atropellados, en tramos interurbanos, en este periodo, era mayor al doble respecto a las víctimas sucumbidas en tramos urbanos.



Figura 1: evolución de los ciclistas fallecidos por atropello en vías urbanas e interurbanas. DGT

Comprobándose, en este ligero repunte, que la siniestralidad se produce pese a que la propia **DGT** no para impulsar **medidas de acción para tratar de controlar la siniestralidad** de los ciclistas, con elementos como: carriles especiales para ciclistas, temporización de los semáforos, bolardos especiales, etc.

Por otra parte, se analiza la **evolución del uso de la bicicleta**, a partir de datos extraídos desde los motores de búsqueda de internet, verificándose una encuesta oficial, realizada por la OCU en el año 2014, sobre el uso de la bicicleta, en la que este Organismo ya manifestaba que la bicicleta era el medio de transporte más habitual para 1 de cada 5 españoles; existiendo, además, en determinadas ciudades del Norte y Este de España (Bilbao, Zaragoza o Valencia), en la que se declara que el uso de bicicleta se extendía a 1 de cada 2 habitantes.

Además, también resultaría interesante analizar y valorar las **noticias de la prensa** sobre la siniestralidad de los ciclistas; siendo significativo que todos los meses, o la mayoría de los mismos, se generaban noticias relacionadas con atropellos de ciclistas por vehículos, donde, en la mayoría de los

casos, la tragedia era un elemento común. En este análisis, se comprueba la existencia de artículos interesantes, como el que se registra en el periódico regional HOY de Extremadura (véase noticia digital HOY, de 9 de septiembre de 2018, J. PEREZ-LAGO), donde la prensa hace eco del riesgo que supone para los ciclistas realizar esta práctica en las carreteras extremeñas. En esta noticia, se señalan entrevistas a miembros de diversos Cicloclub, de la provincia de Badajoz, con información muy interesante sobre la **opinión de los ciclistas**; poniéndose de manifiesto que *“la mayoría de los ciclistas tienen anécdotas desagradables con el tráfico, además de algún que otro incidente”*. También es significativo conocer cómo, a juicio de los entrevistados, de los ciclistas, se considera que *“la mayoría de los accidentes atienden a posibles DESPISTES del conductor”*; valorándose, en menor medida, que el accidente haya sido provocado por una negligencia del propio ciclista. Además, al objeto de contrastar esta información, se efectúa un sondeo de campo, a través de entrevistas en formato abierto, realizadas directamente por el equipo de INSEGSA ingeniería preventiva SL, a clubes ciclistas de la región extremeña, que tuvo la colaboración de integrantes de 15 asociaciones ciclistas de la región, para llegar a las conclusiones que *“la mayoría ha sufrido incidentes con el tráfico”, “les gusta rodar por carreteras abiertas vinculadas a la naturaleza, al paisaje; no dando uso a los carriles bici”* y *“el equipamiento de las carreteras apenas cuentan con medidas eficaces de prevención y defensa para los ciclistas”*

Uno de los datos extraídos de estas entrevistas, como es la del DESPITE del conductor, carga de especial evidencia cuando se relaciona con **otro tipo de atropellos en carretera**, y, a modo de ejemplo, están los accidentes sufridos por los trabajadores de conservación y explotación de carreteras. Hay una **Tesis Doctoral** (González Lourtau, M. 2015. *Factores determinantes del riesgo de atropello en trabajadores de conservación y explotación de la Red de Carreteras del Estado*) en la que se declara que los accidentes mortales por atropello, en tramo interurbano, para estos trabajadores de conservación y explotación de carreteras, es del 86,66% en el periodo de análisis, y se considera como presunto causante al conductor; determinándose el factor “Distracción” el más probable, y causa principal del atropello mortal, con un 54.16%. A esta causa principal también se suma el “Cansancio o sueño”, la “Velocidad inadecuada” y la “infracción de normas”, para alcanzar, con un 85% la declaración de que el tráfico -vehículo usuario- es el presunto causante del atropello.

**Analizados estos 4 parámetros**, como son: la evolución de la siniestralidad de los atropellos mortales a los ciclistas según la DGT; la evolución del uso de la bicicleta según la OCU; las opiniones y experiencias de los ciclistas a través de entrevistas directas y de datos extraídos de la prensa; y las analogías de los atropellos según la Tesis Doctoral sobre la siniestralidad en conservación y explotación de carreteras; **surge la iniciativa de plantear y lanzar al mercado un equipo innovador**. Un equipo basado en captar la atención de aquellos conductores que bien por conducción rutinaria o por distracción al frente del volante pudieran tener reducidas sus facultades sensoriales; adaptándonos, además, a las necesidades reales que demandan los ciclistas.

### 3. ANTECEDENTES DE LA INVENCION.

Antes de plantear cual podría ser el sistema o elemento clave que aunara o pudiera adaptarse a los parámetros investigados, y que fueran eficaces desde el punto de vista de la seguridad vial y de la protección de los ciclistas, se efectúa, a través de los motores de búsqueda de internet, un exhaustivo trabajo de rastreo y chequeo de cualquier dispositivo, sistema, medio, medida o equipo que, de forma parcial o total, pudiera existir en el mercado, prioritariamente nacional y europeo, y en menor medida a nivel mundial; concluyéndose que **no existía nada en mercado actual que tuviera por base las condiciones estudiadas para favorecer la práctica del ciclismo.**

Contextualizado el producto I+D+i que se pretendía definir, se comprueba que había surgido una prueba piloto, realizada por la propia DGT en España, en la que, que se centraba en la protección de ciclistas; creando un sistema de señalización dinámica mediante señales P-22 instaladas en 4 carreteras de la C.A. La Rioja. La noticia se publica en prensa, también en prensa digital a través del link: <http://www.circulaseguro.com/dgt-senal-p-22-proteccion-ciclistas-senalizacion-rioja/>. El sistema de detección consiste en el empleo de un detector tipo WIFI y GPRS, para activar el triflax de una señal triangular que, además, tiene el texto fijo “luz encendida ciclista circulando”. En este sentido, se estima que el nivel de eficacia del detector, mediante señal WIFI y GPRS depende, en cualquier caso, que el ciclista aporte un dispositivo de telefonía móvil. También es poco probable que el sistema discrimine el paso de motocicletas y cualquier otro vehículo de carretera que vayan provistos de esta tecnología, por lo que, es probable que se pudiera materializar en falsos positivos, pero, además, el sistema se plantea para puntos críticos de la carretera como son curvas pronunciadas y/o baja visibilidad, lo que reduce su aplicación a zonas muy específicas de la carretera.

Al tomar por base dos pilares fundamentales como serían buscar un **sistema que capte la atención a los usuarios de las carreteras y lograr crear rutas de ciclismo seguras**, todo ello enfocado hacía la viabilidad del proyecto, en la que por criterios económicos los carriles-bici no tendrían cabida, se pone el foco del proyecto en el desarrollo de una señal inteligente que auna todos los requisitos mencionados; surgiendo de este modo el proyecto “*Equipo de seguridad para la identificación y aviso de la presencia de ciclistas en tramos interurbanos*”, registrado en el BOPI TOMO2\_25-07-2019.

### 4. DESARROLLO DEL PROTOTIPO.

La propuesta inicial, en la fase de prototipo, apuesta por un **producto de formato preventivo**, basado en **cumplir los parámetros mencionados en la fase de investigación**, y que se acabarían dirigiendo a **rescatar la atención de aquellos conductores** que, bien por conducción rutinaria o por distracción durante la misma, pudieran tener reducidas sus facultades sensoriales al frente del volante.

Para ello se plantea utilizar un **sistema de señal luminosa intermitente**, situada en la margen por donde circula el ciclista, con un pictograma que insista en la guarda de distancia de seguridad, y **que se active cuando pase el ciclista**. Un sistema de señalización que, además, debería de ser **antivandálico, y autónomo**, ya que a través de la energía renovable se autoabastezca todo el equipo, y calculado para no quedar sin servicio. Se compone de **3 elementos fundamentales: el detector, la señal vertical y las luces led horizontales**. Estos 3 elementos nos permiten generar 2 tipos de seguridad en carretera, de cara al ciclista: la seguridad pasiva y la seguridad activa.

La **seguridad pasiva** se consigue, prioritariamente, con la señal vertical, a través de la retroreflexión de la señal, de nivel 3 tipo flúor, y el **texto fijo**: Atención CICLISTAS CIRCULANDO; marcándose el trayecto, o la carretera, como ruta frecuentada por ciclistas. La **seguridad activa**, considerándolo como lo esencial del equipo, surge cuando el equipo se activa tras el paso de la bicicleta por la espira inductiva; en este caso, se activa, por una lado, la **parte luminosa**, en este caso el pictograma, de la señal vertical, provista de una célula fotoeléctrica para adaptarse a luz ambiental, y por otro lado, se activan los 5 puntos de luces led horizontales; Leds equidistantes entre sí y que abarcan un total de 50 metros lineales tras la ubicación de la señal.

En lo que, respecto a la señal luminosa –intermitente, quedaría situada en la margen o trayectoria de paso del ciclista y con mismo avance del vehículo usuario, pero con un **diseño específico y personalizado, y que se active SOLO tras el paso de ciclistas**. Con este fin, con el de ser una exclusiva del ciclista, de activarse exclusivamente con los ciclistas, se analizan las diversas alternativas y, a modo de aforador, se considera de mayor eficacia, durante el desarrollo del prototipo, el empleo del **lazo inductivo o pre-armado** (1 canal), ubicado a 5 m previos a la instalación de la señal vertical; **complementando**, este lazo inductivo, si fuera necesario -con el fin de discriminar al resto de vehículos por velocidad-, por un **radar tipo Doppler** ubicado en la propia señal vertical.

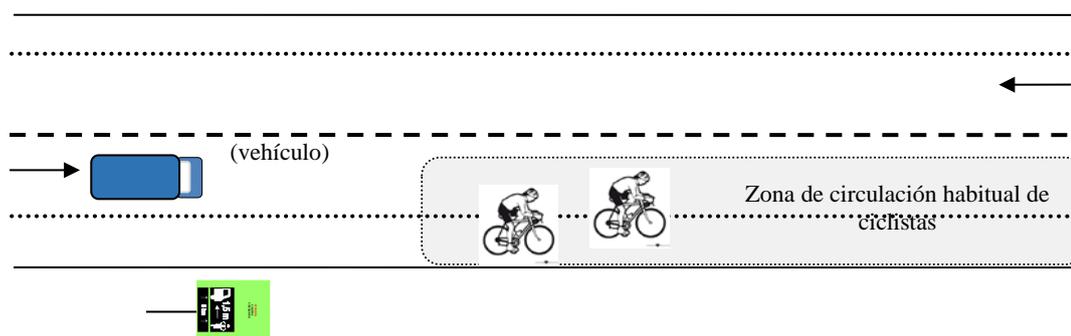


Figura 2: Zona de circulación habitual de ciclistas. Diseño propio

La instalación del lazo inductivo en el arcén, se define como mejor zona para su ubicación a una longitud máxima de 50 cms (o al menos la mitad de arcén), en forma de paralelogramo, con dimensiones 40-100 cms, y distando, respecto al borde exterior (zona previsible de paso de los ciclistas), en torno a 50

cms; todo ello, con el fin de detectar el paso de la bicicleta y evitar la pisada del resto de vehículos de la calzada.

La señal vertical proyectada, generaría, en sí misma y aun estando apagado el panel luminoso, el efecto inicial, al vehículo usuario de la carretera, de transitar por un tramo de carretera interurbano con probable presencia de ciclistas; el cartel tendría el texto fijo “ATENCIÓN, CICLISTAS CIRCULANDO” con retroreflexión nivel 3 tipo flúor (gran visibilidad diurna y nocturna). Pero, además, incidiría, con mayor impacto en los vehículos usuarios, con la activación de la señal luminosa “PICTOGRAMA DISTANCIA DE SEGURIDAD 1,5 VEHICULO Y CICLISTA, y texto ↑ 5 kms ↑”, con luz de color blanca intermitente (dos destellos por segundo) circundado por una luz de color rojo en el perímetro de la orla del pictograma (2 destellos por segundo).

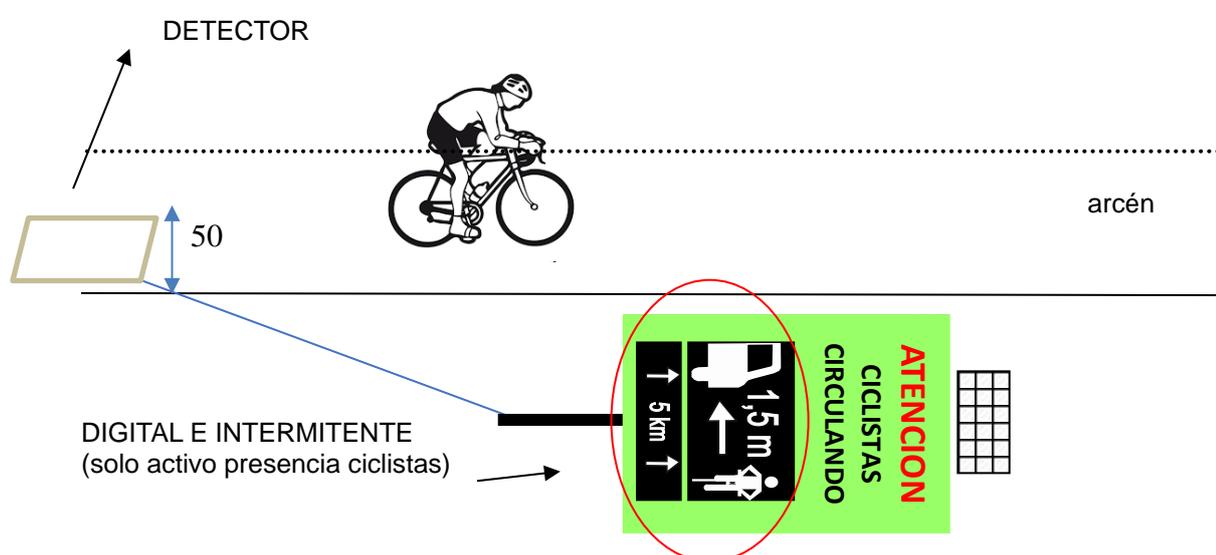


Figura 3: Sistema de detección mediante sensores para activar el sistema luminoso. Diseño propio

Al ser un **sistema de alimentación autónomo**, a través de energías limpias o renovables, mediante placas fotovoltaicas, se calcula una placa fotovoltaica de 40w al objeto de contar con potencia suficiente para cargar una serie de baterías (de partida 3 baterías de 7Ah; tipo plomo) y, a su vez, dejar almacenado el remanente de energía proporcionada. El sistema quedaría calculado para que el consumo del conjunto del sistema creado a través de luces, más el resto del aparataje (detectores e inteligencia), tengan un ciclo continuo de electricidad; bien directamente solar o través del suministro eléctrico proporcionado por las baterías. Al respecto, el conjunto de demanda energética y almacenamiento para quedar en servicio se proyecta en 20 horas continuas sin recarga eléctrica.

