



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Optimización de la gestión del tráfico interurbano: Análisis
comparativo de tecnologías de aforadores y propuesta de
construcción de estaciones de aforo

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Sistemas Inteligentes de Transporte

AUTOR/A: Ferrer Montilla, Iván

Tutor/a: Martínez Millana, Antonio

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Resumen

Este documento trata de analizar las diferentes soluciones tecnológicas existentes para realizar recuentos de vehículos en entornos interurbanos. Primero se realiza una introducción a los recuentos vehiculares para entender qué tipos existen y qué utilidad tienen estos. El análisis se lleva a cabo tanto a nivel de tecnologías existentes como a nivel de mercado, enumerando diferentes equipos de las distintas tecnologías relevantes en el mercado actual. Esta comparación se ha realizado mediante el contacto con diferentes empresas y el posterior análisis de la información. Además, se realiza una comparación técnica y económica de las tecnologías, analizando aspectos como la calidad de los datos obtenidos en cada una de las tecnologías y sus capacidades para adaptarse a los diferentes escenarios en los que se puede realizar un recuento. Por último, se plantean dos escenarios de instalaciones de estaciones de recuento vehicular en dos puntos tipo que representan los escenarios más típicos que se pueden encontrar. Este planteamiento incluye la descripción de las diferentes instalaciones y el presupuesto en cada una de las tecnologías en puntos de instalación reales, los puntos donde se ha realizado el planteamiento de la instalación se encuentran en la carretera N-332 en el punto kilométrico 231+800 y en la carretera A-38 en el P.K. 19+800.

Resum

Aquest document tracta de analitzar les diferents solucions tecnològiques existents per a realitzar aforaments de vehicles en entorns interurbans, primer es realitza una introducció als aforaments vehiculars per saber quin tipus existeixen i quina utilitat tenen aquests, el anàlisi es realitza tant a nivell de tecnologies existents como a nivell de mercat, numerant diferents equips de les diferents tecnologies rellevants en el mercat actual, aquesta comparació s'ha realitzat mitjançant el contacte en diferents empreses i el posterior anàlisi de la informació, addicionalment es realitza una comparació tècnica i econòmica que presenten les tecnologies, analitzant aspectes com la qualitat de les dades obtingudes en cadascuna de les tecnologies així com les capacitats de aquestes per a adaptar-se als diferents escenaris en el que es pot realitzar un aforament, per acabar es plantegen dos escenaris de instal·lacions de estacions de aforament vehicular en dos punts tipus que representen els escenaris mes típics que es poden trobar, aquest plantejament inclou la descripció de les diferents instal·lacions i el pressupost en cadascuna de les tecnologies en punts d'instal·lació concrets, els punts escollits per al plantejament d'instal·lació es troben en la carretera N-332 en el punt quilomètric 231+800 i en la carretera A-38 en el punt quilomètric 19+800.

Abstract

This document aims to analyze the different existing technological solutions for vehicle counts in interurban environments. First, an introduction to vehicle counting is provided to understand the types that exist and their utility. The analysis is conducted at both the level of existing technologies and the market, listing various equipment from different relevant technologies in the current market. This comparison has been made through contacting different companies and later analyzing the information. Additionally, a technical and economic comparison of the technologies is made, examining aspects such as the quality of the data obtained in each of the technologies and their capabilities to adapt to the different scenarios in which a count can be performed. Finally, two scenarios of vehicle counting station installations are proposed at two typical points standing for the most common scenarios that can be encountered. This approach includes the description of the different installations and the budget for each of the technologies in real locations, these locations are found on the N-332 road at kilometer 231+800 and on the A-38 road at kilometer 19+800.



Índice

Capítulo 1.	Introducción.....	0
1.1	Objetivo de este documento	0
1.2	Aforamiento vehicular.....	1
1.3	Funcionalidades.....	3
1.4	Normativa.....	4
Capítulo 2.	Metodología de trabajo.....	8
2.1	Introducción.....	8
2.2	Requisitos funcionales y técnicos.....	8
2.3	Contexto tecnológico.....	10
2.3.1	Aforadores intrusivos	11
2.3.2	Aforadores no intrusivos	18
2.4	Comparativa	27
2.5	Diseño del estudio	29
Capítulo 3.	Soluciones de mercado.....	31
3.1	Aforadores espiras.....	31
3.1.1	Aforadores Hitrac	31
3.1.2	Aforador ADR-sabre.....	33
3.2	Aforadores tubo neumático	34
3.2.1	MetroCount VT-5900.....	35
3.3	Aforadores microondas	36
3.3.1	Viacount II.....	36
3.3.2	TC Radar	38
3.3.3	RTMS echo	39
3.4	Aforadores LPR.....	40
3.4.1	Traffic eye	40
3.4.2	Smart 2HD.....	41
3.5	Aforadores infrarrojos	42
3.5.1	TDC 1	42
3.5.2	TDC-3.....	43
3.6	Resumen de soluciones de mercado.....	46
Capítulo 4.	Comparativa técnica y económica.....	47
4.1	Prueba de campo	47
4.1.1	Descripción de la ubicación	48
4.1.2	Configuración de los equipos	49



4.1.3	Análisis realizado	56
4.1.4	Conclusiones del análisis de la prueba	61
4.2	Comparativa técnica	61
4.2.1	Carriles	62
4.2.2	Calidad de los datos.....	64
4.2.3	Instalación	65
4.2.4	Mantenimiento necesario	67
4.2.5	Conclusiones	69
4.3	Económica.....	69
4.4	Conclusiones	74
Capítulo 5.	Propuesta de instalación	76
5.1	Propuestas de instalaciones	76
5.2	Caso 1: Carretera convencional con dos carriles uno en cada sentido	76
5.2.1	Descripción del punto.....	76
5.2.2	Descripción instalación	77
5.3	Caso 2: 2 Carriles en cada sentido con mediana.	89
5.3.1	Descripción del punto.....	90
5.3.2	Descripción instalación	90
Capítulo 6.	Conclusiones	103
Capítulo 7.	Presupuesto.....	105
Capítulo 8.	Bibliografía.....	111
Capítulo 9.	ANEXO I: Características técnicas de los equipos.	113
Capítulo 10.	ANEXO II: PLANOS.....	121



Tabla de ilustraciones

Ilustración 1: Imagen muestra visor Hermes. [fuente: Visor Hermes].....	3
Ilustración 2: Clasificación FHWA. [Fuente: FHWA[1]]	6
Ilustración 3: Clasificación COBA. [Fuente: COBA [3]].....	7
Ilustración 4. Detector electromagnético con lazo inductivo. Fuente: Internet.	11
Ilustración 5. Sondas de presión. Fuente: Internet.	12
Ilustración 6. Configuración piezo-espira-piezo. Fuente: Internet.....	12
Ilustración 7: Funcionamiento lazo inductivo. Fuente: Frans W. van den Berg (Wikipedia)	12
Ilustración 8: Ejemplo instalación configuración lazo inductivo doble. Fuente: Internet.	13
Ilustración 9. Instalación ejemplo aforador microondas. Fuente: Quadrex.....	19
Ilustración 10. Visión artificial.	19
Ilustración 11. Lector de matrícula OCR.	20
Ilustración 12: Sensor infrarrojo.	20
Ilustración 13: Ejemplo diagrama aforador microondas lateral. Fuente: Manual usuario RTMS Sx300.	21
Ilustración 14: Diagrama altura-distancia. Fuente: Manual usuario TC-Radar	22
Ilustración 15: Ejemplo fases algoritmo. Fuente: Internet.	24
Ilustración 16: Imagen LIDAR. Fuente: Internet.....	26
Ilustración 17: Hi-Trac UTC (izquierda) Hi-Trac EMU3 (derecha). Fuente: Q-Free.	32
Ilustración 18: MetroCount VT-5900. Fuente: Quadrex.	35
Ilustración 19: Aforador Viacount II. Fuente: ViaTraffic.....	37
Ilustración 20: Aforador TC RADAR. Fuente: Quadrex.	38
Ilustración 21: RTMS SX-ECHO. Fuente: ImageSensing.	39
Ilustración: 22: Traffic Eye Smart Sensor HR Overview	40
Ilustración 23: Smart 2HD. Fuente: Tattile.	41
Ilustración 24: Aforador TDC-1. Fuente: Adec Technologies.	42
Ilustración 25: Instalación tipo TDC-1. Fuente: Adec Technologies.	43
Ilustración 26: Aforador TDC-3. Fuente: Adec Technologies.	44
Ilustración 27: Instalación tipo en 6 carriles. Fuente: Adec Technologies.	44
Ilustración 28: Punto de instalación cámara lectura de matrículas. Fuente: CPS	48
Ilustración 29: Punto de instalación radar aforador lateral. Fuente: CPS	49
Ilustración 30: Ejemplo configuración equipo radar. Fuente: Manual RTMS-Sx300	50
Ilustración 31: Ejemplo Fine Tune equipo radar. Fuente: Manual RTMS-Sx300.	51
Ilustración 32: Pantalla información de salida. Fuente: Manual RTMS-Sx300.....	52
Ilustración 33: Configuración Smart HD Vega. Fuente: Manual Smart HD Vega	53
Ilustración 34: Configuración imagen Smart HD Vega. Fuente: Manual Smart HD Vega	54
Ilustración 35: Imagen documento salida. Fuente: Documento ejemplo CPS.....	55
Ilustración 36: Ventana configuración carriles. Fuente: Manual Smart HD Vega	56
Ilustración 37. Series temporales de la intensidad horaria-1. Fuente: CPS.	57
Ilustración 38. Series temporales de la intensidad horaria-2. Fuente: CPS.	58
Ilustración 39. Matriz de correlación de la intensidad total por equipo del grupo 1. Fuente: CPS.	59
Ilustración 40. Series temporales de la intensidad de pesados. Fuente: CPS.	60
Ilustración 41: Imagen aérea N-332 punto instalación. Fuente: Google Earth.	77
Ilustración 42: N-332 P.K. 231+800 - Sentido Creciente. Fuente: Google Earth.....	77
Ilustración 43: Aforador Hitrac UTC. Fuente: Q-Free.....	78
Ilustración 44: Regatas en calzada. Fuente: Elaboración propia.....	80
Ilustración 45: Instalación espiras dos carriles. Fuente: Elaboración propia.	81
Ilustración 46: Rúter industrial RUT 956. Fuente: Teltonika	83



Ilustración 47: Instalación planta LPR dos carriles. Fuente: Elaboración propia. 85

Ilustración 48: Instalación alzado LPR dos carriles. Fuente: Elaboración propia. 85

Ilustración 49: Aforador TC RADAR. Fuente: Quadrex. 86

Ilustración 50: Esquema instalación planta aforador microondas TC-Radar (2 carriles). Fuente:
Elaboración propia. 88

Ilustración 51: Esquema instalación alzado aforador microondas TC-Radar (2 carriles). Fuente:
Elaboración propia. 89

Ilustración 52: Imagen aérea A-38 P.K. 19+850 punto instalación. Fuente: Google Earth. 90

Ilustración 53: A-38 P.K. 19+850 - Sentido Creciente. Fuente: Google Earth. 90

Ilustración 54: Regatas en calzada para estación caso 2. Fuente: Elaboración propia. 93

Ilustración 55: Instalación espiras cuatro carriles. Fuente: Elaboración propia. 94

Ilustración 55: Instalación alzado espiras cuatro carriles. Fuente: Elaboración propia. 94

Ilustración 56: Instalación planta lectura de matrículas (4 carriles). Fuente: Elaboración propia.
..... 98

Ilustración 57: Instalación alzado lectura de matrículas (4 carriles). Fuente: Elaboración propia.
..... 98

Ilustración 58: Aforador radar RTMS-Sx300. Fuente: Image Sensing. 99

Ilustración 59: Instalación aforador microondas (4 carriles). Fuente: Elaboración propia. 101

Ilustración 59: Instalación alzado aforador microondas (4 carriles). Fuente: Elaboración propia.
..... 102

Capítulo 1. Introducción

Este capítulo realiza una introducción del documento, presentando primero los objetivos de documento, así como el marco teórico sobre el que se desarrolla este trabajo fin de máster.

Primero se pasan a numerar los diferentes puntos que se van a tratar a lo largo del documento definiendo las principales características de los trabajos desarrollados.

A continuación, se pasa a explicar que son los aforos vehiculares, que tipo de estaciones vehiculares se suelen utilizar y cuales es el objetivo con el que se llevan a cabo los diferentes aforos.

Por último, se introduce el marco normativo sobre el que se fundamentan los aforos vehiculares y las estaciones de aforo.

1.1 Objetivo de este documento

El objetivo de este trabajo fin de máster es estudiar de forma comparativa las diferentes tecnologías existentes para implementar aforadores de tráfico. Este análisis se plantea desde dos puntos de vista principalmente, estos son:

- Punto de vista técnico, es decir la calidad de datos que presentan los sistemas, así como el tipo de instalación necesario para llevar a cabo el aforo, así como sus diferentes necesidades de mantenimiento.
- Punto de vista económico teniendo en cuenta el coste de implantación de las diferentes tecnologías, así como de los elementos secundarios necesarios para el funcionamiento.

Para conseguir este objetivo se definen una serie de objetivos específicos.

- En primer lugar, de debe concretar el marco teórico del trabajo, definiendo los aforos vehiculares, y específicamente los aforos vehiculares en entornos interurbanos. A continuación, el objetivo es estudiar las diferentes normativas que se aplican a la hora de realizar dichos aforos.
- Otro objetivo específico es realizar un estudio de las diferentes tecnologías de aforo y sus ventajas y desventajas en el uso, adicionalmente se realiza un estudio de mercado con las soluciones actuales con las características que presentan y sus funcionalidades.
- Una vez realizado este estudio se pasará a llevar a cabo una comparativa a nivel técnico de las diferentes soluciones comerciales encontradas, viendo que necesidades tienen estas para llevar a cabo su función y que datos aporta cada una de las tecnologías.
- Como parte de este análisis técnico se realiza la ya mencionada prueba de campo y se analizarán los resultados obtenidos para ver cómo se desenvuelven las tecnologías en una instalación real.

- Para la comparativa económica se realizará el planteamiento del coste de las diferentes estaciones de aforo observando las diferentes partes con las que cuentan las diferentes estaciones y como cambian estas según sean estaciones de aforo permanentes o temporales.
- Por último, una vez realizado las comparativas se pasa a desarrollar dos instalaciones reales de estaciones de aforo con diferentes tecnologías en dos escenarios diferentes, en N-340 en las cercanías a la población de Nules, en concreto entre los PK 953+870 y el PK 954+100.

1.2 Aforamiento vehicular

Los aforos vehiculares son una parte esencial de la gestión y planificación del tráfico. Proporcionan datos valiosos sobre el volumen, la velocidad, el tipo de vehículos y otros aspectos del tráfico que pueden ser utilizados para mejorar la eficiencia y la seguridad de las vías de transporte [\[15\]](#)[\[16\]](#) ya que permiten obtener gran cantidad de información valiosa para el diseño de carreteras.

Hoy en día el proceso de aforo vehicular generalmente implica la instalación de un dispositivo de aforo en una vía de transporte específica, existen muchas tecnologías para llevar a cabo estos aforos [\[7\]](#).

Estos dispositivos recogen datos sobre el tráfico que pasa por esa vía durante un periodo de tiempo determinado. Los datos recogidos pueden incluir el número de vehículos, la velocidad a la que viajan, el tipo de vehículo (por ejemplo, coche, camión, motocicleta), y otros datos relevantes.

Los componentes específicos utilizados en los aforos vehiculares pueden variar dependiendo del tipo de aforo. Sin embargo, en general, un sistema de aforo vehicular puede incluir sensores para detectar vehículos, dispositivos para recoger y almacenar datos, y software para analizar y presentar los datos recogidos.

Algunos ejemplos de estaciones utilizadas por el Ministerio de transportes son aforadores Hitrac [\[4\]](#) o aforadores ADR [\[5\]](#), la DGT utiliza otro modelo diferente al que utiliza el Ministerio de transportes, en concreto utiliza el modelo ADR-5000 [\[6\]](#)

Existen varios tipos de estaciones de aforo de vehículos, cada una con sus propias características y usos

- Estación permanente: Las estaciones permanentes aforan las 24 horas del día, todos los días del año con equipos automáticos, instalados permanentemente, dotados de registradores horarios y de un sistema de detección de vehículos ligeros y pesados. Se instalan en vías importantes y aquellos tramos de vía que se pueden considerar

representativos de la red en lo que a tendencia del tráfico y su distribución temporal se refieren.

- Estación primaria: Las estaciones primarias aforan las 24 horas del día durante todos los días de una semana completa, en meses alternos, es decir 6 semanas al año, con aparatos automáticos de registro horario y un apoyo complementario de aforos manuales cuando sea necesario. Los meses de observación se seleccionan de manera alternativa procurando que cambien cada año.
- Estación secundaria: Las estaciones secundarias aforan las 24 horas de dos días laborales, en meses alternos, es decir 12 días al año, en grupos de dos, con aparatos automáticos de registro horario.
- Estación de cobertura: Estas estaciones aforan 2 días laborables al año.
- Estación semipermanente: Estas estaciones aforan las 24 horas del día durante una semana cada uno de los doce meses del año, es decir, 84 días al año.

Estas estaciones de aforo se utilizan para registrar el tráfico en las secciones de la red más significativas. La clasificación de las estaciones de aforo es función de la importancia que se atribuye al tráfico circulante por la vía.

Los aforos vehiculares se pueden realizar tanto en tramos interurbanos como en tramos urbanos y las tecnologías y equipos aplicados varían según el grupo objetivo al que se desea detectar, desde tráfico rodado o usuarios de bicicletas y vehículos de movilidad personal.

Estos aforos resultan extremadamente útiles para las diferentes administraciones públicas encargadas de llevar a cabo la operación de las diferentes carreteras del estado, en concreto permiten:

- Llevar a cabo una evaluación de la congestión del tráfico en la zona, evaluando la cantidad de vehículos que circulan en una determinada carretera, esto ayuda a identificar puntos de congestión y tomar medidas para mejorar la fluidez de tráfico mediante la adecuación de la vía según la utilización real de la misma.
- Ayuda al diseño de la infraestructura vial eficiente, sabiendo cuando una carretera necesita de una ampliación u otras soluciones que se aplican a la vía.

Para llevar a cabo los diferentes aforos se forman lo que se denomina Estaciones de Tomas de Datos, estas desempeñan un papel crucial en la medición y registro de datos específicos relacionados con el tráfico, tales como la intensidad y velocidad de la circulación, el porcentaje de vehículos pesados, las distancias entre vehículos y la ocupación de la vía. Equipadas con

sensores que capturan información en tiempo real, estas estaciones están estratégicamente situadas para monitorizar el área de influencia donde se recopila la información de los vehículos.

La información recopilada, que incluye el número de vehículos, su velocidad y clasificación, resulta fundamental para optimizar la movilidad y garantizar la seguridad en las carreteras. Esta es la plataforma Hermes [11], este visor cuenta con una gran cantidad de estaciones de aforo a lo largo de las carreteras españolas.



Ilustración 1: Imagen muestra visor Hermes. [fuente: Visor Hermes]

Gracias a este visor se puede observar la gran cantidad de estaciones con las que cuenta el ministerio de transportes.

1.3 Funcionalidades

Los datos recopilados por las ETD desempeñan un papel crucial en la gestión del tráfico y la seguridad vial. Estos datos son fundamentales para la planificación y diseño de infraestructuras viales, ya que permiten identificar áreas de tráfico denso o puntos críticos que requieren atención, facilitando una planificación más efectiva de carreteras y autopistas.

Además, estos datos son utilizados para el control del tráfico en tiempo real, proporcionando información instantánea sobre la intensidad del tráfico y la velocidad de los vehículos.

Esta información permite a las autoridades tomar medidas oportunas para gestionar el flujo vehicular, detectar y mitigar congestiones, y mantener la circulación fluida y segura en las carreteras.

Por otro lado, los datos de las ETD también contribuyen significativamente a mejorar la seguridad vial al identificar áreas peligrosas o tramos de carretera con alta incidencia de accidentes. Esto permite implementar medidas específicas para reducir riesgos y aumentar la seguridad para conductores y peatones, como la instalación de señalización adicional o reductores de velocidad.

Además de su utilidad en la gestión del tráfico y la seguridad vial, los datos recolectados por las ETD son fundamentales para comprender los patrones de movilidad y tráfico. Estos datos se utilizan en estudios que analizan cómo se desplazan los vehículos en diferentes momentos del día y en diversas condiciones climáticas, lo que ayuda a desarrollar estrategias de gestión del tráfico más efectivas y a mejorar la planificación urbana y regional.

Algunas administraciones como el ministerio de transportes recientemente han introducido un visor de las estaciones con las que cuentan y los diferentes aforos realizados en los últimos años.

1.4 Normativa

Las autoridades nacionales de los Estados miembros de la Unión Europea están en la obligación de suministrar información sobre tráfico. Es por esto por lo que los registros obtenidos sobre la Red de Carreteras del Estado deben cumplir con un mínimo de los parámetros unificados acordados en todos los Estados miembros de la Unión Europea según se puede observar en la página de Eurostat [\[14\]](#). [Referencia a normativa]

Así mismo, la información de tráfico anual se deriva a otros organismos oficiales como Eurostat, OTLE y la DGT.

Las categorías M1, M2, M3, N1, N2 y N3 son clasificaciones utilizadas para categorizar diferentes tipos de vehículos según su diseño y propósito. Estas categorías son definidas por la Unión Europea y son utilizadas en regulaciones relacionadas con aspectos como la seguridad vehicular, estas pueden ser utilizadas como base para la clasificación en las ETD, a continuación, se enumeran las categorías y como se definen.

- M1: Esta categoría incluye vehículos de pasajeros, diseñados y construidos para el transporte de personas y con capacidad de hasta 8 pasajeros además del conductor. Estos vehículos incluyen automóviles de pasajeros, camionetas y furgonetas.
- M2: La categoría M2 se refiere a vehículos diseñados y construidos para el transporte de pasajeros, con más de 8 asientos además del conductor, y con una masa máxima de hasta 5 toneladas. Esto incluye principalmente minibuses y autobuses pequeños.
- M3: Los vehículos de la categoría M3 son aquellos diseñados y construidos para el transporte de pasajeros, con más de 8 asientos además del conductor, y con una masa

máxima superior a 5 toneladas. Estos vehículos son autobuses de tamaño completo y autocares.

- N1: La categoría N1 incluye vehículos comerciales ligeros diseñados y construidos para el transporte de carga, con una masa máxima no superior a 3.5 toneladas. Esto incluye furgonetas y camionetas pequeñas.
- N2: Los vehículos de la categoría N2 son camiones y vehículos comerciales medianos, diseñados y construidos para el transporte de carga, con una masa máxima superior a 3.5 toneladas, pero no superior a 12 toneladas.
- N3: La categoría N3 abarca camiones y vehículos comerciales pesados, diseñados y construidos para el transporte de carga, con una masa máxima superior a 12 toneladas.

Estas categorías son útiles para establecer regulaciones específicas y estándares de seguridad, emisiones y otras características para cada tipo de vehículo, contribuyendo así a garantizar la seguridad vial y la protección del medio ambiente.

Entre todos los parámetros de tráfico registrados, la clasificación vehicular presenta mayores exigencias para la toma de datos en carretera. Esta clasificación en cuanto a la tipología de vehículos registrados se clasifica según la siguiente normativa de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE):

- Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de septiembre de 2007, por el que se establece un marco para la homologación de los vehículos de motor y sus remolques, y de los sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos.
- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental establece cinco categorías de vehículos en función de las características que posean en cuanto a la emisión de ruido.

La clasificación de vehículos a la que se recurre en la normativa anterior se basa en cinco grandes categorías, que a su vez son presentadas pormenorizadamente en diferentes tipos de vehículos:

- Categoría 1: Vehículos de motor ligeros. Turismos, camionetas $\leq 3'5$ t., todoterrenos, vehículos polivalentes, incluidos remolques y caravanas.
- Categoría 2: Vehículos pesados medianos. Vehículos medianos, camionetas $> 3'5$ t., autobuses, autocaravanas, entre otros, con dos ejes y dos neumáticos en el eje trasero.
- Categoría 3: Vehículos pesados. Vehículos pesados, turismos, autobuses, con tres o más ejes.

- Categoría 4: Vehículos de dos ruedas. Se distinguen dos subclases independientes para ciclomotores (de dos, tres y cuatro ruedas) y las motocicletas de mayor potencia (de dos, tres y cuatro ruedas).
- Categoría 5: Categoría abierta. Categoría reservada para nuevos vehículos que puedan fabricarse en el futuro que presenten características suficientemente diferentes en términos de emisiones de ruido.

Aparte de estas categorías internacionalmente existen diferentes clasificaciones, a continuación, se muestran las principales que se suelen utilizar.

- FHWA [1], esta clasificación cuenta con hasta 13 categorías, teniendo también categoría para los vehículos que no entren en ninguna categoría.

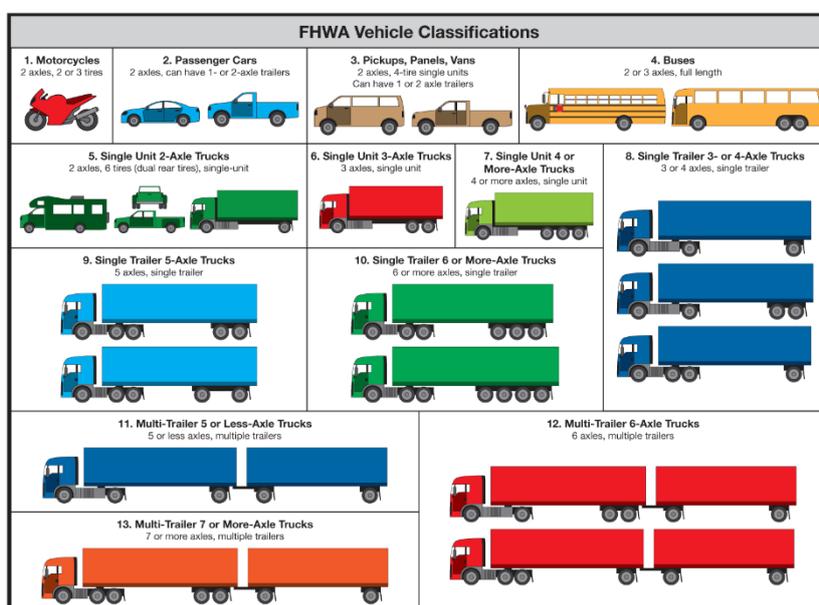


Ilustración 2: Clasificación FHWA. [Fuente: FHWA [1]]

- TLS [2] 8+1, esta clasificación alemana cuenta con 8 clases y una para vehículos indeterminados, estos incluyen:
 - Motocicletas
 - Automóviles
 - Furgonetas hasta 3.5 toneladas
 - Automóviles con remolque
 - Camiones
 - Camiones con remolque
 - Camiones con semirremolque
 - Autobuses
 - Vehículos no identificables

- COBA [3], esta clasificación del reino unido cuenta con 5 clases dividiéndose en las siguientes.