Por otra parte, con el fin de mejorar, aun si cabe, la eficacia del sistema, en la búsqueda de aumentar la atracción de los conductores de los vehículos usuarios, se aumenta la **señalización luminosa** a través de un sistema de LED intermitente (30%/seg), situando los puntos de luz cada 10 metros, junto

a la línea de separación del arcén y el carril (**efecto captafaro**) en una longitud total de 50 metros desde donde se ubica la señal vertical (un total de 5 luces LED por sistema). Este sistema de LED, que también estaría alimentado desde el propio conjunto solar ubicado en la señal.

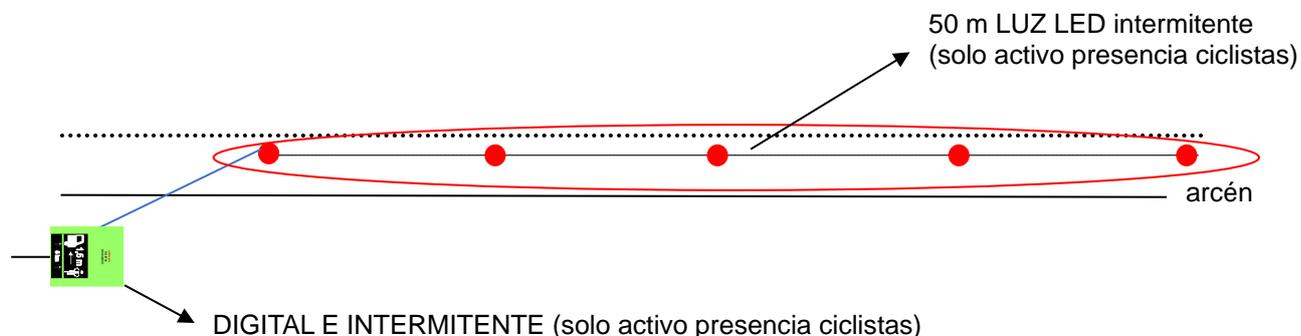


Figura 4: Sistema luminoso en señal vertical y balizas led de suelo. Diseño propio

Hay que destacar que estas luces LED, además de reforzar, a la señal vertical, acerca de la indicación de presencia de ciclistas, desde el punto de vista de los vehículos usuarios, también **delimita la zona principal de circulación del ciclista**, como es el arcén, **y sirve de feedback al ciclista** que el sistema, tras su paso, ha quedado activado.

Tal y como ya se ha mencionado, en el equipo podría implementarse, con el fin de discriminar por velocidad al resto de usuarios de la carretera, la combinación del lazo con el radar; **radar** que queda ubicado en la **parte superior de la señal vertical**. Esta combinación permite, además otros posibles servicios orientados hacia el control y regulación de velocidad, la implantación del equipo a cualquier tipo de tramo; tanto de **tramos urbanos como interurbanos**.

Con los **datos de campo y el análisis de necesidad** del equipo, se plantea que el sistema quede programado para permanecer **encendido**, desde que el ciclista pasa por el equipo, durante **10 minutos**; entiendo por tal el tiempo de seguridad para que el ciclista llegue a su destino o al siguiente equipo, ubicado a 5 kms, y los vehículos que vengan detrás estén informados de la presencia próxima de ciclistas circulando. Teniéndose en cuenta, en cualquier caso, la velocidad media de los ciclistas en carretera (25km/h) y la de los vehículos usuarios (90km/h).

Es un sistema de mejora en seguridad vial en el que **no habría límites en cuanto a longitud de carretera a proteger**; adaptándose, plenamente, a las necesidades reales de los ciclistas, y sin poner puertas al campo como hacen los carriles bicis, además de ser una alternativa novedosa.

#### 4.1 Componentes y características técnicas con detección mediante sensores

Consolidado el equipo que se requiere, en la fase de prototipado, para cumplir los objetivos, en materia de seguridad vial, se concretan y desarrollan las **actividades principales** que son necesarias para que el producto final consiga el uso asignado; resumiéndose en las siguientes:

- ✓ **Fabricación** de la señalización vertical propia provista de circuitos para iluminación LED.
- ✓ **Programación** en Arduino.
- ✓ **Ensamblaje** interno (relés, sensor iluminación, Arduino, detector, radar, etc.)
- ✓ **Pruebas** de funcionamiento y detección.
- ✓ **Revisiones** de funcionamiento.

Para lograr tal fin, los materiales que se han requerido, en esta fase de prototipado, han sido los siguientes:

- Señalización vertical (poste antivandálico) con sistema de panel luminoso.

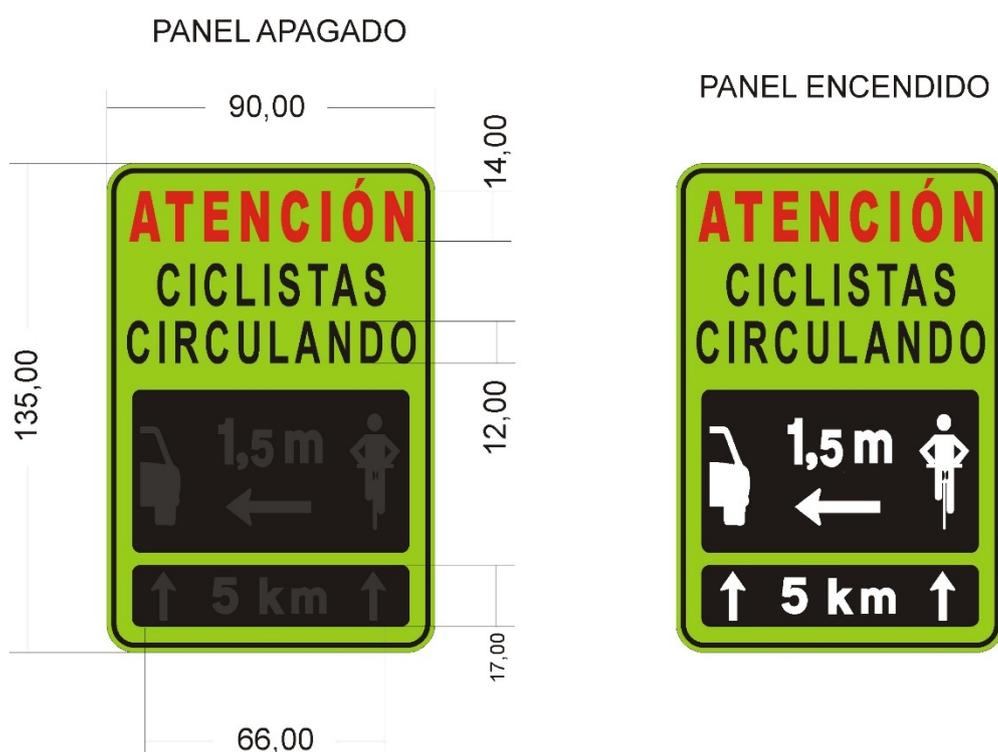


Figura 5: Modelo propio de señal inteligente. Diseño propio

- Poste acero 90 mm de 4 m galvanizado en dos pizas para giro 360° que permita orientación solar.

- Conjunto de panel rectangular de aluminio, dimensionado en 90x135 cm RA-3 Mezquita en cajón tropicalizado de 135x90, rotulado en retroreflexión N-3 flúor, con orla y fondo (1/3 parte) en negro según croquis.
- Aberturas-puertas traseras de conexión para ensamblaje, con caja de plástico interna, de inteligencia.
- Acoplamiento de diodos LEDs en pantalla con frontal de policarbonato anti-reflejos, a dos colores (blancos y rojos), en circuitos independientes, con características siguientes:

- N° led: 150
- Consumo mínimo por led: 0,075 Ah
- Candelas por led: 10
- Lúmenes por señal: 143,1

(Incluso sensor de luz para adaptar la intensidad lumínica al ambiente)

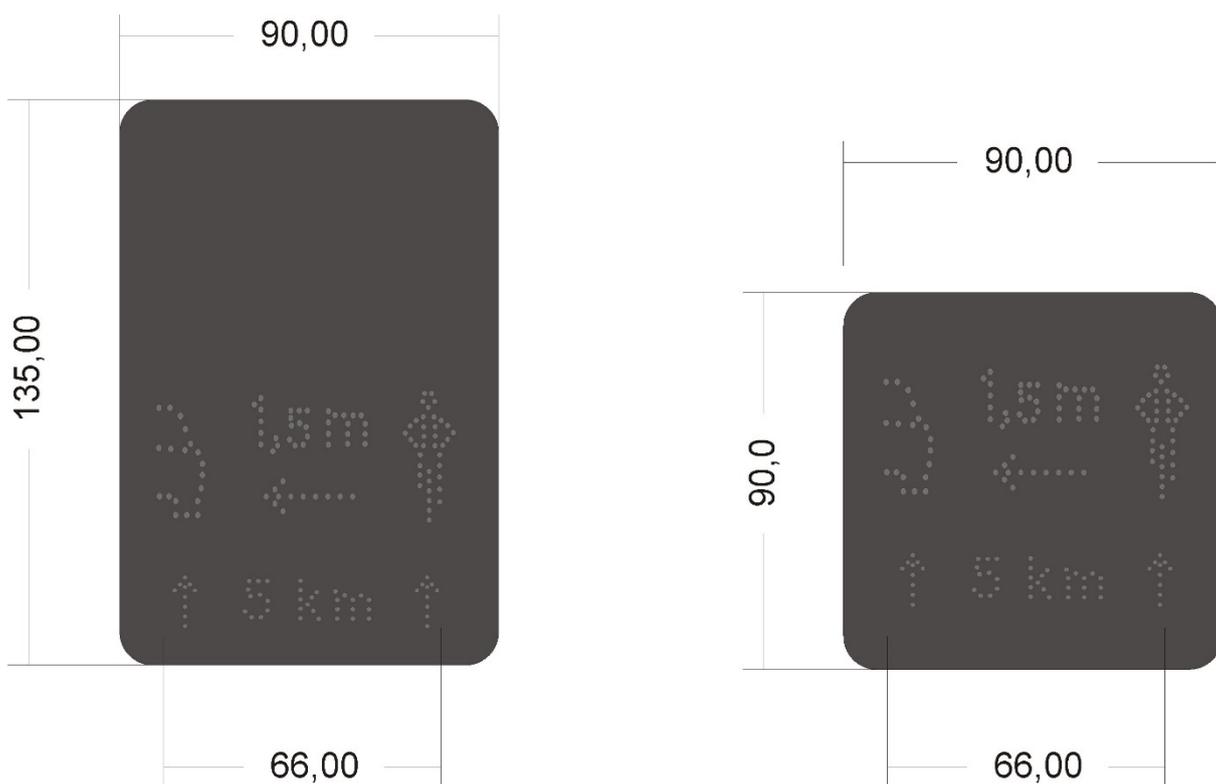


Figura 6: Posición de luces led de la señal vertical. Diseño propio

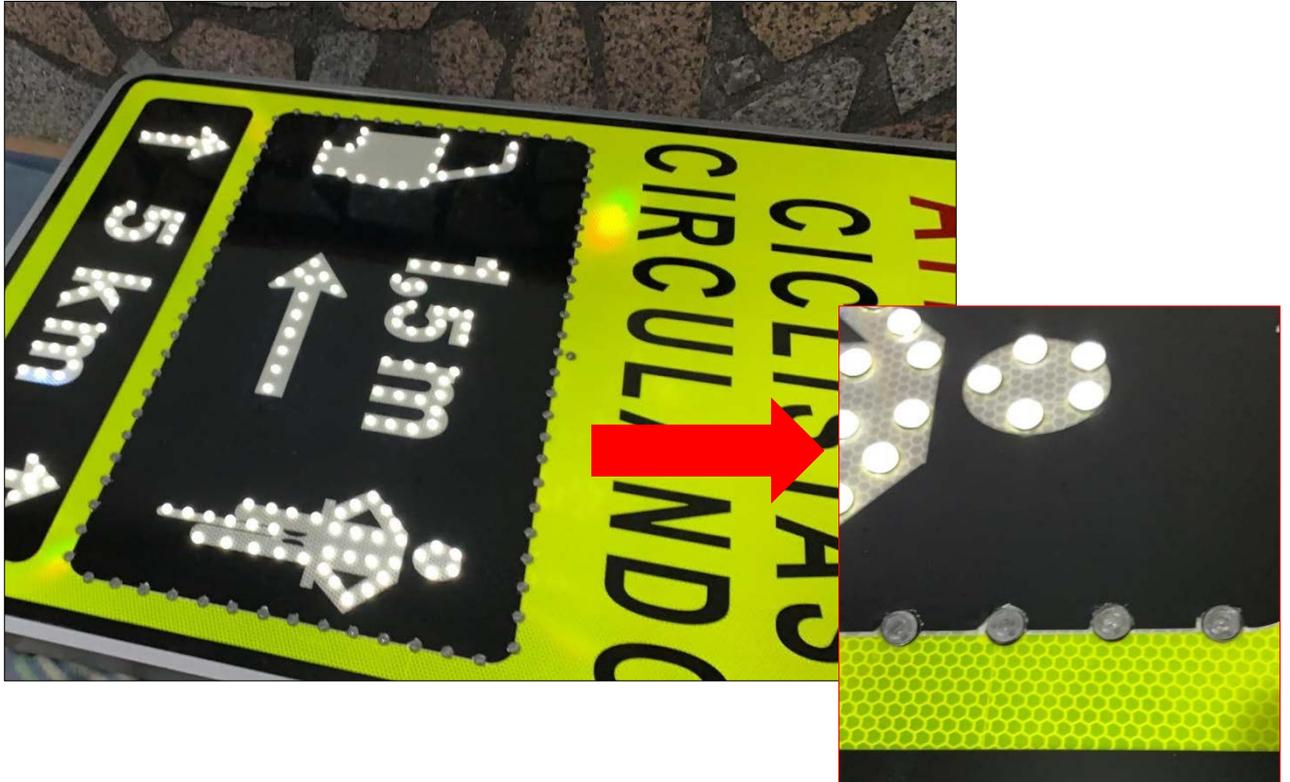


Figura 7: Luces led en la señal vertical

- Panel solar de 40 w policristalino con soporte giratorio, y dotado de regulador de carga, con conectores MC4 (PV-ST01).