CAR	 SALOON  ESTATE  PEOPLE CARRIER  CAR TOWING CARAVAN/TRAILER
LIGHT GOODS VEHICLE (LGV)	 VAN  <15 TONNES  PICK-UP
OTHER GOODS VEHICLES (OGV 1)	 <15 TONNES  2 AXLES RIGID  2 AXLES RIGID  3 AXLES RIGID
OTHER GOODS VEHICLES (OGV 2)	 4 OR MORE AXLES RIGID  3 AXLES ARTIC  4 OR MORE AXLES ARTIC  OTHER GOODS VEHICLE WITH TRAILER
BUSES & COACHES (PSV)	 DOUBLE DECK BUS  SINGLE DECK BUS OR COACH

Ilustración 3: Clasificación COBA. [Fuente: COBA [3]]

Adicionalmente se obtienen registros de vehículos extranjeros, mercancías peligrosas y bicicletas.

A la vista del marco normativo y las necesidades de información que debe proporcionar el Plan de aforos de la Dirección General de Carreteras, es necesario que la red de aforos permita proporcionar los siguientes datos:

- Datos de volúmenes de tráfico en una muestra representativa de la Red de Carreteras del Estado.
- Datos de clasificación de vehículos al menos en esas 5 categorías, siendo recomendable establecer clasificaciones pormenorizadas en algunos puntos estratégicos de la red.

Además de la normativa de clasificación existe una gran variedad de normativa de equipos ITS, estas normativas se agrupan en el grupo UNE CTN 199 [9], dentro de este grupo existen varias que se aplican diferentes normativas a las estaciones de aforo en concreto existe la normativa UNE 135421 [10] que especifica diferentes características de las estaciones de toma de datos definiendo aspectos como los requisitos eléctricos o funcionales de las estaciones.

Capítulo 2. Metodología de trabajo

Este capítulo tiene como objetivo exponer algunas de las diferentes soluciones que existen a la hora de llevar a cabo aforos en entornos interurbanos.

Primero se expone quien suele llevar a cabo este tipo de aforos y que tipo de aforos se están llevando a cabo actualmente por parte de estos organismos.

A continuación, se analizan los requisitos de las estaciones de aforo y que aspectos se van a analizar a la hora de hablar de las diferentes tecnologías de aforo.

Por último, se ha llevado a cabo un análisis de las diferentes tecnologías de aforo más utilizadas actualmente.

2.1 Introducción

Existe un amplio abanico de tecnologías con las que se pueden llevar a cabo aforos de tráfico. Los aforos vehiculares se suelen llevar a cabo por administraciones públicas como DGT o el ministerio de transportes o bien por empresas contratadas por otras administraciones como ayuntamientos.

Estas administraciones suelen utilizar siempre el mismo tipo de tecnologías debido al conocimiento de estas por parte de los operarios para su instalación y configuración.

Las tecnologías que son utilizadas por las administraciones llevan siendo las mismas durante muchos años pudiendo correr el riesgo de desactualización por parte de los organismos. Estas tecnologías son:

- Tubos neumáticos para realizar aforos temporales
- Espiras magnéticas para los aforos permanentes.

Para poder ver mejor esto este apartado tiene como objetivo realizar un estudio de las diferentes tecnologías mayoritarias existentes en el mercado actual de los aforos interurbanos y ver sus ventajas y desventajas.

Antes de analizar las diferentes tecnologías debemos ver que requisitos son importantes en los aforadores.

2.2 Requisitos funcionales y técnicos

El objetivo de este apartado es el de señalar los diferentes aspectos funcionales y técnicos importantes para este tipo de sistemas, para ello se mencionan las diferentes funcionalidades con las que deben contar los sistemas y los requisitos técnicos que se deben tener en cuenta a la hora de evaluar un sistema.

Las funcionalidades con las que tienen que contar los sistemas de aforo vehicular son los siguientes:

- Detección de los vehículos: el sistema debe ser capaz de llevar a cabo la detección de los vehículos que circulen por la vía.
- Conteo de vehículos: el sistema debe ser capaz de llevar a cabo un conteo de cada uno de los vehículos detectados.
- Clasificación de vehículos: el sistema debe de ser capaz de llevar a cabo una clasificación de los diferentes vehículos detectados y contados, clasificándolos según longitud o en clases según normativa que se aplique.
- Detección de la velocidad: el sistema debe ser capaz de llevar a cabo una detección de la velocidad de los diferentes vehículos.
- Almacenamiento de datos: todos estos datos mencionados tienen que ser almacenados por el sistema y ordenados de tal forma que sean fácilmente consultables y analizables por parte de personas o programas.
- Envío remoto de información a puesto central: una vez almacenados los datos al ser estos sistemas aislados suelen ser capaces de llevar a cabo el envío a un centro de gestión de manera telemática para evitar el desplazamiento de operarios para la descarga de datos.

Los requisitos técnicos con los que cuentan estos sistemas se pueden catalogar en los siguientes apartados:

- Escalabilidad del sistema: El sistema debe tener una escalabilidad que permita la instalación en diferentes cantidades de carriles, es muy importante analizar las tecnologías teniendo en cuenta este aspecto ya que en la situación de instalación en carretera se encuentran con una gran cantidad diferente de situaciones por lo que una tecnología que tenga una gran escalabilidad permitirá adaptarse mejor a varios tipos de situaciones.
- Calidad de los datos: Por la calidad de los datos se entienden diferentes aspectos, siendo este la detección de vehículos, es decir la cantidad de vehículos que se detectan respecto al total que pasan, el porcentaje de acierto en la clasificación, es decir cuántos vehículos de los que se detectan se clasifican correctamente y de qué forma los clasifica, dependiendo de la tecnología algunas clasifican por longitud de vehículo o por otros aspectos como la huella magnética en las espiras, algunas de estas mediciones permiten diferenciar la clase de vehículo mejor que otras.
- Instalación: Por instalación se entiende como la instalación de estos equipos afecta a la carretera donde se instalan, en este aspecto se tienen aforadores intrusivos y no intrusivos,

es decir que se tienen que llevar a cabo alteraciones sobre el pavimento de la carretera o en el caso de los no intrusivos no es necesario realizar modificaciones en el pavimento.

- **Mantenimiento:** El mantenimiento es las acciones que se deben llevar a cabo en los equipos una vez la instalación se realiza, estas acciones representan un coste adicional de los equipos pudiendo representar un aumento en el coste aquellos equipos que cuenten con una mayor necesidad de mantenimiento.

2.3 Contexto tecnológico

El propósito de este capítulo es realizar un análisis exhaustivo de las tecnologías empleadas en el aforo vehicular, con el fin de explorar sus ventajas, limitaciones y aplicaciones prácticas.

Desde los sistemas convencionales basados en sensores de bucle inductivo hasta las soluciones más innovadoras como las cámaras de vídeo y la tecnología de detección de vehículos basada en inteligencia artificial.

Estas tecnologías se examinarán detalladamente las características técnicas de cada una, así como la precisión de los datos recopilados, el coste de implementación y la escalabilidad.

Se busca proporcionar una visión completa y detallada de las opciones disponibles para el aforo vehicular, con el objetivo de ofrecer una base sólida para la toma de decisiones en la selección de la tecnología más adecuada para cada caso de aplicación.

En el siguiente apartado se exponen diferentes soluciones tecnológicas de aforadores que existen en el actualmente y se analizan las soluciones más utilizadas de los diferentes tipos de aforadores existentes con el objetivo de analizar las ventajas y desventajas de estos equipos.

Los aforadores son equipos cuya finalidad es la de llevar a cabo un conteo de los vehículos que pasan por cierta vía, estos pueden contar con clasificación vehicular distinguiendo a que clase pertenece el vehículo en cuestión, así como la detección de diferentes parámetros útiles para el operador, para esto existen diferentes soluciones la clasificación de estas soluciones se distinguen entre dos grandes grupos.

- **Aforadores intrusivos.** Estos se instalan directamente en el pavimento de la carretera, y pueden ser en forma de bucles electromagnéticos, sensores de presión, o cualquier otro dispositivo que detecte físicamente el paso de los vehículos.
- **Aforadores no intrusivos:** Los aforadores no intrusivos, como los sistemas de detección por radar, láser o cámaras, se colocan generalmente en postes o estructuras adyacentes a la carretera, sin interferir con el flujo de tráfico.

2.3.1 Aforadores intrusivos

Se define como aforador intrusivo aquel que requiere de una modificación en la vía para la instalación instalándose normalmente en el sentido de circulación del vehículo y llevando a cabo una detección física del vehículo, estos aforadores requieren el corte del carril para su instalación y un mantenimiento debido a que se encuentran en contacto directo o indirecto con los vehículos y el pavimento.

En general estos aforadores suelen ser sistemas más económicos, los sistemas más utilizados para el aforo son los siguientes:

- Aforador por lazo inductivo.
- Aforador por sonda de presión.
- Aforador por piezoeléctrico.

La mayoría de estos equipos requieren la instalación de un equipo aforador que se encargue de la recepción de los sensores instalados y lleve a cabo el procesamiento de estos datos.

- **Detector electromagnético con lazo inductivo (espiras).** Sensor que detecta el paso de una masa metálica al variar la inductancia de la espira electromagnética instalada en la calzada.



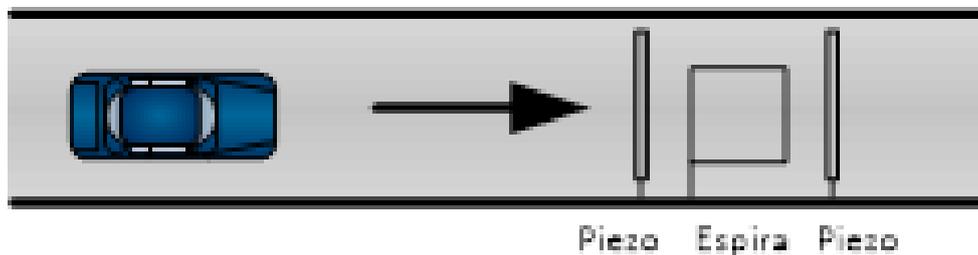
Ilustración 4. Detector electromagnético con lazo inductivo. Fuente: Internet.

- **Sondas de Presión o tubo neumático.** Sensor de ejes basado en la colocación de mangueras neumáticas transversalmente a la carretera, detectando el paso del vehículo en base al impulso de presión que se genera.



Il·lustració 5. Sondas de pressió. Fuente: Internet.

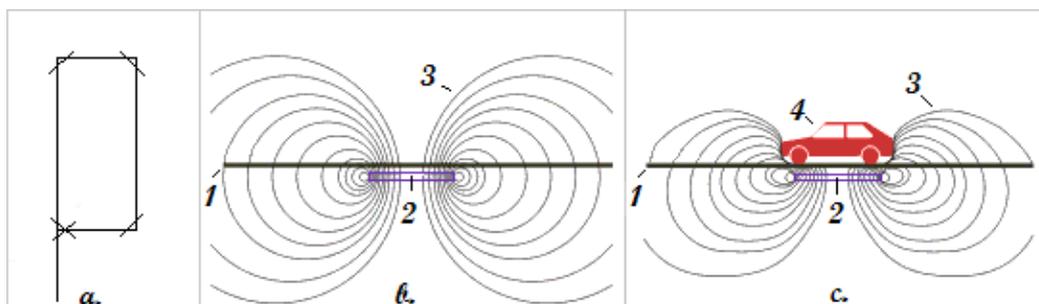
- **Piezoelèctrics.** Sensor de eixes que transformen la energia mecànica a energia elèctrica, permetent el pesaje dinàmico per eix de los vehícles.



Il·lustració 6. Configuració piezo-espira-piezo. Fuente: Internet.

2.3.1.1 Aforador por lazo inductivo - espira

El sensor de lazo inductivo consiste en la instal·lació de un cable enterrado en el carril formando una espira, esta espira emite un campo magnético con cierto valor que al pasar un vehícle ve alterado su valor debido al metal del vehícle, midiendo esta variación de campo se lleva a cabo la detección mediante lazos inductivos.



Il·lustració 7: Funcionamiento lazo inductivo. Fuente: Frans W. van den Berg (Wikipedia)

A partir de este fenómeno se obtiene una huella magnética del vehícle, a partir del procesado de esta señal se puede llevar a cabo una clasificación del vehícle según su perfil magnético, llegando a poder diferenciar entre vehícles de tamaños parecidos a través de la distribución de los elementos metálicos de los mismos a lo largo del vehícle.

Para la instal·lació del lazo inductivo se tienen que llevar a cabo el corte al tráfico del carril en el que se desea instalar dicho lazo y realizar la instal·lació mediante los siguientes pasos.

- Preparación del sitio: El área debe estar libre de obstáculos y en una posición que permita una detección precisa de los vehícles.
- Corte y excavación: Se corta una sección rectangular en el pavimento utilizando herramientas adecuadas.

- Instalación de la espira: La espira electromagnética se coloca en la excavación, se conectan los cables de la espira a un detector o sistema de procesamiento de datos.
- Cierre y sellado: se rellena la excavación con material adecuado (como asfalto o concreto) para nivelar el pavimento, se sella la espira para protegerla de la humedad y el desgaste.
- Calibración y pruebas: Se ajustan los parámetros del detector para garantizar una detección precisa, se realizan pruebas para verificar que la espira funcione correctamente y detecte los vehículos según las especificaciones.

Es muy importante que la instalación se realice de manera correcta ya que en caso contrario el sistema de aforo perdería mucha precisión de conteo y clasificación de vehículos.

Existen diferentes configuraciones para la instalación de lazos, estas dependen del número de lazos instalados en cada carril, existen las configuraciones con una espira y con dos espiras.

- **Configuración con una espira:** Permite llevar a cabo la detección del vehículo al pasar por encima.
- **Configuración con dos espiras:** Permite llevar a cabo una detección del vehículo además de poder determinar algunas características como son la longitud del vehículo y por tanto llevar a cabo una clasificación del vehículo, la velocidad del vehículo, el sentido de circulación entre otros.



Ilustración 8: Ejemplo instalación configuración lazo inductivo doble. Fuente: Internet.

Este tipo de aforador es más utilizado hoy en día debido a su gran precisión, aunque es necesario llevar a cabo un mantenimiento y recalibrado de los sistemas para que estos continúen funcionando en el tiempo.

La configuración con dos lazos inductivos permite la clasificación de tipo de vehículo, esta clasificación se lleva a cabo a partir de la huella magnética del vehículo, la huella magnética es la representación del cambio del campo magnético que deja un vehículo cuando pasa por el conjunto de dos lazos inductivos, con esto se puede llevar a cabo un análisis de la figura y el aforador es capaz de estimar el tipo de vehículo.

Las espiras se conectan a un aforador, este aforador es el encargado de llevar a cabo el procesamiento de las señales recibidas por diferentes espiras y determinar la clasificación de los diferentes vehículos aforados.

Estos equipos se encuentran instalados en armarios dedicados cerca del punto de instalación de los lazos inductivos, estos equipos pueden contar con una memoria interna para el almacenamiento o si lo permiten encontrarse conectados a través de la red de comunicaciones para la descarga de datos remota por parte del operador, normalmente se conectan a una batería para que estos cuenten con autonomía en los aforos no fijos.

Las espiras se conectan a una unidad de detección ubicada en la proximidad. Esta unidad, a menudo instalada en un gabinete cercano, procesa las señales generadas por las espiras y las convierte en datos cuantificables sobre el tráfico, como la velocidad, la densidad vehicular y la ocupación del carril.

Es crucial realizar una calibración precisa para garantizar la sensibilidad adecuada de las espiras. Además, se establecen programas de mantenimiento regulares para verificar la integridad de las espiras y garantizar su funcionamiento óptimo a lo largo del tiempo.

Este tipo de tecnología es ampliamente utilizado por organismos como la DGT y el ministerio de transportes que mediante la instalación de estaciones de tomas de datos (ETD).

Estas estaciones son permanentes y fijas y se configuran con la instalación de espiras dobles en cada carril para poder llevar a cabo la detección de vehículos, clasificación, en ligeros y pesados, así como la detección de velocidad entre otros datos.

Principales ventajas los de aforadores por lazos inductivos:

- Precisión de aforo y clasificación: estos aforadores presentan una gran precisión de aforo y clasificación debido al análisis de huella magnética que permite diferenciar entre más clases de vehículos que otros aforadores.
- Consumo: estos equipos cuentan con consumos muy reducidos lo que les permite funcionar con una instalación mínima de energía fotovoltaica en combinación con baterías.
- Capacidad: estos aforadores permiten llevar a cabo el aforo de una mayor cantidad de carriles con la misma precisión independientemente del número de carriles, en algunos modelos se llegan a 8 carriles por aforador.

Principales desventajas de los aforadores por lazos inductivos:

- **Obra:** Estos aforadores al ser intrusivos requieren de una obra sobre la vía que se requiere aforar lo que implica un corte del carril temporalmente para la instalación, aumento del coste de instalación y menor seguridad desde el punto de vista del operario que aquellos aforadores no intrusivos.
- **Mantenimiento:** Los lazos inductivos se pueden ver degradados con el paso del tiempo lo que implica que se deba de realizar mantenimiento llegando a tener que rehacerse con el paso del tiempo.
- **Obras externas:** Los lazos inductivos se pueden ver afectados por otras obras que se realicen sobre la calzada donde se encuentran instalados lo que podría implicar que queden fuera de servicio o empeore las mediciones realizadas.

Este tipo de equipos necesitan de la instalación de un equipo de electrónica aforador, este tipo de aforadores cuentan con un consumo reducido respecto a otros aforadores, siendo más que viable la instalación de un sistema fotovoltaico debido a estos bajos consumos,

Para el funcionamiento de estos equipos en horas que no reciba suficiente radiación solar necesita de unas baterías para asegurar la alimentación en caso de utilizar sistema de alimentación fotovoltaico.

Para la instalación de los equipos de procesamiento de los datos captados por los sensores es necesario de la instalación de un armario, para evitar que la electrónica se encuentre a la intemperie protegiéndola de lluvia o posibles robos.

2.3.1.2 Aforador piezoeléctrico

Los aforadores por piezoeléctrico consisten en aprovechar el efecto piezoeléctrico. Este efecto se produce cuando ciertos materiales (como el cuarzo o cerámica específica para este uso) generan una carga eléctrica cuando se comprimen o deforman. Cuando un vehículo pasa sobre el sensor, la compresión generada por el peso del vehículo provoca una carga eléctrica en el material piezoeléctrico.

Este tipo de sensores por si solos solamente aportan la información sobre los ejes del vehículo, normalmente se instalan junto a espiras en configuración piezo-espira-piezo de esta forma se consigue más información de los vehículos que con la configuración de los lazos inductivos dobles.

Esta configuración permite llevar a cabo la detección del vehículo, así como la medición de su velocidad, mediante la conexión a un aforador que permita este tipo de configuración, aparte de servidor como aforador este tipo de equipos también puede cumplir las funciones de estaciones de pesaje de vehículos en movimiento.

En este tipo de estaciones el sensor piezoeléctrico detecta los diferentes ejes de los vehículos pudiendo llevar a cabo un pesaje por ejes del vehículo lo que permite la medición del peso total del vehículo, este tipo de información resulta muy útil a la hora de llevar a cabo mantenimientos en carreteras con alta ocupación de vehículos con cargas de peso altas.

Este tipo de instalaciones se considera una ampliación de las instalaciones de lazo inductivo doble, si bien aumenta la precisión tanto de la detección como de la clasificación al sumar la información sobre los ejes este tipo de instalación no se lleva a tanto a cabo debido a que presenta un mayor desgaste que la alternativa de los lazos inductivos, además de aumentar el coste de instalación al tener que realizar más obra sobre la vía.

Ventajas del aforador piezoeléctrico.

- Precisión: este aforador presenta una gran precisión en la detección y clasificación de los vehículos al tener en cuenta los ejes para dicha clasificación.

Desventajas del aforador piezoeléctrico:

- Obra: Estos aforadores al ser intrusivos requieren de una obra sobre la vía que se requiere aforar lo que implica un corte del carril temporalmente para la instalación, aumento del coste de instalación y menor seguridad desde el punto de vista del operario que aquellos aforadores no intrusivos, También aumenta respecto a la opción de lazos inductivos.
- Capacidad: En caso de que esta configuración se instale en puntos con más carriles sería necesario instalar más aforadores debido a que cuenta con tres sensores por carril lo que implicaría llevar a cabo la instalación de más aforadores en casos con más de dos carriles.
- Mantenimiento: Los piezoeléctricos tienen un desgaste elevado respecto a las otras tecnologías debido a que se basan en detectar la una fuerza mecánica que hace inevitable el desgaste.
- Obras externas: Se pueden ver afectados por otras obras que se realicen sobre la vía aforada.

Este tipo de equipos necesitan de la instalación de un equipo de electrónica aforador, este tipo de aforadores cuentan con un consumo reducido respecto a otros aforadores, siendo más que viable la instalación de un sistema fotovoltaico debido a estos bajos consumos, este tipo de electrónica necesita de unas baterías para asegurar la alimentación en caso de utilizar sistema de alimentación fotovoltaico.

2.3.1.3 Aforador tubo neumático

Los aforadores tubos neumáticos son mangueras de goma que se colocan perpendicularmente a la trayectoria de los vehículos, cuando un vehículo pasa sobre el tubo, se genera una presión de aire dentro del tubo, un sensor del aforador detecta esta presión y registra la información, la variación en la presión causada por el peso del vehículo permite al sistema determinar cuándo un vehículo entra o sale del área de medición.

Este tipo de aforadores son ampliamente utilizados debido a su sencillez y a que es una tecnología madura y ampliamente utilizada a lo largo de los años, siendo uno de los primeros sistemas de aforo vehiculares utilizados de manera extensa.

Estos aforadores llevan a cabo el cálculo de la distancia entre ejes de los vehículos y el conteo de los mismo pudiendo así clasificar según la longitud y el número de ejes detectado, al poder detectar la distancia entre los ejes puede clasificar entre vehículos por tamaño lo que implica vehículos ligeros o pesados.

Este sistema se instala directamente encima del pavimento por lo que se encuentra en contacto directo con los vehículos para poder medir la presión al pasar por encima, esto quiere decir que presentarán un desgaste y que además si se quieren utilizar para medir velocidades sugestionan al conductor ya que estos son visibles fácilmente.

Debido a este desgaste son detectores utilizados para llevar a cabo aforos o conteos de vehículos temporales en la que se lleva a cabo la instalación durante un periodo corto desinstalando estos al terminar el periodo y haciendo que las modificaciones sobre el pavimento sean mínimas, el proceso de instalación de estos equipos es el siguiente:

- Se extiende en la calzada el detector de manera perpendicular al sentido de trayectoria, este tipo de detectores se suelen instalar en tramos rectos.
- Se fijan al pavimento mediante clavos especiales para fijarlos.
- Se conectan a un dispositivo de conteo para tubos neumáticos.
- Se calibra el sistema para realizar mediciones con precisión.

Este tipo de aforadores cuenta con diferentes configuraciones, en general la forma de instalarlo es o un solo tubo o instalación por pares, pudiendo calcular velocidades instantáneas al instalar en pares sabiendo lo que ha tardado en pisar el primer tubo y pisar el segundo.

La configuración típica para la instalación de dos tubos es de una distancia entre ellos de entre 80 y 120 centímetros, aunque esto puede variar según el fabricante.

Ventajas del aforador tubo neumático.

- **Economía:** Los tubos neumáticos son más asequibles en comparación con otros sistemas de aforo, su costo inicial es relativamente bajo.
- **Fácil instalación:** No requieren modificaciones permanentes en la vía.
- **Precisión en el conteo:** Proporcionan datos precisos sobre el flujo vehicular, son efectivos para medir el número de vehículos que pasan por un punto específico.

Desventajas del aforador tubo neumático:

- **Limitación en la clasificación:** Aunque pueden contar vehículos, no pueden clasificarlos tan detalladamente como otros sistemas, como los lazos inductivos, no proporcionan información sobre el tipo específico de vehículo (automóvil, camión, motocicleta, etc.).
- **Aplicación temporal:** se pueden utilizar tanto para estudios temporales ya que presentan un desgaste en el tiempo mucho mayor que los otros aforadores.
- **Sensibilidad a daños:** Los tubos neumáticos pueden dañarse por tráfico pesado, condiciones climáticas extremas o vandalismo, si se rompen o perforan, afectan la precisión de los datos.

Este tipo de equipos cuentan con un consumo muy reducido por lo que suelen contar con una batería interna para llevar a cabo aforos temporales y de esta forma no requieren de la instalación de equipos de alimentación adicionales

En el caso de los tubos neumáticos la instalación se realiza sobre la carretera por lo que no se necesita de modificaciones en la carretera más allá de las fijaciones mediante clavos en el pavimento.

Para la instalación de los equipos de procesamiento de los datos captados por los sensores es necesario de la instalación de un armario, para evitar que la electrónica se encuentre a la intemperie protegiéndola de lluvia o posibles robos.

2.3.2 Aforadores no intrusivos

Se define como aforador no intrusivo aquel no requiere una modificación de la vía para su instalación instalándose normalmente en el margen de la carretera o en elementos como puentes o pórticos, este tipo de equipos cuentan con la ventaja de necesitar un mantenimiento muy inferior a los sistemas intrusivos al no estar en contacto directo ni indirecto con los vehículos. Pero por otra parte estos equipos se pueden ver afectados por condiciones climatológicas.

Los aforadores no intrusivos más utilizados son los siguientes:

- Aforador microondas.