Figura 8: Panel fotovoltaico policristalino

- 4 baterías Kaise Standard KB 1290, de 7 Ah/12v, en caja porta-baterías de alta calidad, con tornillería antivandálica de rotura.



Figura 9: Batería 7 Ah/12v para almacenamiento de energía

Luces LED horizontales.

- 5 captafaros de suelo (empotrado), unidireccional en consumo de 20mA, tipo Lake color rojo. Resistencia mecánica 20 Tn, IP68 e IK10 con estructura superior de policarbonato y cuerpo de aluminio.

Equipo de detección.

- Lazo inductivo AG-XB6, con perímetro de lazo 6 m y largo de cola 5 m, e inductancia aproximada 70 uH, instalado en apertura de 7 mm y 30 mm de profundidad en forma de paralelogramo de 100 cm por 40 cm.



Figura 9: Geometría e instalación de lazo inductivo incrustado en el pavimento

- Detector de 1 canal, tipo 510 en 2 relés: presencia y pulso a 12-24 v



Figura 10: Detector EVA monocanal

- Zócalo carril Din QX-41-Z11



Figura 11: Zócalo de conexiones

- Resina de sellado bi-componente
- Radar tipo Doppler RAD-TM007 con 2 salidas relé



Figura 12: Radar Doppler en señal

## 4.2 Esquema electrónico del “Prototipo”

Al generar el lazo inductivo un pulso electromagnético se precisa de un zócalo más detector en el que se transmita este pulso, en la entrada necesaria, para así transferir el resto de secuencias. El zócalo para carril DIN, con las clavijas numeradas, quedaría configurado de la siguiente forma:

- 1 y 2 alimentación 12 vdc
- 7 y 8 se conecta el lazo
- 5 y 6 es el contacto que debe activarse cuando pase una bicicleta por encima

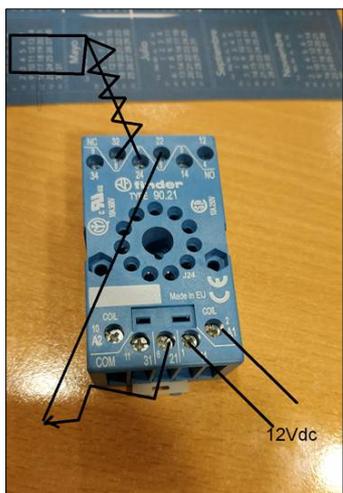


Figura 13: Conexiones de zócalo a sensores y a alimentación

Los cables del radar, conectados en la posición de marrón y azul a 12 vdc., y verde y marrón, se cruzan para detectar la bicicleta (vehículo lento).

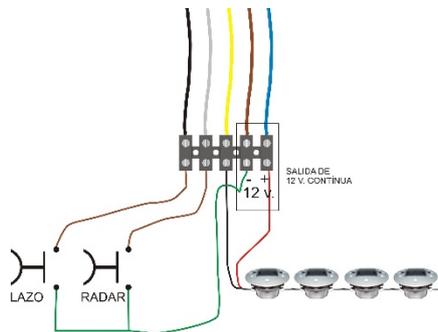


Figura 14: Esquema y montaje de circuitos/conexiones

De esta forma se consigue que **cuando el lazo** (ubicado 5 m. antes de la ubicación de la señal inteligente) **detecta en el arcén algo**, según proyecto la estructura metálica de la bicicleta, **y el radar**

detectará vehículos lentos (< 30 km/h), se activa el sistema; esta dualidad de criterio se acabaría desarrollando y consiguiendo en la fase de prototipo pero, igualmente, hay que destacar que el sistema, por defecto, no adquiriría un nivel de eficacia del 100%; tras chequearse el proceso en campo.

### 4.3 Programación mediante Arduino

Mediante Arduino se desarrolla la programación básica del equipo de acuerdo a los recursos trabajados y elementos que componen la señal. La **programación** tiene en cuenta el crepúsculo del día, con el fin de, en base a un nivel de luxes previsto (30 lx), recogidos a través del sensor de iluminación (fotocélula), el sistema no permita la activación de las luces leds. El sistema se programa para permanecer encendido durante 10 min con una frecuencia de 30%/seg activo, tanto en las balizas de led de suelo y orla de la señal vertical (luz roja), como en el pictograma (luz blanca) de la propia señal vertical; quedando, ambas led, diferencias en cuanto a color, momento y duración de encendido.

```

INSEGSA_v3_modRaul | Arduino IDE 2.0.0-rc6
File Edit Sketch Tools Help
No board selected
INSEGSA_v3_modRaul.ino
1 // INSEGSA, INTELIGENCIA-SISTEMA CONTROL-RAUL
2 // ENTRE LAZO Y RADAR HAY A 1 SEGUNDO DE DESFASE (EL RADAR NO DEBE SALIR SIN QUE EL LAZO LO ACTIVE), QUE LA SEÑAL TRABAJE 10 MINUTOS, 4 SEG ENCIENDI
3 // LAS BALIZAS DE SUELO DEBEN PARRADAR CADA SEGUNDO, Y 300 MS ENCENDIDO Y 700 MS APAGADO
4 #include <EEPROM.h>
5 #include <SoftwareSerial.h>
6
7 int tfun; //VALORES PREDETERMINADOS
8 int tdet; //VALORES PREDETERMINADOS
9 int tenc; //VALORES PREDETERMINADOS
10 int tagg; //VALORES PREDETERMINADOS
11 int tbal; //VALORES PREDETERMINADOS
12 int tact; //VALORES PREDETERMINADOS
13 byte iluminacion; // VARIABLE PARA LUZ AMBIENTAL
14 byte luzmin;
15 byte crepusculo = 30;
16
17 void setup()
18 {
19   pinMode(11, OUTPUT);
20   pinMode(10, OUTPUT);
21   pinMode(9, OUTPUT);
22   pinMode(6, OUTPUT);
23   pinMode(5, OUTPUT);
24   Serial.begin(9600);
25   Serial.setTimeout(50);
26
27   lecturamemoria();
28   menu();
29 }
30
    
```

```

INSEGSA_v3_modRaul
189 iluminacion = analogRead(7);
190 if (iluminacion < luzmin)
191 {
192   iluminacion = luzmin;
193 }
194 for (i = 1; i <= 60; i++)
195 { // Cada 10 segundos si i = 1, y compare para encender o apagar
196   contador;
197   if (contador == enciende)
198   { // contador de tiempo encendido
199     analogWrite(11, iluminacion);
200     analogWrite(10, iluminacion);
201     digitalWrite(9);
202   }
203
204   if (contador == enciende + apaga)
205   { // contador de apagado
206     analogWrite(11, 0);
207     analogWrite(10, 0);
208     digitalWrite(9);
209   }
210
211   if (contador == enciende + apaga)
212   { // contador de encendido de tiempo encendido del apaga
213     contador = 0;
214
215     digitalWrite(10, HIGH); // PICTOGRAMA PARA LAS BALIZAS SUELO
216     digitalWrite(9, LOW); // PICTOGRAMA PARA LAS BALIZAS ORLA
217     delay(1000); // DE 10 SEGUNDOS TIEMPO DE ENCENDIDO BALIZA
218     if (espousec()) // 1000, este sistema de detección de espousec procesará los datos antes de ser activo, además se activará también cuando haya un coche
219     { // cuando el segundo de espousec en dos partes con detección de espousec cada medio segundo para resetear el contador
220       if (condicionActivarSerial())
221       {
222         m = 1; //AVANZADO CONTADOR DE HORAS
223         reinicio = true;
224       }
225     }
226
227     digitalWrite(10, LOW); // PICTOGRAMA PARA LAS BALIZAS SUELO
228     digitalWrite(9, HIGH); // PICTOGRAMA PARA LAS BALIZAS ORLA
229     delay(1000); // DE 1000 ms hasta el segundo siguiente la baliza los 300 ms con la PARRADA DE DETECCION
230     if (espousec())
231     { // cuando el segundo de espousec en dos partes con detección de espousec cada medio segundo para resetear el contador
232       if (condicionActivarSerial())
233       {
234         m = 2; //AVANZADO CONTADOR DE MINUTOS
235         reinicio = true;
236       }
237     }
238   }
239 }
    
```

Figuras 15: Programación de “Active Cyclist Detection” en Arduino

#### **4.4 Resultados extraídos del prototipo**

Durante los meses de mayo y julio del año 2020 se han efectuado diferentes **muestreos de campo**, al objeto de mejorar programación, ajustar parámetros, mejorar rendimientos y eficacia del proceso de detección de los ciclistas; generando el correspondiente check-list que, a continuación, se presenta:

Sistema de detección	Fecha recogida datos	Hora de paso	Velocidad paso km/h (velocímetro)	Resultado
Lazo inductivo	11/05/2020	10:13	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	10:15	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	10:16	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	10:18	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	10:22	-	Negativo
Lazo inductivo	11/05/2020	10:23	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	10:40	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	10:48	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	10:49	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	10:55	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	11:02	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	11:04	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	11:09	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	11:10	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	11:14	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	11:15	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	11:17	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	11:24	-	Negativo
Lazo inductivo	11/05/2020	11:25	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	11:40	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	11:42	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	11:46	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	12:04	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	12:06	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	12:10	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	12:13	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	12:18	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	12:24	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	12:30	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	12:33	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	12:41	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	12:50	-	Positivo
Lazo inductivo	11/05/2020	12:55	-	Positivo
Lazo inductivo	14/05/2020	9:05	44	Negativo
Lazo inductivo	14/05/2020	9:15	18	Positivo
Lazo inductivo	14/05/2020	9:18	27	Positivo
Lazo inductivo	14/05/2020	9:30	22	Positivo
Lazo inductivo	14/05/2020	9:35	15	Positivo
Lazo inductivo	14/05/2020	9:44	41	Positivo
Lazo inductivo	14/05/2020	9:51	37	Positivo
Radar doppler	26/05/2020	19:07	23	Negativo
Radar doppler	26/05/2020	19:18	17	Negativo
Radar doppler	26/05/2020	19:31	20	Negativo
Radar doppler	26/05/2020	19:50	25	Positivo
Radar doppler	26/05/2020	20:21	18	Positivo
Radar doppler	26/05/2020	20:30	22	Positivo
Radar doppler	29/05/2020	19:02	27	Negativo
Radar doppler	29/05/2020	19:15	25	Positivo
Radar doppler	29/05/2020	19:27	18	Positivo
Radar doppler	29/05/2020	19:50	15	Positivo
Radar doppler	29/05/2020	19:52	45	Positivo
Radar doppler	29/05/2020	19:58	38	Positivo
Radar doppler	29/05/2020	20:15	20	Positivo
Radar doppler	29/05/2020	20:30	21	Positivo
Radar doppler	29/05/2020	20:44	24	Positivo
Radar doppler	09/06/2020	9:05	28	Positivo
Radar doppler	09/06/2020	9:12	29	Positivo
Radar doppler	09/06/2020	9:30	10	Positivo
Radar doppler	09/06/2020	9:43	18	Positivo
Radar doppler	09/06/2020	9:55	23	Positivo
Lazo inductivo	09/06/2020	11:07	31	Positivo
Lazo inductivo	09/06/2020	11:12	27	Positivo
Lazo inductivo	09/06/2020	11:18	22	Positivo
Lazo inductivo	09/06/2020	11:22	14	Positivo
Lazo inductivo	09/06/2020	11:30	24	Positivo
Lazo inductivo	09/06/2020	11:33	21	Positivo
Lazo inductivo	09/06/2020	11:37	22	Positivo
Lazo inductivo	09/06/2020	11:39	19	Positivo
Lazo inductivo	09/06/2020	11:43	35	Positivo
Lazo inductivo	09/06/2020	11:50	30	Positivo
Lazo inductivo	09/06/2020	11:57	27	Positivo
Lazo+radar	16/06/2020	19:33	17	Negativo
Lazo+radar	16/06/2020	19:40	31	Negativo
Lazo+radar	16/06/2020	19:51	25	Positivo
Lazo+radar	16/06/2020	19:55	18	Positivo
Lazo+radar	16/06/2020	19:59	35	Positivo
Lazo+radar	16/06/2020	20:06	22	Positivo
Lazo+radar	16/06/2020	20:10	36	Positivo
Lazo+radar	16/06/2020	20:14	21	Positivo
Lazo+radar	16/06/2020	20:18	18	Positivo
Lazo+radar	16/06/2020	20:25	10	Positivo
Lazo+radar	16/06/2020	20:31	22	Positivo
Lazo+radar	16/06/2020	20:36	36	Positivo
Lazo+radar	16/06/2020	20:41	25	Positivo
Lazo+radar	16/06/2020	20:48	27	Positivo
Lazo+radar	16/06/2020	20:55	21	Positivo