- Visión artificial
- Lectura de matrícula, OCR.
- Infrarrojo.
- Bluetooth.

La mayoría de estos equipos requieren de un soporte como un báculo existente u otra estructura dependiendo del equipo o la instalación de un nuevo báculo para su instalación.

- **Microondas:** Detectores tipo radar basados en la transmisión y recepción de una señal de alta frecuencia. Existen diferentes tecnologías para llevar a cabo la detección y clasificación, como por ejemplo los radares basados en tecnología Doppler o los basados en FMCW.



Ilustración 9. Instalación ejemplo aforador microondas. Fuente: Quadrex.

- **Visión artificial:** Utiliza las imágenes captadas por cámaras de televisión fijas instaladas en carretera que al ser procesadas mediante analítica de video permiten proporcionar datos de tráfico.

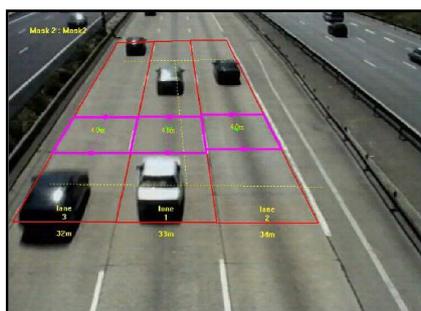


Ilustración 10. Visión artificial.

- **Lector de matrícula, OCR:** Caso particular de aplicación de la visión artificial, donde a las imágenes captadas por las cámaras se les aplica procesamiento OCR, que permite identificar los caracteres de las matrículas.

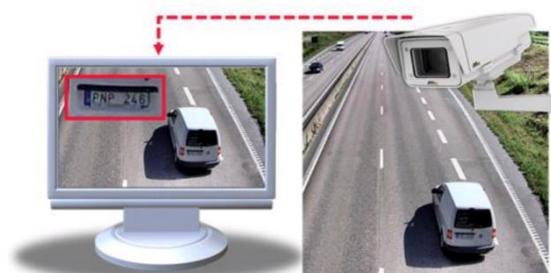


Ilustración 11. Lector de matrícula OCR.

- **Infrarrojo:** Existen dos tipos los activos y los pasivos
 - **Pasivo:** Un sensor mide la energía en la banda de infrarrojos emitida por la carretera, al pasar un vehículo esta energía cambia.
 - **Activo:** Un láser infrarrojo se emite y se mide el tiempo de vuelo del haz, este tipo de dispositivo también se llama LIDAR.

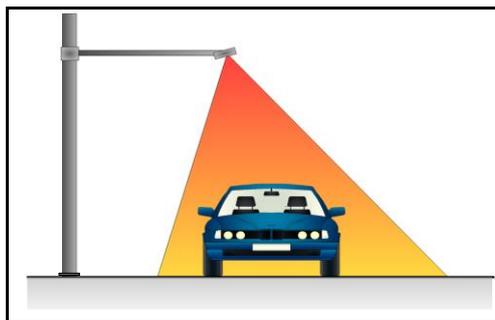


Ilustración 12: Sensor infrarrojo.

2.3.2.1 Microondas

Los aforadores de microondas se basan en tecnología radar, es decir se basan en la emisión de una señal de microondas, esta señal al encontrar un objeto es reflejada de vuelta al emisor y se mide las características de la señal reflejada para determinar a qué distancia se encuentra el objeto detectado. El aforador entonces puede medir diferentes características del vehículo como la longitud o la velocidad según el modelo de equipo.

El efecto Doppler en los radares de aforo vehicular se utiliza para medir la velocidad de los vehículos que pasan por un punto específico de la carretera. Este efecto se basa en el cambio en la frecuencia de las ondas de radar reflejadas por los vehículos en movimiento.

Cuando un vehículo se acerca al radar, las ondas de radar que emite el radar se comprimen debido al movimiento del vehículo. Esto resulta en un aumento en la frecuencia de las ondas reflejadas, lo que se interpreta como un aumento en la velocidad del vehículo.

Por otro lado, cuando un vehículo se aleja del radar, las ondas de radar se elongan, lo que resulta en una disminución en la frecuencia de las ondas reflejadas, interpretada como una disminución en la velocidad del vehículo. El radar mide estos cambios en la frecuencia de las ondas reflejadas y utiliza esta información para calcular la velocidad del vehículo.

Los aforadores microondas se pueden clasificar según el ángulo de instalación que tienen estos respecto al tráfico, teniendo en cuenta esto se encuentran los siguientes tipos de aforadores.

- **Aforadores laterales:** estos aforadores se instalan en postes o báculos en los laterales de la carretera y se instala apuntando de manera perpendicular a la circulación de los vehículos, este tipo de equipos suelen tener una mayor capacidad en cantidad de carriles en los que se pueden realizar aforos, en este tipo de instalaciones se debe tener en cuenta los ocultamientos provocados por los vehículos pesados.

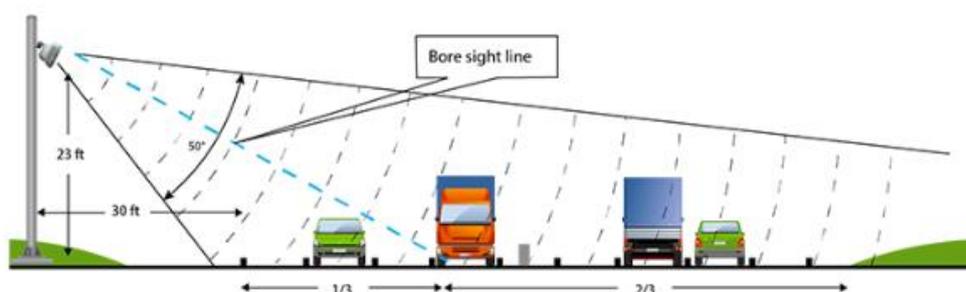


Ilustración 13: Ejemplo diagrama aforador microondas lateral. Fuente: Manual usuario RTMS Sx300.

- **Aforadores longitudinales:** estos aforadores se instalan en puentes o pórticos de tal forma que apunten a los carriles de en paralelo al sentido de circulación de los vehículos.
- **Aforadores oblicuos:** estos aforadores se instalan en estructuras en los laterales o en la mediana de la carretera y se instalan apuntando con un ángulo oblicuo a los carriles que están aforando, estos equipos suelen tener un ángulo óptimo de instalación debido a que para calcular la velocidad de los vehículos utilizan dicho ángulo para el cálculo, cualquier desvío de este ángulo supondrá aumentar el desvío de la velocidad medida de los vehículos.

Para los aforadores por microondas una de las características para tener en cuenta a la hora de realizar la instalación es la de la altura a la que se instalan y la distancia hasta la zona de aforo, a continuación, se muestra un diagrama de ejemplo

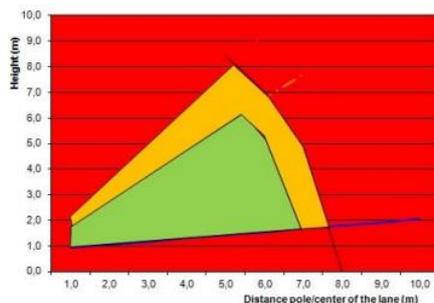


Ilustración 14: Diagrama altura-distancia. Fuente: Manual usuario TC-Radar

En este diagrama se puede observar en verde cuando el aforo se considera de mejor calidad, también se puede observar como a medida que se aumenta la altura de instalación la distancia óptima se reduce por lo que se debe tener en cuenta este equilibrio a la hora de realizar una instalación.

Por tanto, podemos observar como para este tipo de equipos es muy importante que el punto de instalación cuente con estructura que permita la instalación de los equipos a una distancia y altura adecuada que permita el correcto funcionamiento del equipo.

Ventajas de la detección con radar microondas.

- Instalación más sencilla: al ser aforadores no intrusivos estos no requieren de una modificación de la vía que se requiere aforar por lo que facilita la instalación a los operarios siendo esta más rápida y segura desde el punto de vista de la seguridad de los operarios que la de otros métodos intrusivos.
- Coste: Esta tecnología presenta un coste inferior con relación a la calidad del dato que presenta respecto al precio respecto a otros sistemas de aforo no intrusivos.
- Movilidad: Los equipos suelen contar con una facilidad para la movilidad debido a que se han diseñado pensando en esto.
- Mantenimiento: Estos equipos suelen contar con un mantenimiento bajo o prácticamente nulo, esto presenta una ventaja de oportunidad respecto a otros sistemas intrusivos que requieren un mantenimiento periódico.

Desventajas de la detección con radar microondas.

- Detección por longitud: Los radares microondas llevan a cabo una clasificación según la longitud de los vehículos lo que puede implicar que no se lleve a cabo una discretización tan grande de los vehículos como en otras tecnologías.
- Configuración inicial: Requieren una calibración inicial adaptada según las características del punto donde se instala.

- Instalación: Requieren una altura mínima, esta puede variar según el modelo de radar microondas, pero por norma general requiere de la instalación de un poste para permitir una instalación óptima del equipo.
- Mayor consumo: Estos equipos presentan un mayor consumo que otros aforadores, aunque este consumo tampoco es excesivamente alto, lo que requiere que se aumente el número de baterías o se requiera una instalación fotovoltaica dimensionada para soportar el consumo.

La estación tipo de aforo con este tipo de instalaciones se compone de un báculo para la instalación del equipo a una altura adecuada, adicionalmente se requiere una alimentación eléctrica. Si se opta por una instalación aislada mediante paneles fotovoltaicos y baterías se debe prestar especial atención al dimensionamiento por el consumo.

También existen sistemas que ya cuentan con báculos móviles que incluyen una base para evitar realizar una obra civil y que permite la instalación de paneles en el báculo y baterías y otra electrónica necesaria en el propio armario que suelen incluir estos sistemas.

2.3.2.2 Lectura de matrículas

El aforo mediante el uso de lectura de matrículas se basa en la utilización de cámaras de detección de matrículas de vehículos, estas cámaras utilizan OCR (Optical Character Recognition) para poder reconocer el texto de las matrículas y almacenar este dato junto con otros datos adicionales como es el momento de detección o la velocidad del vehículo en caso de que el equipo lo permita y se configure el equipo para llevar a cabo esta medición.

Esta tecnología funciona llevando a cabo un algoritmo que se basa en los siguientes pasos:

- Se capta una imagen.
- Se descomponer dicha imagen mediante la segmentación de esta eliminando los segmentos que no contengan texto.
- Se lleva a cabo una comparación de los caracteres que se encuentran en el segmento es por ello por lo que habitualmente realiza comparaciones con varios caracteres y selecciona el que más probabilidades tiene de ser

Algunos modelos presentan este valor de confianza a la hora de la detección, con este proceso la cámara es capaz de sacar el texto que encuentra en las matrículas, esto se guarda en un documento con un formato definido normalmente por el fabricante.



Ilustración 15: Ejemplo fases algoritmo. Fuente: Internet.

Para poder llevar a cabo la clasificación mediante lectura de matrículas se debe llevar a cabo una comparación de las matrículas detectadas por la cámara para ello se necesita acceso a una base de datos que relacione las matrículas detectadas con la clase de vehículo a la que pertenece dicha matrícula, mediante este proceso la Dirección General de Tráfico puede obtener hasta 10 clases para la clasificación de vehículos.

Algunos de estos equipos tienen la opción de permitir detectar vehículos de mercancías peligrosas, esto se hace mediante la detección de la etiqueta junto con la matrícula del vehículo,

Algunos equipos cuentan con la opción de detectar el país de la matrícula debido a que cuentan con una base de datos interna de la estructura de las diferentes matrículas internacionales, esto permite la detección de vehículos extranjeros.

Uno de los aspectos para tener en cuenta es el punto de instalación de este tipo de equipos ya que deben con una posición que permita tener una buena visión del carril o carriles, esta posición suele ser mejor si se encuentra centrada en los carriles a aferrar debido a la distorsión de las matrículas en instalaciones en los laterales.

Para mejorar la lectura en condiciones de baja visibilidad estos equipos suelen contar con focos infrarrojos instalados en la propia carcasa que permiten la captación de imágenes a través de estos focos.

Ventajas de los sistemas de lectura de matrículas.

- Clasificación: mediante la consulta a base de datos de la DGT estos equipos permiten la clasificación en las 10 clases contempladas por DGT, esto junto a la detección de vehículos extranjeros y mercancías peligrosas convierte a esta tecnología en la tecnología con la clasificación más amplia.
- Instalación: Al tratarse de aforadores no intrusivos estos cuentan con la ventaja de no necesitar la afección de la vía en el punto de instalación siendo más seguro su instalación para los operarios, disminuyendo el coste y riesgo de instalación.

Desventajas de los sistemas de lectura de matrículas.

- Consumo energético: estos equipos cuentan con un mayor consumo energético por lo que necesitan de baterías con mayor capacidad o un sistema fotovoltaico apropiado que se adapte a este consumo.
- Configuración inicial: estos equipos requieren configuración específica según el punto de instalación.

La instalación de estos equipos para realizar un aforo se necesita de un poste o báculo que permita la instalación de tal forma que la cámara tenga una visión adecuada de los carriles a aforar, es por ello por lo que normalmente se aprovechan estructuras existentes como las de los paneles de mensaje variable en carretera para la instalación de estas cámaras.