Tabla 1: Chequeo de pruebas detección mediante sensores. Solo ciclistas

Sistema de detección	Fecha recogida datos	Hora de paso	Velocidad paso km/h (velocímetro)	Combinación vehículo (paralelo)	Resultado
Lazo inductivo	22/06/2020	9:11	-	SI	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	9:15	-	SI	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	9:23	-	SI	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	9:30	-	SI	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	9:34	-	SI	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	9:40	-	SI	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	9:48	-	SI	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	9:57	-	NO	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	10:08	-	NO	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	10:16	-	NO	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	10:21	-	SI	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	10:30	-	NO	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	10:37	-	SI	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	11:02	-	SI	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	11:14	-	NO	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	11:21	-	NO	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	11:42	-	SI	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	11:58	-	SI	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	12:14	-	SI	Positivo
Lazo inductivo	22/06/2020	12:21	-	SI	Positivo
Radar doppler	25/06/2020	8:50	22	NO	Positivo
Radar doppler	25/06/2020	8:58	18	NO	Positivo
Radar doppler	25/06/2020	9:11	23	SI	Negativo
Radar doppler	25/06/2020	9:17	17	SI	Negativo
Radar doppler	25/06/2020	9:29	21	SI	Positivo
Radar doppler	25/06/2020	9:38	23	SI	Positivo
Radar doppler	25/06/2020	9:51	24	NO	Positivo
Radar doppler	25/06/2020	9:59	27	NO	Positivo
Radar doppler	25/06/2020	10:26	19	SI	Negativo
Radar doppler	25/06/2020	10:31	21	SI	Positivo
Radar doppler	25/06/2020	10:39	24	SI	Positivo
Radar doppler	25/06/2020	10:44	18	SI	Negativo
Radar doppler	25/06/2020	10:49	30	NO	Positivo
Radar doppler	25/06/2020	10:51	28	NO	Positivo
Radar doppler	25/06/2020	10:59	21	SI	Positivo
Lazo+radar	29/06/2020	8:05	22	SI	Negativo
Lazo+radar	29/06/2020	8:14	24	SI	Positivo
Lazo+radar	29/06/2020	8:21	16	SI	Positivo
Lazo+radar	29/06/2020	8:25	29	SI	Negativo
Lazo+radar	29/06/2020	8:31	28	SI	Positivo
Lazo+radar	29/06/2020	8:41	22	NO	Positivo
Lazo+radar	29/06/2020	8:44	18	NO	Positivo
Lazo+radar	29/06/2020	8:49	19	SI	Negativo
Lazo+radar	29/06/2020	8:55	16	NO	Positivo
Lazo+radar	29/06/2020	8:59	25	SI	Positivo
Lazo+radar	06/07/2020	7:58	23	SI	Positivo
Lazo+radar	06/07/2020	8:10	16	SI	Positivo
Lazo+radar	06/07/2020	8:15	19	SI	Positivo
Lazo+radar	06/07/2020	8:21	22	SI	Negativo
Lazo+radar	06/07/2020	8:26	25	SI	Negativo
Lazo+radar	06/07/2020	8:32	23	SI	Negativo
Lazo+radar	06/07/2020	8:37	26	NO	Positivo
Lazo+radar	06/07/2020	8:44	21	NO	Positivo
Lazo+radar	06/07/2020	8:48	19	SI	Positivo
Lazo+radar	06/07/2020	8:55	20	NO	Positivo
Lazo+radar	06/07/2020	8:59	19	SI	Negativo
Lazo+radar	06/07/2020	9:07	28	SI	Negativo
Lazo+radar	06/07/2020	9:17	29	SI	Positivo

Tabla 2: Chequeo de pruebas detección mediante sensores. Combinación ciclistas - vehículos

Si bien el sistema genera eficacia probada, mediante el **lazo de inductivo**, de un **93%**, sin poderse mejorar la fiabilidad cuando el sistema es probado con bicicletas de fibra de carbono y velocidad superior a 30 km/h; se generaron algunos pases de ciclistas, en esta situación, en la que el sistema no le detectaba. Por otra parte, el uso del **radar Doppler combina con el lazo** e, incluso, cuando trabaja de forma única, acaba reduciendo el nivel de eficacia, en nuestra prueba, por debajo del **85%**. Se ha comprobado que esta situación se produce por un efecto propio del radar, y que no es posible corregirse mediante programación, aunque los efectos se suavizan con el giro e inclinación del radar, en función al interés demandado para el proyecto I+D+i. Durante el desarrollo de las pruebas se comprueba que la activación del equipo se ve comprometida con el radar y la velocidad que lleve el vehículo que pasa, en el mismo momento que el ciclista, por la zona; si bien el lazo inductivo activa el radar (programado con 1 seg. de retardo), el vehículo en paralelo con la bicicleta, y pese a la inclinación del radar para reducir su alcance a los 5 m. de rango de cobertura de señal, el radar acaba detectando, en determinados pases la presencia y velocidad del vehículo y, de acuerdo al efecto Doppler, *el radar siempre va a medir la velocidad del vehículo más grande y así acaba discriminando por volumen la velocidad del ciclista.*

#### 4.5 Conclusiones extraídas de la fase de prototipado

Los resultados “de campo” de la prueba marcan un nivel de eficacia, con el uso exclusivo del lazo inductivo, > 90%; se comprueba que el sistema de detección, según las **condiciones climatológicas** (frío, lluvia, sol, niebla...), **se mantiene invariable** y que **la detección**, en consecuencia, **no depende de tales condiciones**. No obstante, se percibe que el sistema es eficaz en todas las bicicletas de tipo aluminio pero muestra, en cambio, como no detección el paso de bicicletas de fibra de carbono cuando el lazo está insertado a más de 3 cms respecto al borde superior el pavimento y cuando la velocidad de la bicicleta supera los 30 km/h; al fijar la profundidad de lazo en torno a 1,5 cms reproduce momentos en los que la variable velocidad de la bicicleta es irrelevante ya que el sistema la acaba detectando con el mismo nivel de eficacia que las bicicletas de aluminio. Por otra parte, las pruebas de **iluminación** de la señal vertical y de las balizas led de suelo, y la **fiabilidad** apreciable respecto a las condiciones climatológicas, se mantienen en **ópticas condiciones**; adaptándose, adecuadamente, la intensidad lumínica, con la implementación del sensor de intensidad o célula fotoeléctrica, a las condiciones de luz ambiental, con el objetivo de evitar el deslumbramiento; reduciéndose la intensidad a inactivo cuando los luxes ambientales bajan de 30 lx.

Por otra parte, cuando el **lazo se combina con el radar**, como forma de detección del ciclista, no se alcanzan los objetivos deseados que partían en tratar de discriminar al ciclista respecto a otros usuarios de la vía; al tratar de implementar un sistema de detección eficaz adaptado a toda la casuística de posibilidades que pueden generarse en carretera. No obstante, los resultados preliminares muestran

que el **sistema es fiable**, ya que fue probado en diferentes condiciones climatológicas, como lluvia, frío y calor, y se mantenía robusto cuando el sistema estuvo instalado en un punto fijo durante más de 2 meses y sin observarse merma alguna en su rendimiento.

Por otra parte, los primeros resultados del conjunto o sistema de detección de ciclistas, a pesar de que la instalación se realizó en un espacio abierto pero ausente de tránsito frecuente de vehículos, como es un polígono industrial (P.I. Arroyo Caballo de Trujillo), en las pruebas realizadas con **ciclistas** amateurs y profesionales (nivel regional) se arrojaron **resultados satisfactorios** ya que, estos colaboradores, **percibieron que el sistema resultaría especialmente útil en carretera**; tanto por la seguridad pasiva que transmite directamente la señal, como la activa cuando las luces leds de la señal y las balizas de suelo quedan encendidas. De estas últimas, de las balizas de suelo, los profesionales las consideran importante, no solo de cara a los vehículos, sino porque se recibe un feedback sugestivo en saber que el sistema ha quedado activo.

## 5. DESARROLLO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

En aras por **mejorar el nivel de eficacia de detección de ciclistas**, y permitir la discriminación de otros usuarios de la vía, y evitar que el sistema se encienda de forma diferente al fin previsto, INSEGSA solicita y recibe una ayuda I+D cofinanciada por el **Fondo Europeo de Desarrollo Regional** – Una manera de hacer Europa, en la convocatoria de proyectos de investigación industrial y desarrollo experimental que sean llevados a cabo por empresas en la Comunidad Autónoma de Extremadura. Esta ayuda permite **suplantar**, en el primer trimestre del año 2022, **la tecnología de sensores por la Inteligencia Artificial** en un tramo de la carretera denominada CC-38, propiedad de la Excm. Diputación provincial de Cáceres, en la que, previamente, en el año 2021, en el mes de abril, fueron instaladas 4 señales inteligentes, a modo de prueba piloto, con el sistema de detección mediante sensores.

La ayuda cofinanciada, enmarcada dentro del Objetivo temático: OTI *“potenciar la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación”*, permite la participación conjunta de un equipo compuesto por profesionales de la ingeniería civil y de la informática para desarrollar, bajo un programa oficial de I+D, la Inteligencia Artificial (en adelante IA) en el proyecto de la “señal inteligente” y como recurso clave en la detección de ciclistas. Prescindiendo, en consecuencia, del lazo inductivo y del radar tipo Doppler, y, además, pudiendo contar con las herramientas necesarias para desarrollar nuevos programas que refuerzan y mejoran el conocimiento en materia de seguridad vial.

De este modo, se enfoca **la IA hacia la detección de objetos**, en este caso, hacia aquellos que habitualmente pueden percibirse en carretera, como turismos, furgonetas, camiones, motos, bicicletas e incluso personas. Este novedoso método de detección, que parte con una base de sistema y

metodología que ha sido previamente analizada y optimizada en la fase de prototipo, se orienta hacia el desarrollo y análisis de cada uno de los elementos que van a integrar la IA; **manteniéndose**, en cualquier caso, **la identidad propia de la señal inteligente**, sus características y condiciones, las balizas led de suelo y la placa solar fotovoltaica como medio para generar energía y quedarse almacenada en baterías de plomo de 7mA a 12v.

Así comienza, con un equipo informático i7 de última generación, la recopilación y chequeo de imágenes, hasta alcanzar un **volumen fotográfico superior a 15.000 archivos**. Por otra parte, se chequean y comprueban circuitos internos de la señal inteligente, piezas electrónicas, consumos energía, y espacio interior para **configurar el ensamblaje** de los nuevos componentes al cuerpo o caparazón interno de la señal. Además, para **optimizar** tales condiciones se han **probado diferentes componentes**, tanto de arduinos, cámaras de captación de imágenes (en base a: tipo de óptica, formato, tamaño e incluso capacidad de visión -diurna y diurna/nocturna-), miniordenadores y rapsberry, aceleradores de imágenes, relés, etc. Este volumen de pruebas y de elementos tecnológicos, que han debido de probarse, se debe a que la detección de los usuarios de la carretera es continuo y directo, por lo que el acoplamiento al sistema, de una cámara de video, se convierte en esencial para suministrar imágenes en directo de la carretera y que ha de ser compatible con el ordenador que seleccionado; en cualquier caso, bajo el amparo de las dos condiciones principales, como son el **sistema de energía y el espacio**.

Como el sistema o equipo debe de funcionar durante el tiempo equivalente a las horas de luz solar, a priori, son las horas estimadas del paso de ciclistas circulando por carretera, el gasto de energía, para el procesamiento de imágenes durante esas horas, es imprescindible para la elección de la computadora que ha de ser utilizada. Además, se debe de tener en cuenta tanto el dimensionamiento de la señal como los diodos led que se incorpora a la señal:

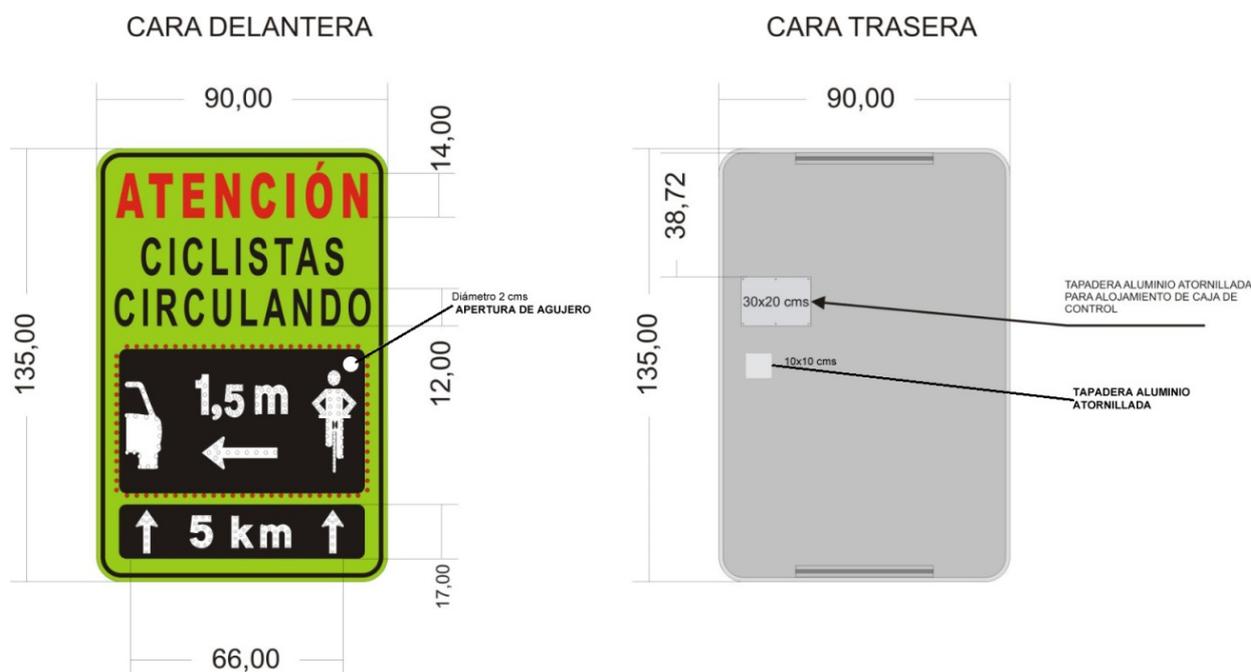


Figura 16: Aperturas traseras para ubicación y ensamblaje de la estructura tecnológica

También se contempla la ubicación de 2 ventanas, en la cara trasera de la señal, para el control interno de los circuitos que conforman los diodos leds de la placa de la señal, así como la instalación de los componentes de la inteligencia que dan la orden temporalizada del encendido y apagado de las leds. En la **ventana de mayor tamaño** se acopla la cámara de detección, en una pieza fija con características propias y hecha a medida mediante impresora 3D, así como la raspberry conectada a la cámara, y también al Arduino, reconvertida en el eje neurálgico de reconocimiento de los usuarios de la carretera; una vez percibe la raspberry la presencia del ciclista, acaba dando la orden al Arduino para que este haga su trabajo y active el sistema luminoso de la señal vertical y las balizas leds de suelo. Hay que destacar que la elección de la raspberry como computadora también está determinada por las medidas máximas de 10x10x4 cms enmarcadas en el espacio previsto en el interior de la señal.

Entre el abanico y casuística de posibilidades que existen en el mercado, para determinar la forma más apropiada de detectar y activar el sistema luminoso, hay una opción que, en su momento, también fue interesante, además de desarrollada y probada, en el que se aplica una determinada tecnología para obtener imágenes de la carretera mediante una cámara de video y, a través de un router 4G, se envían esas imágenes a un **centro de control en la nube** donde se procesan por la IA; si en esas imágenes se detectan ciclistas el centro de control da la orden a la señal para activar el sistema luminoso. Finalmente, este sistema **fue rechazado** al no ser 100% eficaz y por depender de una red de datos y de una tecnología externa a la propia señal.