Estos equipos cuentan con un consumo mayor que los aforadores no intrusivos tradicionales. Es por esto por lo que el dimensionamiento de las baterías y paneles fotovoltaicos tiene que hacerse de manera precisa para cada punto de instalación de estos equipos.

También existen sistemas que ya cuentan con báculos móviles que incluyen una base para evitar realizar una obra civil y que permite la instalación de paneles en el báculo y baterías y otra electrónica necesaria en el propio armario que suelen incluir estos sistemas.

Estos equipos cuentan con una limitación de necesitar una visión centrada sobre los carriles a aforar, es por ello por lo que ante una situación con varios carriles sería necesario la instalación de un sistema de sujeción que permita la instalación de cámaras centradas en el sentido de circulación de los vehículos.

Las baterías instaladas necesitan de un armario, para evitar que la electrónica se encuentre a la intemperie protegiéndola de lluvia o posibles robos.

2.3.2.3 Infrarrojo activo

Los aforadores por infrarrojo activo se basan en la tecnología LIDAR para la detección de vehículos, esto es en la medición del tiempo de viaje del haz, es decir emisión-reflexión en el vehículo-captación, mediante la captación de múltiples haces el dispositivo es capaz de llevar a cabo una imagen del vehículo detectado

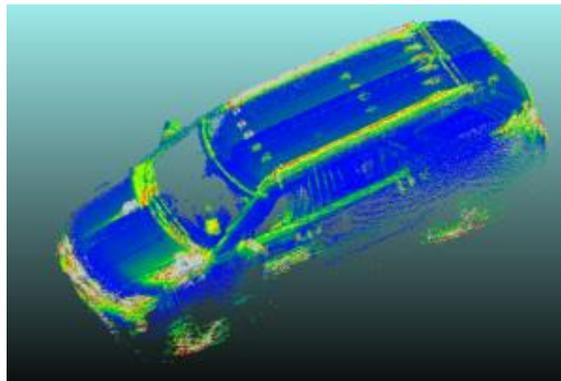


Ilustración 16: Imagen LIDAR. Fuente: Internet.

Los aforadores LIDAR se pueden diferenciar según el punto de instalación, estos puntos son los siguientes.

- **Laterales:** Se instala en un lateral en un poste en altura un sensor, este detectará el perfil de los vehículos, este tipo de instalaciones cuentan con el problema que normalmente cuentan con capacidad para llevar a cabo la detección en un carril.
- **Longitudinal:** Se instala de manera perpendicular al sentido de circulación en altura, este detectará una imagen del vehículo, este tipo de instalaciones pueden llevar a cabo la detección de varios carriles, pero es necesario la instalación de estos sistemas en pórticos o banderolas ya que se tienen que encontrar centradas en la carretera.

Este tipo de equipos, aunque presentan una buena detección de vehículos son mucho más caro que otras tecnologías no intrusivas además de conseguir unas precisiones de aforo muy similares a otras tecnologías más económicas.

Ventajas de los sistemas LIDAR.

- **Clasificación:** se consiguen mapeados de los vehículos lo que puede mejorar la clasificación de los vehículos.
- **Instalación más sencilla:** al ser aforadores no intrusivos estos no requieren de una modificación de la vía que se requiere aforar por lo que facilita la instalación a los operarios siendo esta más rápida y segura desde el punto de vista de la seguridad de los operarios que la de otros métodos intrusivos.

Desventajas de los sistemas LIDAR.

- **Precio:** esta tecnología cuenta con un coste muy elevado respecto a otras tecnologías, esto es debido a el precio de los sensores y que en instalaciones de varios carriles este precio puede aumentar debido a que se necesiten varios sensores.

- Punto de instalación: se requiere de un punto centrado en el carril que se requiere aforar lo que dificulta la selección de los puntos que se pueden aforar ya que se requiere de infraestructura adicional como una banderola o un pórtico existente.

Este tipo de equipos suelen necesitar de la instalación de uno por carril, es por ello por lo que se necesita de una estructura de gran tamaño que permita la instalación de estos equipos en cada carril, dependiendo del número de carriles se puede llegar a necesitar un pórtico para permitir la instalación de estos equipos.

2.4 Comparativa

	Ventajas	Inconvenientes
Espiras	Gran calidad de datos Buena clasificación. Clasificación por perfil magnético. Buena escalabilidad.	Necesidad de afectar a la vía. Necesidad de mantenimiento de los sensores.
Piezoeléctrico	Excelente calidad de dato Capacidad de pesaje de los vehículos. Buena escalabilidad.	Necesidad de afectar a la vía. Mayor necesidad de mantenimiento de los sensores.
Tubo neumático	Precio económico.	Necesidad de afectar a la vía Desgaste del sensor con el tiempo. Capacidad de carriles limitada.
Microondas	Aforador no intrusivo. Capacidad de varios carriles	Clasificación por longitud. Necesita de estructuras adicionales. Consumo elevado.
Lectura de matriculas	Aforador no intrusivo. Capacidad de varios carriles.	Clasificación por relación con matrículas y BB.DD Necesita de estructuras adicionales. Necesidad de calibración según punto de instalación.



Infrarrojo activo	Aforador no intrusivo.	Necesita de estructuras adicionales.
	Buena clasificación de vehículos.	Precio elevado.

Tabla 1. Comparativa de tecnologías de aforamiento. Fuente: Elaboración propia.

2.5 Diseño del estudio

Como se ha podido observar existen diferentes tecnologías que permiten realizar aforos vehiculares, teniendo cada una de ellas sus ventajas y desventajas.

Teniendo en cuenta esto para poder realizar un análisis más en detalle de cómo se realizan los aforos vehiculares no es suficiente con saber el funcionamiento de las tecnologías, se requiere de modelos concretos del mercado.

De esta forma se puede observar cómo aun utilizando la misma tecnología existen gran variedad de equipos. Estos equipos pueden otorgar diferentes tipos de datos o una solución que se adapte a una cantidad diferente de carriles.

El objetivo de este análisis de mercado es conocer diferentes soluciones y que aportan dichas soluciones en algunos aspectos como:

- Cantidad de carriles que aforan.
- Autonomía tanto en consumo como en almacenamiento de datos.
- Qué tipo de clasificación llevan a cabo, si esta es por longitud del vehículo u otro tipo de clasificación.
- Que mediciones llevan a cabo, si sirven solo para contar vehículos o también para detectar las velocidades de estos.

La información presentada por los fabricantes siempre se trata de una información teórica, esta información puede variar en un escenario real dependiendo del punto de instalación. Es por ello por lo que se realizó una instalación de equipos reales para ver su funcionamiento como aforadores.

Esta prueba se realizó con diferentes equipos del estudio de mercado y servirá para ver como de cerca se encuentra la teoría de la realidad.

Para ello se analizará la calidad de datos que aporta cada aforador, específicamente la detección de vehículos la clasificación en clases según su longitud. Para tal fin, se compararán los datos obtenidos de los diferentes aforadores entre ellos para ver lo cercanos que están los datos obtenidos de los teóricos indicados por el fabricante.

Por último, para plantear la instalación de este tipo de soluciones en dos tipos de carreteras:

- Una carretera convencional con un carril en cada sentido.
- Una carretera con dos carriles en cada sentido.



De esta forma se pretende destacar las necesidades de equipos complementarios de cada tecnología para llevar a cabo la instalación. Así como la capacidad de cada aforador a desenvolverse en cada uno de los escenarios.

Capítulo 3. Soluciones de mercado

Actualmente en el mercado existen diferentes soluciones para aforadores vehiculares, el objetivo de este apartado es el de repasar diferentes opciones existentes en el mercado actual tanto nacional como internacional de las tecnologías mencionadas anteriormente, viendo sus principales características que ofrecen con el objetivo de ver que se necesitan los aforadores para realizar el trabajo.

3.1 Aforadores espiras

Los aforadores de espira el mercado nacional cuenta con dos marcas principales los aforadores Hitrac y los aforadores ADR, los ADR es el sistema con el que cuenta actualmente el ministerio de transporte, estos equipos actualmente se encuentran anticuados teniendo problemas para buscar recambios para realizar reparaciones, por otra parte los aforadores Hitrac cuentan con varios modelos para poder adaptarse dependiendo de las características de la carretera y las necesidades de aforo de ese punto.

3.1.1 Aforadores Hitrac

Los aforadores Hitrac son aforadores de lazo inductivo, estos cuentan con diferentes modelos siendo la principal diferencia entre ellos el número de carriles que puede aforar cada uno y que uno de ellos cuenta con una pantalla integrada, por un lado, tenemos el UTCL siendo el modelo de aforador hasta 4 carriles y el EMU3, este cuenta con dos versiones una con capacidad de 4 carriles y otra con capacidad de hasta 8 carriles.

Estos equipos funcionan en configuración lazo-lazo con dos lazos en configuración de 2 metros por 2 metros con una separación entre los lazos de 2,5 metros, actualmente MITMA se encuentra instalando equipos Hitrac en las nuevas instalaciones.

Como se puede observar a continuación el EMU3 es un equipo de mayor tamaño que cuenta con un display y un teclado incorporado que ayudan a la configuración del aforador mientras que el equipo UTCL cuenta con un tamaño reducido y no cuenta con ningún tipo de display o teclado siendo necesario la utilización de un ordenador para su configuración.



Ilustración 17: Hi-Trac UTC (izquierda) Hi-Trac EMU3 (derecha). Fuente: Q-Free.

Ambos tienen capacidad para llevar a cabo un conteo con un 99% de precisión y una clasificación según la norma EURO6 con una precisión en caso de instalación óptima de:

- Clase 1: Motocicletas 95%.
- Clase 2: Turismo/Furgonetas 97%.
- Clase 3: Turismo/Furgonetas + remolque 97%.
- Clase 4: Camiones 97%.
- Clase 5: Camiones articulador 97%.
- Clase 6: Autobuses y Autocares 95%.

Ambos modelos aforadores cuentan con una capacidad de almacenamiento de 8GB, esto se traduce en un total de 800.000.000 de registros vehículo por vehículo. Estos registros consisten en aspectos como la velocidad del vehículo, la clasificación EURO6, la longitud del vehículo, sentido de circulación y número de ejes entre otros.

Para el envío de los datos estos equipos cuentan con un módem interno GSM/GPRS, por lo que solo sería necesario la instalación de una antena para aumentar la cobertura en caso de que esta sea necesaria, también cuenta con capacidad para llevar a cabo un diagnóstico en tiempo real en caso de que sea necesario a través de dicha conexión.

	HITRAC-UTC	HITRAC-EMU3
Aforo	4 carriles	8 carriles
Estudios	Volumen-Velocidad-Clasificación de vehículos	
Clasificación	EURO 6	

Display	No	Si
Almacenamiento	8GB 800 millones de registros	
Comunicaciones	Modem GSM/GPRS interno	

Tabla 2: Características HITRAC UTCL – EMU3. Fuente: Elaboración propia.

Este tipo de equipos cuentan con la posibilidad de la instalación de telemetría, permiten la instalación de una tarjeta SIM para llevar a cabo el envío de datos de manera remota a través de la red de telefonía 3G/4G, de esta forma se minimiza los viajes que se deben realizar a este tipo de puntos para la recogida de datos.

Comparando ambos equipos el Hitrac-EMU3 presenta la ventaja de tener un display lo que facilita la configuración de estos por parte de los operarios, frente al Hitrac-UTC que es necesario el uso de un dispositivo externo para la configuración.

Cabe señalar por último que los modelos de equipos definidos, teniendo en cuenta tecnología utilizada, cuentan con un peligro de desactualización bajo según el fabricante. Esto es teniendo en cuenta que la detección basada en lazo inductivo es una tecnología consolidada para la detección y clasificación de vehículos.

Este equipo consigue los siguientes datos de los vehículos:

- Velocidad del vehículo.
- Clasificación del vehículo.
- Conteo de vehículo.
- Longitud de vehículo
- Sentido de la circulación.
- Hora y fecha.

3.1.2 Aforador ADR-sabre.

La empresa Peek Traffic cuenta con la familia de aforadores ADR, los modelos que se han tenido en cuenta son los ADR-1000, ADR-2000 y ADR Sabre, todos estos modelos no cuentan actualmente con disponibilidad de stock por lo que a modo de información a continuación se muestran las características del modelo ADR-Sabre al considerarse este la versión más actual de los tres modelos.

El ADR-Sabre es la solución de aforador de tráfico para sistemas basados en lazo inductivo que proporciona la empresa Peek Traffic este sistema es actualmente utilizado por el MITMA para los aforos de 4 carriles.

Este aforador cuenta con entradas para un total de 8 sensores permitiendo un total de 4 carriles en configuración lazo-lazo, con este tipo de configuración puede llevar a cabo gran cantidad de estudios como son volumen de tráfico, clasificación de vehículos, velocidad entre otros.

Cuenta con un almacenamiento interno de 16MB siendo este expandible hasta los 4GB a través de una tarjeta SD, con esta capacidad puede llevar a cabo estudios de larga duración, para ello cuenta con varios periodos de estudio predeterminados como son 24 horas, 48 horas, 72 horas, semanal o continuo.

Cuenta con configuración para el intervalo temporal del aforo permitiendo configurar opciones desde 1 minuto a 24 horas. Para la conexión con el equipo cuenta con puerto USB y puerto serial.

Respecto a la autonomía este equipo cuenta con baterías recargables de 10Ah a 6V permitiendo una gran autonomía de varios meses, esta autonomía dependerá de la cantidad de lazos inductivos conectados al equipo.

	ADR-SABRE
Aforo	Hasta 4 carriles
Estudios	Volumen-Velocidad-Clasificación de vehículos
Clasificación	Clases según FHWA Scheme “F” o definidas por el usuario
Almacenamiento	16MB-ampliable a 4GB
Autonomía	Varios meses

Tabla 3: Resumen características Aforador Sabre. Fuente: elaboración propia.

En España estos equipos son distribuidos por la empresa KINEO, desde la empresa se indica que no cuentan con disponibilidad de los equipos tanto para nuevas adquisiciones como reparaciones que requieran piezas de repuesto, si se realiza soporte técnico siempre que este no necesite de piezas de los dispositivos.

3.2 Aforadores tubo neumático

Los aforadores de tubos neumáticos son soluciones de aforo utilizadas para los aforos temporales, estos equipos tienen que estar preparados para realizar una instalación fácil y que se instalará durante unos días y se retirará posteriormente.

3.2.1 *MetroCount VT-5900*

Los aforadores MetroCount presentan una solución para los aforos de tubos neumáticos, este modelo cuenta con una capacidad total para la conexión de 4 tubos neumáticos, de esta forma permite llevar a cabo la configuración de doble tubo para un total de 2 carriles.

Cuenta con una capacidad de almacenamiento de registros de hasta 1 millón de vehículos, con un total de 4 millones de ejes.

Este tipo de equipos cuentan con una carcasa para su instalación en exterior, de esta forma cuenta con la capacidad de instalarse fijado a una estructura para evitar su robo y de esta forma no tener que llevar a cabo la instalación de ningún tipo de armario para la instalación, esto es importante debido a que al tratarse de instalaciones temporales.



Ilustración 18: MetroCount VT-5900. Fuente: Quadrex.

Estos equipos cuentan con una vida útil de alrededor de 4 años, suponiendo un uso bastante seguidos, cuenta con baterías no reemplazables que permiten su uso 290 días sin necesidad de ser cambiadas.

	ADR-SABRE
Aforo	Hasta 2 carriles
Estudios	Volumen-Velocidad-Clasificación de vehículos

Clasificación	Por cada eje, número de ejes, velocidad y clasificación por distancia entre los ejes
Almacenamiento	4 millones de ejes guardados
Autonomía	Varios meses

Tabla 4: Resumen características Aforador MetroCount. Fuente: elaboración propia.

La instalación de los tubos en estos equipos se puede configurar entre los 80 y 120 centímetros, siendo la distancia predeterminada de 100 centímetros.

3.3 Aforadores microondas

Los aforadores microondas son equipos pensados para llevar a cabo aforos más cortos que los lazos inductivos, por ello la autonomía es menor en este caso, también son dispositivos en los que se deben tener en cuenta el punto de instalación.

Dependiendo del modelo algunos aspectos como la altura o la distancia a la carretera y el ángulo de instalación del equipo para obtener un resultado óptimo en los aforos.

Presentan la ventaja de contar con un mantenimiento reducido o casi nulo en algunos casos.

En el caso de que estos equipos sean utilizados para la instalación en estaciones permanentes se debe tener en cuenta que como cuentan por lo general con un consumo mayor que los equipos de aforos por espiras deben contar con un dimensionamiento adecuado de la instalación fotovoltaica para su alimentación.

Estos equipos pueden utilizarse para llevar a cabo aforos en los que no sea necesario realizar la clasificación en 6 o más categorías debido a que la clasificación que llevan a cabo es en base a la longitud de los vehículos por lo que presentan problemas para la configuración y precisión de los conteos por categoría.

En el mercado se han localizados dos aforadores de microondas con proveedores en España, cuyas características se definen a continuación:

3.3.1 *Viacount II*

El aforador de microondas Viacount II es un aforador de tecnología radar, este cuenta con capacidad para aforar hasta dos carriles con capacidad de aforo bidireccional, permite la clasificación en 6 tipos de vehículos y clasificación según la velocidad de estos en un total de 10 tramos, siendo este rango de 1 a 255 km/h. Cuenta con una capacidad de almacenamiento de 4MB lo que suponen datos de 360.000 vehículos los cuales son ampliables hasta los 8MB.



Ilustración 19: Aforador Viacount II. Fuente: ViaTraffic

Este modelo cuenta con un armario de dos secciones en una se encuentra la batería y en la otra se encuentra el radar, la sección del radar se encuentra en el ángulo óptimo respecto a la sección de la batería lo que facilita la instalación del equipo.

La instalación se debe realizar en un rango de alturas que van desde los 0,5 metros hasta los 3,2 metros, debido a esta distancia se deben tener en cuenta que este equipo es susceptible a posibles ocultamientos por parte de vehículos pesados a otros vehículos.

Respecto a la autonomía como ya se ha comentado cuenta con una batería integrada y esta permite un funcionamiento de más de dos semanas con una sola carga. Cuenta con un módulo bluetooth que permite la descarga de los datos de aforo por parte de un operador de forma inalámbrica.

	VIACOUNT II
Aforo	Hasta 2 carriles
Estudios	Clasificación de vehículos por longitud, velocidad, dirección.
Clasificación	Clasificación en 6 tipos de vehículos (motocicleta, turismo, furgoneta, camión y camión articulado).
Almacenamiento	4MB ampliable hasta 8MB
Autonomía	>2 semanas
Altura de montaje	0,50 – 3,20

Tabla 5: Aforador Viacount II. Fuente: Elaboración Propia.

El equipo Viacount II lo distribuye la empresa 3000 Traffic en España, estos equipos cuentan con un plazo de entrega de entre 15 días y 3 semanas y los repuestos cuentan más o menos con el

mismo tiempo de entrega, por el funcionamiento del equipo los repuestos suelen tratarse de baterías debido a la degradación natural de la misma a lo largo del tiempo

Este equipo cuenta con un riesgo de desactualización bajo debido a que cuenta con un gran recorrido y recibe actualizaciones gratuitas.

3.3.2 TC Radar

El aforador microondas TC-RADAR es la solución basada en tecnología radar este aforador es un radar de instalación oblicua, estos cuentan con una capacidad de hasta 2 carriles, lleva a cabo la clasificación de vehículos en 4 clases según su longitud

Puede llevar a cabo una detección de hasta 10 franjas de velocidades configurables por el instalador, cuenta con un rango de velocidad de 4 a 255 km/h

En cuanto al almacenamiento cuenta con una memoria con la capacidad de almacenar hasta 1.000.000 de registros. La descarga de dichos datos y su configuración cuenta con conexión bluetooth.



Ilustración 20: Aforador TC RADAR. Fuente: Quadrex.

Este equipo cuenta con una altura de montaje de 0,5 metros a 4 metros y cuenta con una autonomía de más de 3 semanas mediante una batería integrada recargable.

	TC RADAR
Aforo	2 carriles
Estudios	Clasificación por longitud, velocidad.
Clasificación	4 clases de vehículos
Almacenamiento	1.000.000 registros

Altura de montaje	0,5 a 4 metros
--------------------------	----------------

Tabla 6: Aforador TC RADAR.

3.3.3 RTMS echo

El aforador de microondas RTMS ECHO es la solución basada en tecnología radar de ImageSensing systems, este aforador es un radar de instalación lateral, cuenta con una capacidad de hasta 12 carriles.

Este aforador cuenta con una identificación del vehículo por longitud con clasificación en 8 clases según longitud, respecto a los estudios realizados por el equipo puede llevar a cabo cálculos de las velocidades de los vehículos, cuenta con una capacidad de almacenamiento de 1.000.000 de registros.

Tanto para la configuración como para la descarga de los registros de los vehículos el equipo cuenta con capacidad de conexión bluetooth y WiFi.



Ilustración 21: RTMS SX-ECHO. Fuente: ImageSensing.

Con una altura de instalación de 1,8 a 5,5 metros según la distancia que se requiera aforar y permite la detección con una distancia de 0 metros hasta 76 metros.

	RTMS SX-ECHO
Aforo	Hasta 12 carriles
Estudios	Clasificación por longitud, velocidad, conteo.
Clasificación	Hasta 8 clases según longitud
Almacenamiento	1.000.000 de registros vehiculares
Altura de montaje	Mínimo 5 metros

Distancia carretera	Mínimo de 4 metros
----------------------------	--------------------

Tabla 7: Aforador RTMS SX-ECHO.

Este tipo de equipo cuentan con una mayor restricción en los puntos de instalación posible, debido a que necesitan una altura de montaje más alta que otros dispositivos, pero cuentan con una mayor capacidad de carriles sobre los que llevar el aforo al mismo tiempo, lo que permitiría su uso para llevar a cabo aforos en carreteras con un gran número de carriles siempre que estos se encuentren dentro del alcance del producto.

3.4 Aforadores LPR

3.4.1 Traffic eye

La cámara de lectura de matrículas Traffic Eye Smart Sensor HR Overview es la solución de Lector Vision propone para la detección de lectura de matrículas con 5 Megapíxeles de resolución, puede llevar a cabo la clasificación de vehículos con clases turismo, motocicleta y vehículo pesado, cuenta con protección para instalación en exterior y cuenta con iluminación infrarroja de alta potencia 940nm.



Ilustración: 22: Traffic Eye Smart Sensor HR Overview

Este equipo cuenta con una altura recomendada de instalación de entre 3 y 7 metros con una distancia de lectura recomendada de 15 a 25 metros, con esta instalación este equipo permite la lectura de hasta 2 carriles cuenta con una fiabilidad mayor del 95% y una ratio de detección de vehículos superior al 97%, para el almacenamiento de los datos cuenta con un disco duro de 256GB.

	TRAFFIC EYE
Aforo	1 o 2 carriles
Estudios	Detección de matrículas, clasificación de vehículos.

Clasificación	Hasta 5 clases (moto, coche, furgón, camión y bus)
Consumo Máximo	35 W
Almacenamiento	Disco duro

Tabla 8: Resumen características Traffic Eye. Fuente: elaboración propia.

3.4.2 Smart 2HD

La cámara de lectura de matrículas Smart-2HD es la solución que Tattile propone para llevar la detección de lectura de matrículas con 5 Megapíxeles de resolución, este modelo cuenta con una capacidad de 2 carriles, cuenta con protección para instalación en exteriores y cuenta con iluminación infrarroja mediante 12 focos LED de alta potencia.



Ilustración 23: Smart 2HD. Fuente: Tattile.

Este equipo cuenta con una distancia de lectura de hasta 35 metros respecto al punto que se quiere aforar, con esta instalación este equipo permite la lectura de hasta 2 carriles cuenta con una fiabilidad mayor del 95% en las lecturas y una ratio de detección de vehículos del 99% siendo la fiabilidad total de, para el almacenamiento de los datos cuenta con tarjeta SD hasta 128GB con opción de instalar un disco duro HD/SSD.

	Smart 2HD
Aforo	2 carriles
Estudios	Detección de matrículas, clasificación de vehículos.
Clasificación	Clasificación de vehículos
Consumo Máximo	35 W

Almacenamiento	Ranura microSD, disco duro HD/SSD
-----------------------	--------------------------------------

Tabla 9: Resumen características Smart 2HD. Fuente: elaboración propia.

3.5 Aforadores infrarrojos

Para las soluciones basadas en infrarrojo se ha encontrado la empresa “ADEC technologies”, esta empresa cuenta con varios aforadores utilizando la tecnología infrarroja, en concreto uno de ellos utiliza solamente esta tecnología mientras que el otro utiliza una combinación de varias tecnologías para conseguir realizar los aforos.

3.5.1 TDC 1

Los sensores TDC1 son detectores de tráfico que utilizan tecnología pasiva de infrarroja, con esta tecnología consigue realizar una clasificación de hasta 5 clases, en configuración especial, en una instalación estándar consigue un total de 3 clases, cuenta con una capacidad de 1 carril donde realiza el aforo.



Ilustración 24: Aforador TDC-1. Fuente: Adec Technologies.

Este equipo cuenta con una altura de instalación margen, necesita de un mínimo de 5,5 metros y puede ser instalada hasta un máximo de 18 metros, este equipo está pensado para instalar en estructuras existentes como puede ser en los postes de luminaria de la carretera,

La instalación se consiguen llevar a cabo recuentos de vehículos, detección de la velocidad individual de cada uno de los vehículos clasificación y detección de presencia de vehículos.

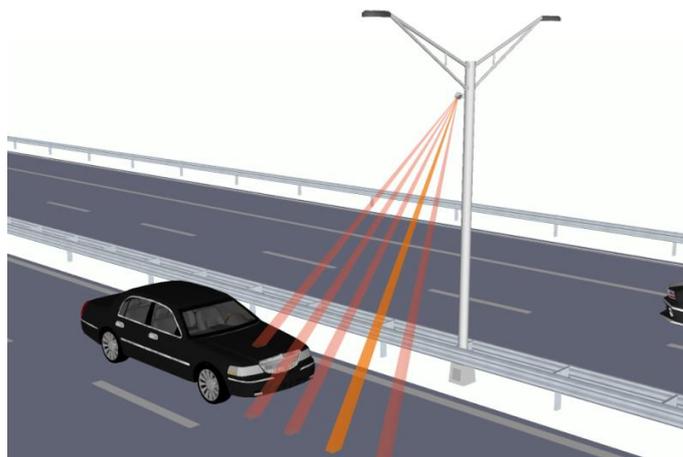


Ilustración 25: Instalación tipo TDC-1. Fuente: Adec Technologies.