## 5.1 Componentes y características técnicas con detección mediante IA

Tras varios desarrollos y pruebas, con diferentes variables de captación de imágenes para la detección de los ciclistas, y respecto a las características y premisas del sistema, se ha optado por elegir una **raspberry Pi 4** con 8GB de RAM. La raspberry Pi 4 incluye un procesador quad-core de 64 bits de alto rendimiento, soporte de pantalla dual en resoluciones de hasta 4K a través de un par de puertos micro-HDMI, decodificación de video por hardware hasta 4Kp60, 8GB de RAM, LAN inalámbrica de banda dual 2.4 / 5.0 GHz, Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet, USB 3.0.



Figura 17: Microordenador de control y orden de la activación del equipo

Además, tras el análisis de la misma, se precisaba que esta tecnología estuviera dotada, al menos, con las siguientes **especificaciones**:

- Procesador: Broadcom BCM2711, Cortex-A72 de cuatro núcleos (ARM v8) SoC de 64 bits a 1,5 GHz
- Memoria RAM: 8GB LPDDR4
- Conectividad: LAN inalámbrica IEEE 802.11b / g / n / ac de 2.4 GHz y 5.0 GHz, Bluetooth 5.0, BLE
- Gigabit Ethernet
- 2 × USB 3.0
- 2 × USB 2.0
- GPIO: estándar de 40 pines
- Video y sonido: 2 puertos micro HDMI (hasta 4Kp60 admitidos)
- Puerto DSI para pantalla
- Puerto CSI para cámara
- Soporte de tarjeta SD: ranura para tarjeta micro SD para cargar el sistema operativo y almacenamiento de datos
- Potencia de entrada: 5V DC a través del conector USB-C (mínimo 3A)
- 5V DC a través de los GPIO (mínimo 3A)
- Power Over Ethernet (PoE) - habilitado (a través de un complemento PoE HAT por separado)
- Temperatura de funcionamiento 0–50°C.

- Dimensiones: (88 x 58 x 18,5mm)

Otro elemento importante, como es la cámara, para la elección de la misma, tiene que estar adaptada a la raspberry pi, por lo que las especificaciones técnicas, con las que se partía para que fuera adaptada al proyecto, fueron las siguientes:

- Conectividad y compatibilidad con la raspberry pi.
- Resolución y calidad de imagen. Esta especificación técnica, para que la IA sea más eficiente, ha de contarse con unas imágenes de buena calidad, de tal modo que detecte y diferencie a los vehículos que circulan por la carretera.
- Consumo de energía y dimensiones de la cámara. Otras dos cualidades que ha de cumplir la cámara son no consumir mucha energía y tener unas dimensiones muy pequeñas, ya que debe de integrarse dentro de la señal inteligente.

Tras probar varias cámaras, con sistemas de conexión tanto por el puerto USB como por el puerto de interfaz serie (CSI), y distintas resoluciones y calidades de imágenes, finalmente, para alcanzar una captación de imágenes optimizadas, se elige la **Cámara 8Mp Oficial para raspberry Pi**, Sensor de Cámara V2.1 Compatible con raspberry Pi 4.

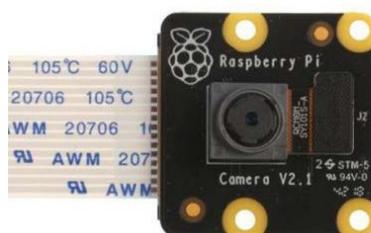


Figura 18: Cámara captación de imágenes

Al ser, la cámara seleccionada, una cámara de interior, y no estar “físicamente” preparada para la intemperie, el proceso de **acoplamiento** de la misma al proyecto I+D “**Active Cyclist Detection**” ha requerido adaptar el **interior**, previo a buscar el lugar de la señal idóneo para captar el rango de imágenes previsto para el proyecto (en torno a 20 m. de longitud frontal), y protegiéndola del exterior sin perder calidad de imagen. Para ello, se toma la decisión de ubicar la cámara en el interior de la señal, por encima de la figura del ciclista, optimizando el ángulo de imagen de la carretera para proporcionar los mejores datos de entrada a la IA en un rango inferior a 25 m., e insertada en un molde diseñado en impresora 3D.

Así, el objetivo de la cámara queda a 1 mm por el interior de la cara vista frontal de la señal, siendo prácticamente imperceptible para personas no relacionadas con este proyecto, y queda protegida con **filtro muy específico**, tras probarse varios filtros, con la cualidad de proteger a la cámara del exterior,

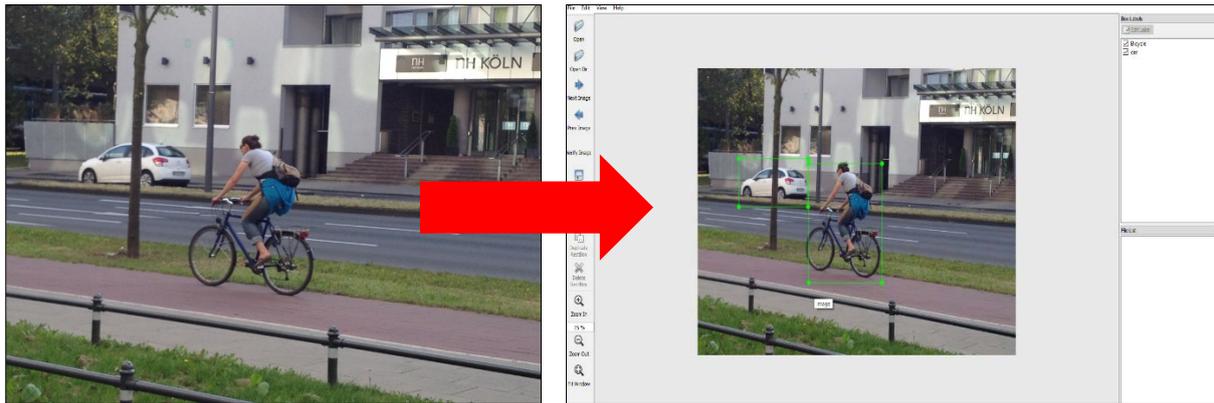
de la **luz ultravioleta**, sin perder la calidad de la imagen como consecuencia de los brillos de la luz solar. Este filtro especial, fabricado en metacrilato, va sellado a la señal con pegamento especial libre de vapores.

## 5.2 Programación para IA

Antes de comenzar la programación, se realiza un checklist y captación exhaustiva de los datos con los que entrar la IA específica del proyecto I+D+i. Se parte con un banco de **imágenes propias** de 600 ud., tomadas directamente en carretera, e imágenes adquiridas hasta compilar un total aproximado a 15.000 archivos, se toma en especial consideración aquellas que muestran al “objeto” a la **altura tipo prevista de ubicación de la cámara en la señal inteligente**, y de cada una de las clases de usuarios que el proyecto demanda, como son: coches, camiones, autobuses, motocicletas, ciclistas y personas. Con estas imágenes, en las que aparecen objetos de forma individual o conjunta, se enseña a detectar a la IA; procediendo, en consecuencia, a computar una a una cada imagen por cada objeto que hay en las imágenes.

Destacar la importancia de disponer de un **set de datos variados**, es decir, objetos (los objetivos del proyecto **Active Cyclist Detection**) a detectar desde varios ángulos, aunque en especial desde el **ángulo de ubicación o situación** prevista para la cámara en la señal inteligente. Y, además, imágenes con diversos tipos de **iluminación**, **posiciones** de usuarios (preferentemente ciclistas) etc. Igualmente, también ha sido, objeto de análisis, la **calidad** de las imágenes; descartando imágenes de gran tamaño, al ser más favorables para este proyecto las imágenes de menor tamaño, ya que se facilita el tratamiento en el soporte informático; optando, por lo cual, en la reducción de fotografías de alta y media calidad, a través de programas informáticos, a tamaños de peso medio de 0,5 Mb.

Etiquetadas las imágenes, se implantan las coordenadas para que las imágenes puedan encontrar cada uno de los objetos que hay que detectar; es una tarea, muy tediosa, pero a través de herramientas digitales, el proceso se simplifica. En esta tarea se ha utilizado el editor labellmg; abriendo las imágenes y seleccionando un recuadro para marcar el “objeto” del proyecto, para que el programa aprenda a detectar y salve un archivo .txt con la información de las coordenadas; emitiendo información de fecha, hora y tipo de objeto detectado (incluido el “objeto” principal de Active Cyclist Detection, el ciclista).



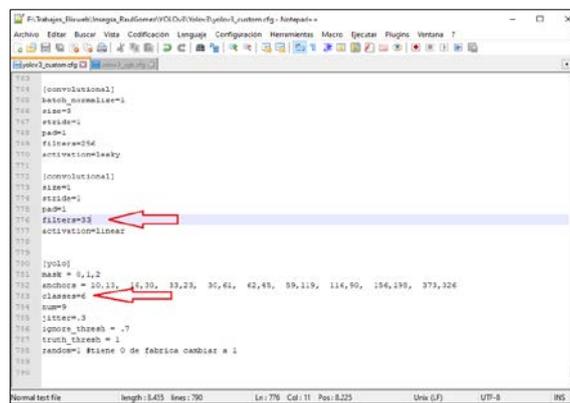
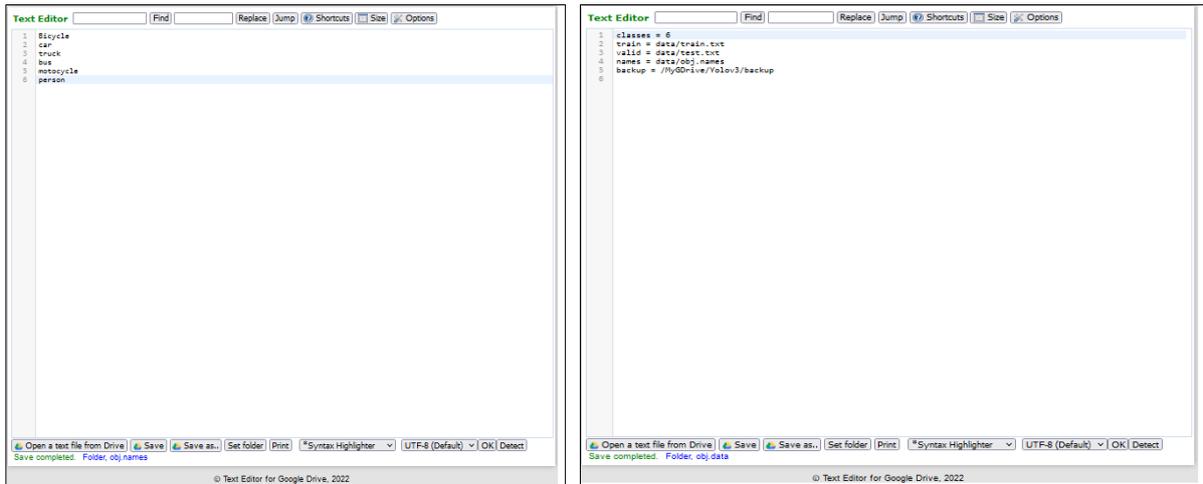
Figuras 19: Ejemplo de procesamiento de imágenes

Estas imágenes (junto con el archivo .txt que se genera) se guardan en una carpeta del disco duro, denominada internamente 'images'. A partir de esta fase, el programa queda entrenado con volumen etiquetado 3760 imágenes; comenzando el primer entrenamiento en la creación de un archivo "classes.txt" con las clases de los objetos que queremos detectar.



Figura 20: Clases de objetos a detectar

Para el entrenamiento del proyecto Active Cyclist Detection, se emplea el programa Yolov3. Al realizar el entrenamiento mediante Google Colab, se crea, desde el NAS y, especialmente, del Drive, se crean los archivos "obj.names" y "obj.data"



Figuras 21: Creación datos de desarrollo del entrenamiento IA

Con estos archivos preparados (en el NAS) en Google Drive, en la carpeta específica Yolov3, se da acceso a Google Colab para **entrenar y personalizar la red neuronal**. Así daría comienzo, el proyecto Active Cyclist Detection, al entrenamiento de YOLOv3 y Google Colab referente a la **detección de objetos específicos** (ciclistas, coches, camiones, autobuses, motos y personas). Vinculando, en cualquier caso, en este caso Google Colab con Google Drive y así poderse realizar el backups apropiado para el entrenamiento “Active Cyclist Detection”.

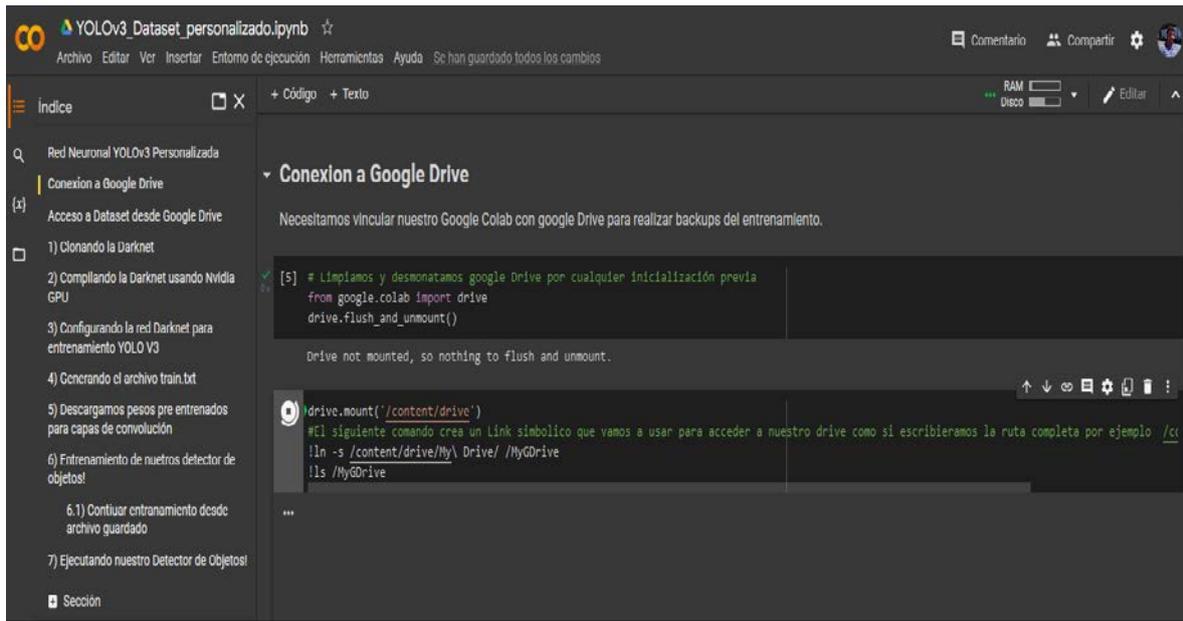


Figura 22: Datos de desarrollo del entrenamiento IA

Tras almacenarse el dataset en Google Drive y transferirlo a Google Colab, se copia el archivo “images” en el colab, en la raíz de VM en la nube; clonando y compilando la Darknet usando Nvidia GPU. Darknet es un framework de red neuronal de código abierto escrito en C y CUDA. Posteriormente, se desarrolla la configuración de la red Darknet para el entrenamiento hasta generar el archivo train.txt y así poderse descargar pesos pre entrenados para capas de convolución; preparando, al sistema, para empezar con el **entrenamiento, de 8 horas de duración**, en el proyecto “**Active Cyclist Detection**” sobre detección de objetos.

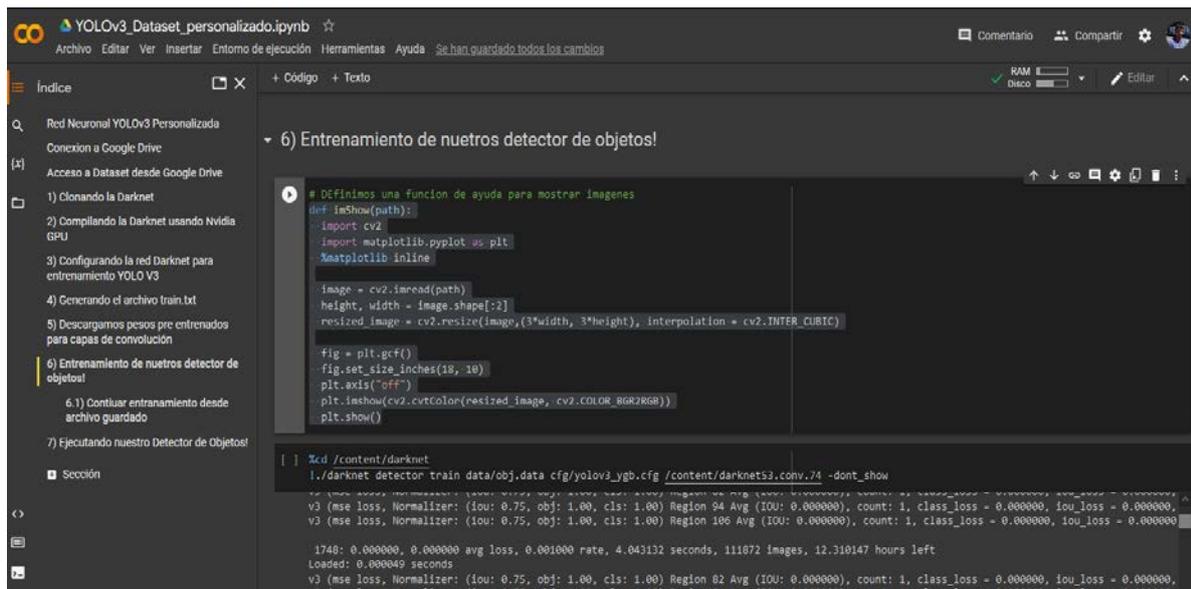


Figura 23: Entrenamiento IA en Active Cyclist Detection

Con el modelo de detección de objetos particular, adaptado al proyecto “Active Cyclist Detection” se procede a la reconversión a modelo TensorFlow Lite, tal y como se ilustra a continuación:



Figura 24: Esquema de conversión de archivos para la reducción de tamaño

De esta forma, se ha conseguido que el tamaño del modelo TensorFlow, antes de la optimización y conversión, de aproximadamente 246 MB, pasa, con el empleo del modelo TensorFlow Lite, a un tamaño aproximado de 62 MB. Esto va a reducir ligeramente la precisión, pero también hay una gran reducción en el tamaño del modelo, por lo que es una buena compensación para la tecnología empleada en el proyecto I+D+i, y así conseguir el objetivo previsto, la detección del ciclista.

```

# Reference: https://github.com/sayakpaul/Adventures-in-TensorFlow-Lite/blob/master/DeepLabV3/DeepLab_TFLite_COCO.ipynb
# Load the TensorFlow model
# The preprocessing and the post-processing steps should not be included in the TF Lite model graph
# because some operations (ArgMax) might not support the delegates.
# Insepect the graph using Netron https://lutzroeder.github.io/netron/
converter = tf.compat.v1.lite.TFLiteConverter.from_frozen_graph(
    graph_def_file='/content/tensorflow-yolo-v3/frozen_darknet_yolov3_model.pb',
    input_arrays = ['inputs'], # Here, 'inputs' is the value of input array from Step 7b
    output_arrays = ['output_boxes'], # Here, 'output_boxes' is the value of output array from Step 7b
    input_shapes={'inputs': [1, 416, 416, 3]} # Here, 'inputs' is the value of input array from Step 7b
)

# Optional: Perform the simplest optimization known as post-training dynamic range quantization.
# https://www.tensorflow.org/lite/performance/post_training_quantization#dynamic_range_quantization
# You can refer to the same document for other types of optimizations.
converter.optimizations = [tf.lite.Optimize.DEFAULT]

# Convert to TFLite Model
tflite_model = converter.convert()

_, dynamic_tflite_path = tempfile.mkstemp('.tflite')
tflite_model_size = open(dynamic_tflite_path, 'wb').write(tflite_model)
tf_model_size = os.path.getsize('/content/tensorflow-yolo-v3/frozen_darknet_yolov3_model.pb')
print('TensorFlow Model is {} bytes'.format(tf_model_size))
print('TFLite Model is {} bytes'.format(tflite_model_size))
print('Post training dynamic range quantization saves {} bytes'.format(tf_model_size-tflite_model_size))

TensorFlow Model is 246490836 bytes
TFLite Model is 62346176 bytes
Post training dynamic range quantization saves 184144660 bytes
    
```

Figura 25: Reconocimiento de reconversión de archivos para reducción de datos

### 5.3 Esquema electrónico con la IA

Desarrollada la IA, la **rapsberry pi**, alimentada en la señal inteligente a través de las baterías 7 Ah/12v, previa conversión de 12v a 5v, **da la orden a Arduino**, una vez detectado el objeto, el ciclista, para que, en base a la programación de este último, se active el sistema luminoso de la señalización vertical (orla y pictograma) y las balizas leds de suelo.

De esta forma un único elemento de **detección**, basado en **IA**, sería suficiente para activar el sistema; adquiriéndose, en consecuencia, unos niveles de **fiabilidad y eficacia muy altos** y, en cualquier caso, superior al marcado con el sistema de detección mediante lazo inductivo y radar doppler.

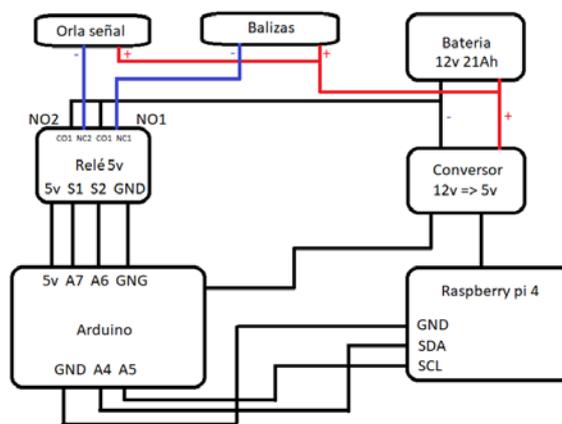


Figura 26 Esquema y montaje de circuitos/conexiones

### 5.4 Programación combinada Arduino & IA

El establecimiento conjunto entre rapsberry pi y Arduino, mediante la comunicación I2C, se realiza al conectar físicamente el bus que utiliza 3 pines fijados para cada dispositivo del proyecto I+D+i: uno en la que se envían los datos (Línea de datos en serie SDA), y el otro en la que se envía el reloj de sincronización. De esta forma la **rapsberry pi se convierte en el método de captación de imágenes** y detección del ciclista, reconociendo al ciclista, y solicita al **Arduino la activación de las luces leds**; al igual, en este último paso, que ocurría con los sensores, Arduino se programa para permanecer encendido durante 10 min con una frecuencia de 30%/seg activo, tanto en las balizas de led de suelo y orla de la señal vertical (luz roja), como en el pictograma (luz blanca) de la propia señal vertical; quedando, ambas led, diferencias en cuanto a color y momento de

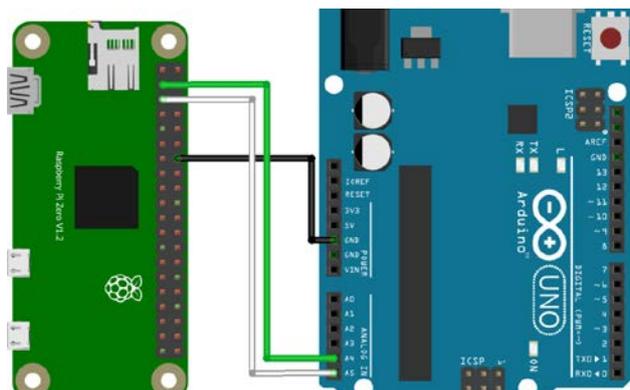
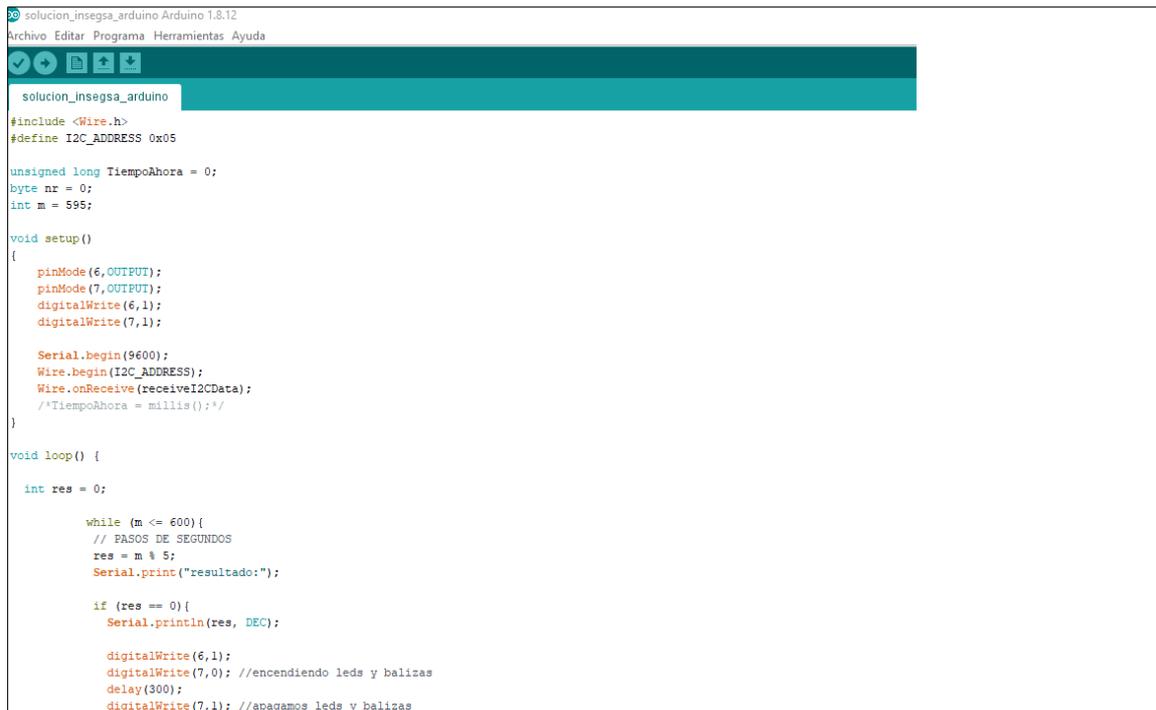


Figura 27 Conexión RPI-Arduino

encendido. Los fundamentos deben estar conectados para establecer una referencia potencial común, de la siguiente forma:

- SDA BCM2(RPI) <-> SDA A4(Arduino)
- SCL BCM3(RPI) <-> SCL A5(Arduino)
- GND (RPI) <-> GND(Arduino)



```
solucion_insegna_arduino Arduino 1.8.12
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

solucion_insegna_arduino
#include <Wire.h>
#define I2C_ADDRESS 0x05

unsigned long TiempoAhora = 0;
byte nr = 0;
int m = 595;

void setup()
{
  pinMode(6,OUTPUT);
  pinMode(7,OUTPUT);
  digitalWrite(6,1);
  digitalWrite(7,1);

  Serial.begin(9600);
  Wire.begin(I2C_ADDRESS);
  Wire.onReceive(receiveI2CData);
  /*TiempoAhora = millis();*/
}

void loop() {
  int res = 0;

  while (m <= 600) {
    // PASOS DE SEGUNDOS
    res = m % 5;
    Serial.print("resultado:");

    if (res == 0) {
      Serial.println(res, DEC);

      digitalWrite(6,1);
      digitalWrite(7,0); //enciendiendo leds y balizas
      delay(300);
      digitalWrite(7,1); //apagamos leds y balizas
    }
  }
}
```

Figura 28 Programación de “Active Cyclist Detection” en Arduino

## 5.5 Resultados extraídos por detección mediante IA

Con el desarrollo del programa IA “Active Cyclist Detection”, se desarrollan diversas pruebas, previo a la incorporación en carretera, generando el check-list que, a continuación, se presenta:

Sistema de detección	Fecha recogida datos	Hora de paso	Velocidad paso km/h (velocímetro)	Combinación vehículo (paralelo)	Resultado
Inteligencia Artificial	25/03/2022	17:03	-	NO	Positivo
Inteligencia Artificial	25/03/2022	17:07	-	NO	Positivo
Inteligencia Artificial	25/03/2022	17:14	-	NO	Positivo
Inteligencia Artificial	25/03/2022	17:20	-	NO	Positivo
Inteligencia Artificial	25/03/2022	17:26	-	NO	Positivo
Inteligencia Artificial	25/03/2022	17:33	-	NO	Positivo
Inteligencia Artificial	25/03/2022	17:41	-	NO	Positivo
Inteligencia Artificial	25/03/2022	17:44	-	NO	Positivo
Inteligencia Artificial	25/03/2022	17:45	-	NO	Positivo
Inteligencia Artificial	25/03/2022	17:47	-	NO	Positivo
Inteligencia Artificial	25/03/2022	17:50	-	NO	Positivo
Inteligencia Artificial	25/03/2022	17:55	-	NO	Positivo
Inteligencia Artificial	29/03/2022	8:33	-	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	29/03/2022	8:36	-	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	29/03/2022	8:38	-	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	29/03/2022	8:40	-	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	29/03/2022	8:44	-	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	29/03/2022	8:45	-	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	29/03/2022	8:45	-	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	29/03/2022	8:46	-	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	30/03/2022	19:04	31	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	30/03/2022	19:05	16	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	30/03/2022	19:05	18	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	30/03/2022	19:05	20	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	30/03/2022	19:05	18	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	30/03/2022	19:06	32	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	30/03/2022	19:09	40	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	30/03/2022	19:10	31	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	30/03/2022	19:12	19	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	30/03/2022	19:13	20	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	30/03/2022	19:13	23	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	30/03/2022	19:13	20	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	30/03/2022	19:14	36	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	30/03/2022	19:15	31	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	30/03/2022	19:21	32	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	05/04/2022	11:05	22	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	05/04/2022	11:05	24	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	05/04/2022	11:06	16	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	05/04/2022	11:08	29	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	05/04/2022	11:10	28	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	05/04/2022	11:11	22	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	05/04/2022	11:11	18	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	05/04/2022	11:11	19	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	05/04/2022	11:12	18	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	05/04/2022	11:13	24	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	12/04/2022	19:04	20	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	12/04/2022	19:04	18	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	12/04/2022	19:05	22	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	12/04/2022	19:05	30	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	12/04/2022	19:06	41	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	12/04/2022	19:10	28	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	12/04/2022	19:11	26	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	12/04/2022	19:14	15	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	12/04/2022	19:15	17	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	12/04/2022	19:18	19	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	12/04/2022	19:18	22	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	12/04/2022	19:20	25	SI	Positivo
Inteligencia Artificial	12/04/2022	19:20	28	SI	Positivo

Tabla 3: Chequeo de pruebas detección mediante IA. Combinación ciclistas - vehículos

Las diversas **pruebas de campo**, previo a la instalación en carretera en sustitución de los sensores (lazo inductivo y radar Doppler), arrojan **resultados extraordinarios** en cuanto a la eficacia del programa desarrollado. El chequeo realizado no detecta error o falta de detección alguna y, a su vez, se comprueba que el registro de vehículos al mismo tiempo (bicicleta y vehículo) los reconoce y registra sin errores; resultado un **nivel de eficacia**, en prueba de campo, del **100%**.

## 6. DESARROLLO Y RESULTADOS DE LA PRUEBA PILOTO CON LA IMPLEMENTACIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

A finales del mes de marzo, principios de abril, del año **2021**, el proyecto I+D+i daría el paso de prototipo a **prueba piloto**; dando acceso a recabar información real, de campo, y testear opiniones de ciclistas y del resto de vehículos usuarios en un tramo de carretera abierto al tráfico y perteneciente, en este caso, a la Diputación Provincial de Cáceres; concretamente en la carretera CC-38, nexo de unión entre Cáceres y Casar de Cáceres. Una carretera con alto IMD, un ancho de arcén de apenas un metro y frecuentado por ciclistas; siendo en un tramo idóneo para probar la capacidad de intervención de este sistema de señalización.

Los **resultados obtenidos**, hasta la fecha, transcurrido más de 1 año desde que se puso en marcha la prueba piloto, son **favorables**, ya que el equipo muestra **fiabilidad** respecto a la climatología (frío, calor, lluvia, tormenta, nieblas y diferentes contrastes lumínicos del día y la noche) y a las velocidades de tránsito, y los resultados, aportados por diversos club ciclistas de la ciudad de Cáceres y del entorno, muestran **satisfacción de los ciclistas** en cuanto a separación y velocidad de paso del vehículo cuando circula en paralelo al ciclista. Por otra parte, analizadas y evaluadas otras variables del equipo, desde la implementación de la Inteligencia Artificial (IA), a partir del primer trimestre del año 2022, también es capaz de discriminar, con absoluta precisión, cualquier tipo de vehículo respecto a las personas y, en consecuencia, al ciclista de cualquier otro usuario. Por lo tanto, todo ello justifica el **correcto funcionamiento del sistema**.

Además del feedback positivo, hay que reseñar algunas manifestaciones, realizadas públicamente por notorios participantes y autoridades que hicieron presencia el día de prueba experimental, el día de la presentación del prototipo, en el mes de junio del año 2020. Por entonces, el Ilmo. Sr. D. Diego Yebra Rovira, Fiscal Delegado de Seguridad Vial de Badajoz, ya remarcaba la necesidad de este tipo de proyectos innovadores, encaminados a la mejora de la seguridad vial.

En la actualidad, **concluida la prueba piloto**, puede indicarse que el proyecto aporta, como repercusión directa en materia de seguridad vial, **dos características** bien marcadas: la **aminoración**

**de la velocidad**, por parte de los conductores o usuarios a motor, cuando el sistema está activado (encendido), respecto a cuando no lo está; y el **correcto adelantamiento de manera generalizada**, de conductores a ciclistas, haciendo uso del carril de sentido contrario, en atención de las correctas medidas de visibilidad y separación mínima 1,5 m.

## 7. FASE ACTUAL DEL PROYECTO I+D+i.

La fase en que se encuentra, en la actualidad, el proyecto Active Cyclist Detection es el siguiente:

- ❖ **Finalización del periodo de prueba piloto** (1 año de prueba en un tramo de carretera convencional perteneciente a la Red de Carreteras de la Diputación de Cáceres).

## 8. OBJETIVOS DEL PROYECTO I+D+i.

### Objetivos del proyecto

El objetivo principal consiste en la creación de un producto que permite **informar al vehículo usuario**, mediante un sistema de señalización autónomo y con capacidad de impacto, acerca de la **presencia de ciclistas en carretera**.

A partir de este objetivo, se pretende, a su vez, conseguir los siguientes objetivos específicos:

- ❖ Reducir la siniestralidad de los ciclistas.
- ❖ Mejorar la seguridad vial.

### Singularidades del proyecto

La innovación del proyecto responde con su propia esencia a *“ser el resultado de un sistema que modifique el comportamiento humano, en el marco de la seguridad vial”*.

En primer lugar porque está basado en el **uso de tecnología innovadora**, donde la IA es capaz de determinar variables y generar predicciones que hacen del sistema un gestor de información único y de aplicabilidad directa sobre la mejora indiscutible de la seguridad “entre” personas.

Del mismo modo, todas y cada una de las variables están orientadas a informar a la parte vinculante (los conductores), tomando por base, atendiendo a la evidencia científica, diferentes estudios propios,

tras análisis de campo y entrevistas directas a ciclistas y clubes de ciclistas, y otros trabajos de investigación (tesis doctorales), desde el ámbito de la psicología y sociología; todo ello con el objetivo de conocer y comprender cuales son las causas por las que se producen los accidentes; resultando que la causa principal es la distracción del usuario a motor al frente del volante.

En este sentido, cabe destacar que la visión de INSEGSA, y el paradigma abordado, se centra la búsqueda de un elemento que humanice la enquistada relación entre vehículos y bicicletas; reconociendo como elemento principal a resolver la distracción del usuario a motor, y entendiendo que la única relación real e inmutable es, y será siempre, la existente entre persona y persona.

Este proyecto I+D+i se trabaja para transformar el canal de información, donde el usuario a motor o conductor es mero receptor de información, en un canal integro de comunicación. Pudiendo tanto conductor y ciclista, así como conductor y otro usuario, no solo recibir información, sino igualmente, responder e interactuar entre sí. Evidentemente sin que estas acciones repercutan lo más mínimo en la atención sobre la vía.

Manifiestar, tal y como ya se ha expresado en los primeros capítulos de esta Memoria, que el proyecto inicial se planteó con el empleo de tecnología magnética y doppler. Dotando al prototipo inicial, técnicamente, de las mismas herramientas que, y valga como ejemplo un símil en el Reino Animal, las virtudes que algunas especies disponen para captar información, como es el caso de los quirópteros (murciélagos). Sin embargo, la búsqueda de la máxima eficacia y eficiencia, entendiendo que el sistema no solo debe detectar, sino también procesar, controlar, gestionar y dar información “sensible” en tiempo real, al objeto ofrecer máxima seguridad vial, fueron motivos, más que suficientes, para reorientar el proyecto hacia una tecnología innovadora y de futuro, la IA; asegurando así el objeto pretendido.

## 9. RESULTADOS PRUEBA PILOTO

Implantadas las 4 señales, entre marzo y abril del pasado año 2021, se han realizado **controles periódicos**, al inicio semanalmente y posteriormente quincenal y mensualmente, durante todo un año. De este seguimiento, se confirma que no ha habido nada que destacar, a excepción del refuerzo que INSEGSA tuvo que realizarse, a principios de mayo de 2021, en una de las señales; motivado por el excesivo balanceo que el poste generaba y que, a su vez, afectaba a los equipos electrónicos. Reforzado el poste, mediante anillado exterior, el balanceo por viento del poste adquirió niveles tolerables para cumplir los objetivos previstos.

También se constata que, durante el año, **no se ha tenido que sustituir ningún recurso interior**, ni luces o balizas led, ni baterías, ni placas fotovoltaicas, nada, por lo que el sistema muestra robustez a

la intemperie y fiabilidad para el fin previsto. Aunque se produce, previa solicitud a la Administración Pública titular de la carretera, en el primer trimestre del año 2022, el criterio de implantar un nuevo dispositivo, de última generación, la IA, aún más eficaz que el inicial lazo inductivo; asumido, directamente, por la propia empresa INSEGSA ingeniería preventiva S.L., motivado por su objetivo de evolución continua en la mejora del producto. Este nuevo dispositivo, al final, acabaría siendo implantado en los 4 equipos de detección.

El empleo de la IA, aunque trae aparejado nuevos dispositivos, ha obligado, a INSEGSA, a realizar un nuevo proceso de ensamblaje y reconfiguración interna de la señal vertical. Como ya estaba previsto el prediseñado y reconfiguración, por parte de INSEGSA, finalmente todo ha podido ser ensamblado en el interior de la señal; cumpliendo con el fin de que no pudiera ser visto o manipulado por terceros. Esta nueva reconfiguración y programación ha permitido aumentar la fiabilidad a un 100%. A fecha actual, INSEGSA informa que la **robustez inicial no ha variado** y no hay debilidades, tras la implementación de la IA, en cuanto a las condiciones climatológicas (frío, calor, tormenta, lluvia...); en consecuencia, se puede corroborar que el equipo **ha ganado fiabilidad**, y la configuración inicial, con la implementación de energías renovables, tampoco ha sido mermada ni ha sido necesario modificarla, ya que el equipo se adecua a la demanda energética que necesita.

Por otra parte, indicar que INSEGSA también ha **chequeado el comportamiento de los usuarios** de la carretera, la velocidad de tránsito del trayecto y se constata que en las zonas de implantación de los sistemas se han comprobado dos características bien marcadas: la repercusión directa con la **aminoración de la velocidad**, por parte de los conductores, cuando el sistema está activado (encendido), respecto a cuando no lo está; y el **correcto adelantamiento** de manera generalizada, de conductores a los ciclistas, haciendo uso del carril de sentido contrario, en atención de las correctas medidas de separación mínima 1.5 m.

Con lo cual, se puede indicar que los **resultados obtenidos son favorables en cuanto a fiabilidad y validez** a los diferentes aspectos que se evaluaban, y se justifica el correcto funcionamiento del sistema.

## 10. IMPACTO SOCIAL

### Adecuación del proyecto a cualquier tipo de infraestructuras

Teniendo en cuenta que el proyecto Active Cyclist Detection está destinado, principalmente, a las Administraciones Públicas propietarias de las carreteras, así como a la Administración competente en la regulación del tráfico, como es la DGT, y teniendo conocimiento que los ciclistas circulan junto a vehículos en cualquier tramo de carretera convencional interurbano y urbano, destacar que el proyecto

puede instalarse en **cualquier tipo de vía**, tanto de propiedad estatal, regional, provincial e inclusión local, y tanto con arcén como sin arcén.

#### Problema o necesidad social que resuelve el proyecto

Si partimos de la condición “*La seguridad vial es compromiso de todos*” este proyecto no trata de buscar el equilibrio entre los vehículos a motor y los de tracción humana, tampoco entre coches, camiones y autobuses con bicicletas, ni siquiera entre vehículos poderosos y débiles; sencillamente trata de **crear un espacio común y de convivencia** entre semejantes.

Curiosamente, la sociedad manifiesta saber a la perfección sus derechos y obligaciones a la hora de hacer uso de las carreteras y sus infraestructuras. Lamentablemente no es un dato que corrobore el informe de siniestralidad (sobre ciclistas) que la DGT publica anualmente al respecto, y frente a la igualdad de derechos está la desigualdad de los más desprotegidos en los casos de accidente; indistintamente de que éstos sean leves, graves o como en muchos de los casos, con resultado de muerte.

La existencia o coexistencia de las variables más destacadas en estos percances, como son la velocidad, distancia del trayecto, cansancio, abuso de sustancias, tipo de vehículo involucrado, sus características y la distracción (mayor causa de accidentes), entre otras, despertó la necesidad, respecto a estudiar la posibilidad de desarrollar una herramienta, que pudiera facilitar al conductor, en tiempo real, información objetiva, clara y concisa, sobre el tránsito de personas en bicicleta o a pie, advirtiéndole convenientemente.

Los avances actuales de la tecnología y el sentir de nuestra sociedad, cada día más comprometida con la necesidad de hacer deporte, como el ciclismo en carretera, son motivos por los que las autoridades competentes están en continuo desarrollo de nuevas normas de circulación, sumado a otra serie de recursos encaminados principalmente hacia la protección del usuario más vulnerable en carretera, el ciclista, desde este paradigma “*Ser humano que practica ciclismo*”. Sin embargo, tal y como se ha comentado anteriormente, los resultados de la estadística muestra como las medidas implantadas desde el año 2008, en cuanto al número de ciclistas fallecidos en las carreteras, hasta la actualidad, NO han generado el efecto deseado.

El proyecto Active Cyclist Detection rompe el concepto inicial de limitarse a la seguridad pasiva, ya que el sistema de señalización luminosa, que se dota al equipo, permite captar la atención al usuario para advertirle de la presencia próxima de ciclistas, y así tomar medidas frente a la distracción del usuario a motor o conductor principal, como causa principal de atropellos a ciclistas.

- ☐ • **Personas beneficiarias a las que va dirigido el proyecto**

Las personas beneficiarias son **todas las personas** que hagan uso de cualquier vía que forman parte de la Red de Carreteras; indistintamente de su medio de transporte.

Podemos decir que prácticamente de **toda la sociedad en su conjunto**, podría considerarse beneficiaria, ya que el proyecto pretende reducir las víctimas mortales por atropello en carretera, aunque los principales beneficiarios, con la implantación de este equipo de señalización, son los ciclistas de carretera, siendo éstos los más vulnerables, ante la aparición de un siniestro, cuando los otros actores son usuarios con vehículos a motor.

## 11. ASPECTOS ECONÓMICOS.

Si se compara este sistema de señalización inteligente con el coste que supone, a modo de ejemplo, la ejecución y mantenimiento de un carril-bici hay que señalar que el **ahorro económico es notable para las Administraciones Públicas**. Basado en una estimación inicial de los costes de ambos proyectos, se puede decir que estos se reducen hasta un 95-96% del coste total para una misma longitud de tramo de carril bici, es decir, este equipo de señal inteligente no superaría el **4-5%** de la inversión que supone la creación de un **carril bici**.

## 12. DESARROLLO DE OTROS PROGRAMAS DE INNOVACIÓN VINCULADOS A ACTIVE CYCLIST DETECTION.

La aplicación de la IA nos está permitiendo alcanzar **nuevos retos**, impensables cuando se dieron los primeros pasos de este proyecto I+D+i, para llevarnos hacia la **digitalización completa de las infraestructuras** dónde se utilice la señal inteligente Active Cyclist Detection. Con la misma instrumentación empleada, y el progresivo avance que INSEGSA está generando a la programación del proyecto Active Cyclist Detection, se está consiguiendo un gran progreso en los siguientes programas:

- **Programa “Aforo”**. Programa denominado así por INSEGSA haciendo gala a la toma de datos sobre los usuarios que pasan por la carretera. La recogida de este tipo de información no solo efectúa con conteo de vehículos si no que, además, los selecciona, y fija la fecha y hora de tránsito; permitiendo arrojar, a partir de archivos .csv, datos fácilmente secuenciados y transformados en estadísticas gráficas.

- **Programa “Real time”.** Programa, también denominado así por INSEGSA, que va a permitir acceder en tiempo real a la cámara dispuesta en la señal, desde cualquier dispositivo tecnológico (móvil, tablet, ordenador...) y desde cualquier parte del territorio nacional que tenga acceso a internet.

Con ambos programas, se puede decir, que se lanza al mercado una gran fuente de datos, en materia de seguridad vial, para digitalizar completamente la carretera.

### 13. REFERENCIA A LOS PLANOS DEL PROYECTO I+D+i.

A continuación, se definen e identifican las figuras (numeración propia al referenciarse como Planos) recogidas en el capítulo 14:

En la figura 1 se representa una carretera tipo o plataforma viaria, compuesta por dos carriles (1) de circulación y uno para cada sentido (2), y dos arcenes (3) localizados a ambos lados de estos carriles. La zona de ocupación (4) de los ciclistas, cuando circulan en carretera, se localiza en el arcén y en parte del carril del sentido de la marcha; separándose el carril del arcén mediante con una línea de separación o marca vial (5). La berma (10) se localiza a partir del extremo exterior del arcén. Los ciclistas (6) ocuparían el arcén y parte de carril (4) y el vehículo usuario (7) circularía por su único espacio de circulación, el carril (1). La señal luminosa vertical (8) se ubicaría en la berma y las luces LED (9) en la proximidad de la línea de separación del carril y el arcén, esto es, aproximadamente, donde suelen colocarse los captafaros u ojos de gato de arcén, tal y como se pueden ver en la mayoría de las carreteras convencionales.

La figura 2 refuerza, a través de una vista de perfil, lo planteado en la figura 1. Se aprecian los principales actores a los que va destinada la invención; la carretera (1), el vehículo (7) y las bicicletas (6), junto a uno de los elementos que forman parte del producto de invención: la señal vertical luminosa (8) con el panel solar (11).

La figura 3 representa, en detalle, la zona de la calzada pavimentada (3) por donde transitan las bicicletas (6), la línea de separación del carril y arcén (5), la berma (10) donde se instala la señal vertical (8) y el panel solar (11), así como el sistema de detección de bicicletas; el romboide de lazo inductivo (13) y la línea de conexión (14) del romboide con el detector situado en el interior de la señal vertical. También se detalla la línea de alimentación (12) de las luces LED y uno de los puntos LED (9).

En la figura 4 se representa el esquema de la señal vertical luminosa (8), compuesta por un texto fijo (16) descrito “ATENCIÓN, CICLISTAS CIRCULANDO” y un panel luminoso (17) que, una vez, detectado el ciclista se activará con un pictograma sobre “DISTANCIA DE SEGURIDAD 1,5 VEHICULO Y CICLISTA, ↑ 5 kms ↑”. También se ubica, sobre la señal vertical, el panel solar (11) que será el elemento de captación de la energía solar para cargar las baterías (20) que a su vez será la fuente para

alimentar el panel luminoso (17) de la señal vertical, el detector (18) y sistema de detección mediante lazo inductivo (13) (14), el radar/cámara IA (21) y la línea de alimentación (12) de las luces LED (9).

La figura 5 representa el esquema de detección mediante lazo inductivo, compuesto por el romboide (13), encastrado en el pavimento, la línea de conexión (14) también encastrada en el pavimento, y el detector (18) que quedaría insertado en el interior de la señal para su guarda.

La figura 6 esquematiza el sistema de captación de la energía renovable del tipo solar. Se incluye un panel solar fotovoltaico (11) para captar la energía solar, unas baterías (20) para el almacenaje de la energía y un circuito electrónico (19) de gestión y control del sistema. La energía solar captada y almacenada servirán de alimentación (17) al panel luminoso de la señal vertical (17) y a las luces LED (9), durante el tiempo estimado de actividad.

En la figura 7 se esquematiza el sistema de luces LED, con la línea de conexión (15) que quedaría encastrada en el pavimento (del mismo modo que el lazo inductivo), la línea de alimentación (12) de la iluminación LED, también encastrada en el pavimento, así como las propias luces LED, también embutidas en el propio pavimento.

En la figura 8 se esquematiza el sistema de captación de la energía renovable del tipo solar, para la alimentación del radar/cámara. Se incluye un panel solar fotovoltaico (11) para captar la energía solar, unas baterías (20) para el almacenaje de la energía y un circuito electrónico (19) de gestión y control del sistema. La energía solar captada y almacenada servirán de alimentación, además del resto de la electrónica ya prevista, al radar/cámara IA (21).

14. PLANOS.

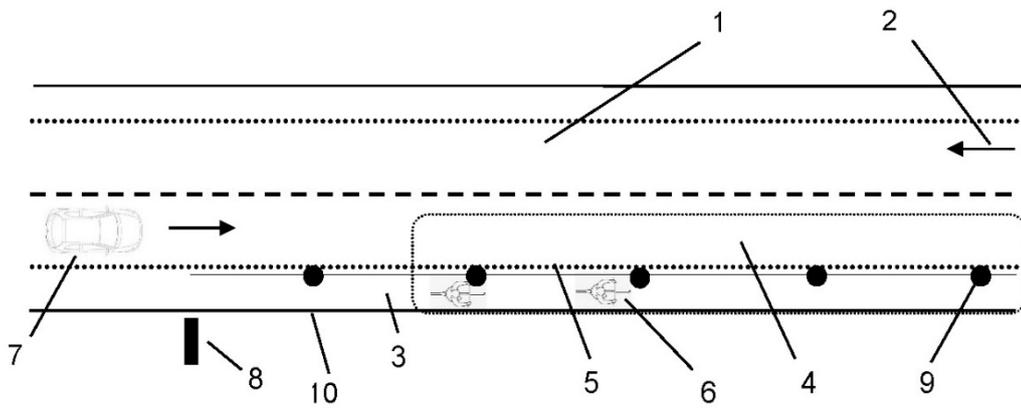


Figura 1

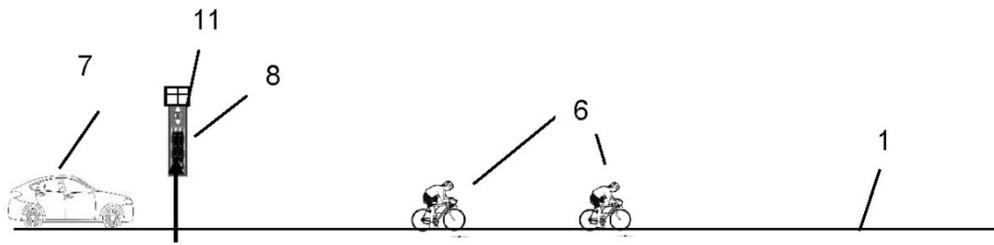


Figura 2

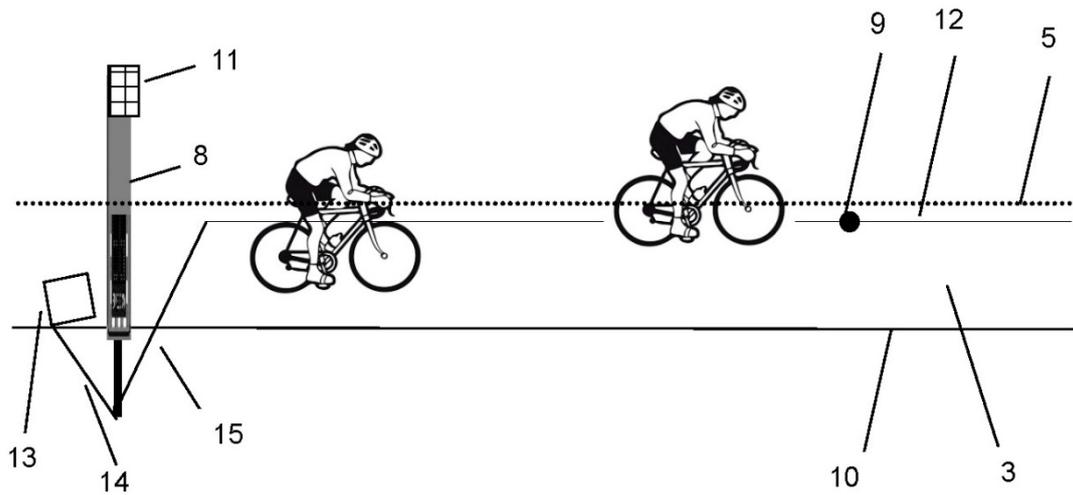


Figura 3

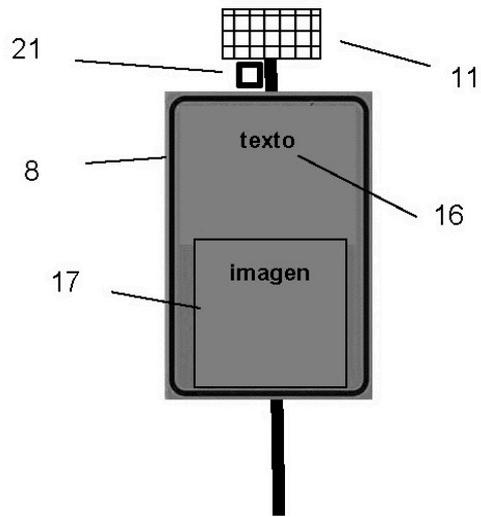


Figura 4

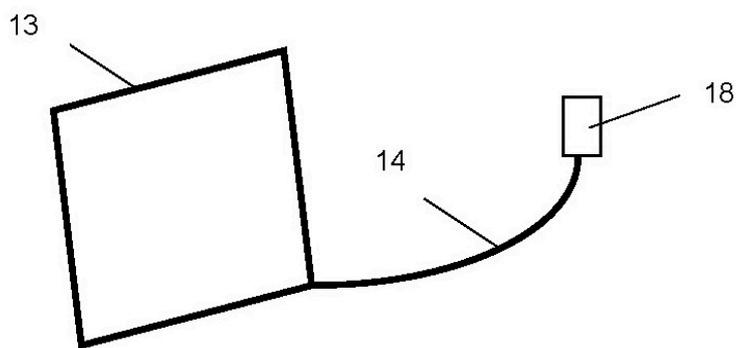


Figura 5

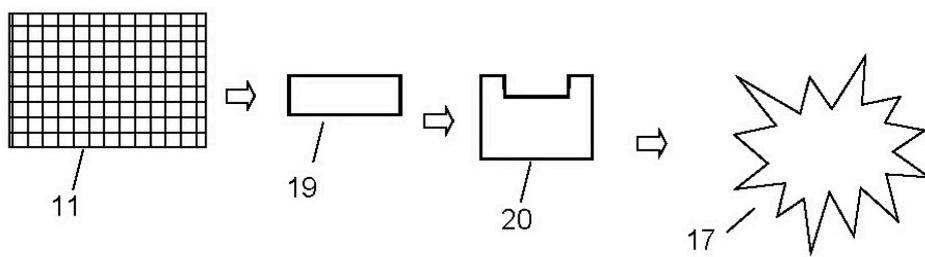


Figura 6

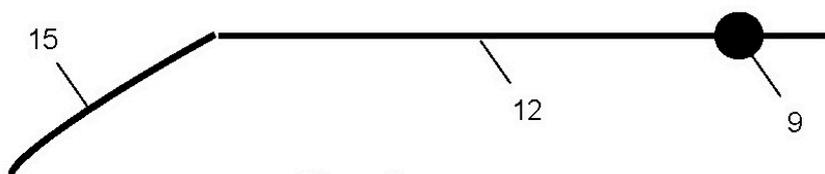


Figura 7

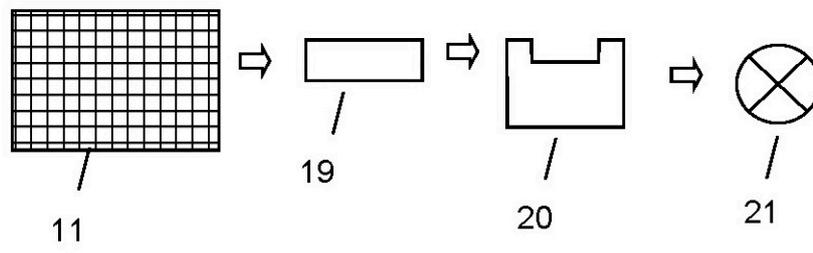


Figura 8