En la instalación se requiere la instalación de un PC que permita el almacenamiento de los datos ya que este equipo no cuenta con memoria propia interna.

	TDC-1
Aforo	1 carril
Estudios	Detección vehículos, detección velocidad, clasificación, detección de presencia.
Clasificación	Hasta 3 clases
Consumo Máximo	60 mW
Almacenamiento	Externo

Tabla 10: Resumen características TDC-1. Fuente: elaboración propia.

3.5.2 TDC-3

Los sensores TDC3 de Adec technologies cuentan con una combinación de tres tecnologías, combina las microondas, tecnología infrarroja pasiva y ultrasonidos. Esta combinación de tecnologías consigue una gran precisión, llegando a un conteo mayor del 99,5% si se lleva a cabo una instalación adecuada,

Cuenta con una clasificación según la normativa alemana TLS de hasta 8+1 con una precisión de detección del 95%



Ilustración 26: Aforador TDC-3. Fuente: Adec Technologies.

La instalación de estos equipos se lleva a cabo en estructuras tipo pórtico que permiten la instalación en un dispositivo en cada uno de los carriles, con la instalación se consiguen llevar a cabo recuentos de vehículos, detección de la velocidad individual de cada uno de los vehículos clasificación y detección de presencia de vehículos.

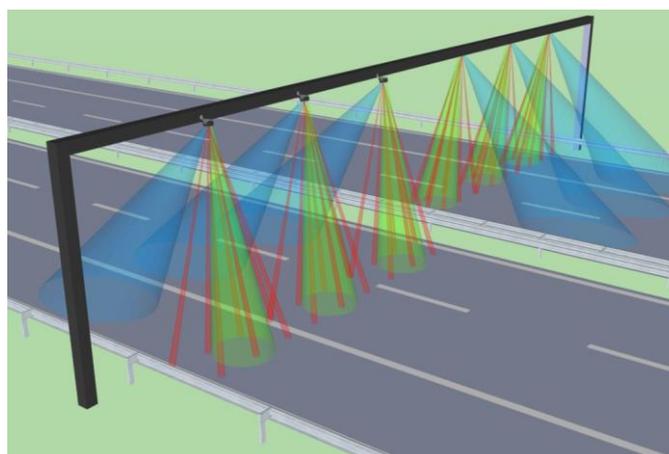


Ilustración 27: Instalación tipo en 6 carriles. Fuente: Adec Technologies.

En la instalación se requiere la instalación de un PC que permita el almacenamiento de los datos ya que este equipo no cuenta con memoria propia interna.

	TDC-3
Aforo	1 carril
Estudios	Detección vehículos, detección velocidad, clasificación, detección de presencia, detección de colas.



Clasificación	Hasta 8 clases
Consumo Máximo	110 mW
Almacenamiento	Externo

Tabla 11: Resumen características TDC-3. Fuente: elaboración propia.

3.6 Resumen de soluciones de mercado.

	TECNOLOGÍA	CARRILES	ESTUDIOS	CLASIFICACIÓN	ALMACENAMIENTO	AUTONOMÍA	COSTES
HITRAC EMU3	Lazo inductivo	4-8	Volumen-Velocidad-Clasificación de vehículos	EURO 6	8GB 800.000.000 registros	4-6 meses	3.100-3.895€
HITRAC UTCL	Lazo inductivo	4					2.182€
ADR-SABRE	Lazo inductivo	4	Volumen-Velocidad-Clasificación de vehículos	FHWA scheme "F"	4GB	4-6 meses	2.200€
VIACOUNT II	Radar Oblicuo	2	Clasificación por longitud, velocidad, conteo, dirección.	6 clases según longitud	8MB	>2 semanas	2.000€
TC-RADAR	Radar Oblicuo	2	Clasificación por longitud, velocidad, conteo, dirección.	4 clases según longitud	1.000.000 registros	2 semanas	2.000€
RTMS ECHO	Radar Lateral	12	Clasificación por longitud, velocidad, conteo, dirección.	8 clases según longitud	1.000.000 registros	(Batería no incluida)	6.500€
TRAFIC EYE	LPR	2	Lectura de matrículas, clasificación de vehículos	5 clases (moto, coche, furgón, camión y bus)	Disco duro	(Batería no incluida)	6.000€
SMART 2HD	LPR	2	Lectura de matrículas, clasificación de vehículos	5 clases (moto, coche, furgón, camión y bus)	MicroSD, Disco duro, SSD	(Batería no incluida)	6.000€
TDC 1	Infrarrojo	1	Detección velocidad, clasificación, detección de presencia, detección de colas.	3 clases según longitud	Externo	(Batería no incluida)	3.000€
TDC 3	IR+MW+US	1	Detección velocidad, clasificación, detección de presencia, detección de colas.	8+1 clases (Normativa Alemana)	Externo	(Batería no incluida)	4.500€

Tabla 12: Comparativa equipos comerciales. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 4. Comparativa técnica y económica

En este capítulo se realiza una comparativa de las diferentes tecnologías mencionadas viendo sus capacidades y el coste económico con el que cuentan cada una de ellas para diferentes tipos de instalaciones.

El análisis técnico se basa tanto en la información recabada y su información como en una parte práctica realizada **como parte del equipo de Telecomunicaciones e ITS en la empresa CPS Infraestructuras Movilidad y Medio Ambiente.**

Gracias a esta prueba se pueden obtener datos reales de los niveles de calidad de datos que se llegar a obtener en las condiciones en las que se realiza el estudio.

A continuación, se introduce primero la prueba realizada ya que servirá como apoyo para la comparativa técnica posteriormente.

4.1 Prueba de campo

Como parte de un contrato en la empresa CPS Infraestructuras Movilidad y Medio Ambiente para el MITMA el pasado julio de 2023 se realizó una prueba de diferentes tecnologías con el fin de obtener datos propios sobre el funcionamiento de las tecnologías consideradas de interés por el MITMA para ver su desempeño en un entorno real.

Esta prueba se llevó a cabo en la carretera convencional N-340 en las cercanías a la población de Nules, en concreto entre los PK 953+870 y el PK 954+100 y se utilizaron los siguientes equipos algunos existentes otros instalados en el momento, el reparto de los equipos finales fue el siguiente:

- ***Equipos del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA):***
 - Espiras.
 - Gomas neumáticas.
- ***Equipos de la Dirección General de Tráfico (DGT):***
 - Espiras.
- ***Equipos instalados por parte de CPS:***
 - Radares.
 - Lector de matrículas (LPR).

Por parte del ministerio se contaba con unas espiras instaladas en la carretera en el PK 953+870 y se llevó a cabo la instalación de gomas neumáticas para realizar un aforo temporal de los vehículos en el mismo punto, por parte de DGT cuenta con unas espiras PK951+560 y 953+160 en el sentido creciente y decreciente.

En esta prueba se realizaron mediciones utilizando diferentes tecnologías tal y como se puede observar por lo mencionado, por lo que la prueba sirve para llevar a cabo una comparación de las tecnologías y ver cómo es su funcionamiento en un caso de carretera convencional.

La empresa CPS se realizó la instalación de dos radares laterales estos se instalaron en los puntos PK 954+090 y en PK 952+100 y una cámara de lectura de matrículas (LPR) en el PK 954+100, estos equipos se instalaron en estructuras existentes de cartelería por lo que la altura de instalación no pudo ser la idónea para este tipo de equipos.

4.1.1 Descripción de la ubicación

La ubicación elegida fue fruto de las conversaciones con el ministerio de transportes para llevar a cabo tanto la comparación con las tecnologías como con los equipos instalados de la DGT en la zona.

Por parte del ministerio de transporte se llevó a cabo la instalación de un equipo de gomas neumáticas y un equipo aforador con espiras.

Por parte de la empresa CPS se estudió la zona para la instalación de un total de tres equipos, dos aforadores de radar lateral y una cámara de lectura de matrículas, para la instalación de estos equipos se consideró la instalación en estructuras existentes

Estudiando la zona y teniendo en cuenta las necesidades de los equipos para llevar a cabo una medición lo más precisa posible, es decir la instalación en un tramo recto, teniendo en cuenta esto se consideraron los siguientes puntos ya que son puntos con fácil acceso y espacio para llevar a cabo la instalación.



Ilustración 28: Punto de instalación cámara lectura de matrículas. Fuente: CPS

En este primer punto se instaló la cámara de lectura de matrículas y el armario con las baterías para la alimentación del equipo.



Ilustración 29: Punto de instalación radar aforador lateral. Fuente: CPS

En el segundo punto se instaló el radar aforador lateral y el armario con las baterías para la alimentación del equipo.

4.1.2 Configuración de los equipos

El objetivo de este apartado es el de explicar el proceso de configuración de los equipos instalados por parte de la empresa CPS, en este proceso se participó en el proceso de la configuración personalmente y la instalación se realizó por parte de un personal especializado de CPS.

4.1.2.1 Radar RTMS Sx-300,

Para la configuración de los equipos de radar cuenta con un total de 7 pasos, estos pasos se tienen que realizar in situ ya que se tienen que adaptar a la zona concreta de la instalación, los pasos se realizan mediante la conexión de un PC portátil y son los siguientes:

- Paso 1: Elegir el tipo de carretera.
- Paso 2: Configuración del mapa de zonas de detección.
- Paso 3: Ajuste de zonas
- Paso 4: Verificación de conteo de vehículos.
- Paso 5: Calibración de velocidad.
- Paso 6: Definir el tipo de información de salida.
- Paso 7: Definición de clasificación de los vehículos.

A continuación, se explica el proceso realizado para la configuración de los equipos en la instalación realizada como parte de la prueba de las tecnologías.

Paso 1: Elegir el tipo de carretera

En este primer paso se debe seleccionar si se trata de un aforo en tramo interurbano o en tramo urbano, en el primer método llamado **Side Fired Highway** se utiliza cuando se trata de una

carretera en la que el tráfico es en movimiento libre y no se esperan congestiones, la distancia en los puntos a detectar es mayor y los carriles cuentan con un ancho mayor.

Por otra parte, existe el modo **Midblock** este modo se utiliza en entornos urbanos donde la distancia de detección tiene que ser más corta, el tráfico es urbano por lo tanto puede presentar congestión y los carriles son estrechos.

En el caso de esta prueba se configuro en modo **Side Fired Highway** debido a que la carretera es interurbana.

Paso 2: Configuración de mapa de zonas de detección

A continuación, se lleva a cabo una detección automática de las zonas de detección, esto lo hace automáticamente el equipo teniendo que seleccionar las diferentes zonas que se desean dejar activas pudiendo eliminar posibles zonas no deseadas para el aforo, el aspecto del configurador es el siguiente.

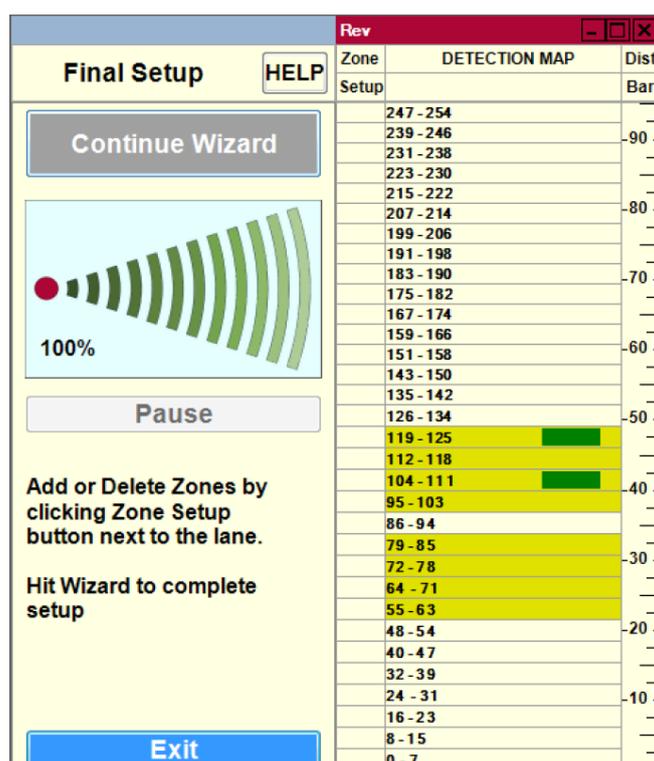


Ilustración 30: Ejemplo configuración equipo radar. Fuente: Manual RTMS-Sx300

En amarillo se pueden observar las zonas seleccionadas de detección.

En el caso de la prueba se trataba de una zona de dos carriles uno en cada sentido sin mediana por lo que las zonas de detección se encontraban pegadas y podían llevar a errores, por ello se realizó una configuración en el siguiente paso

Paso 3: Ajuste de zonas

El configurador permite cambiar las diferentes zonas de detección pudiendo dejar una mediana virtual entre los carriles en los que no se lleva a cabo la detección de los vehículos para evitar posibles solapamientos.

Debido a que los dos carriles se encuentran pegados se realizó un ajuste en el que la sensibilidad de la detección se subió ya que no se detectaban los vehículos ligeros del carril más alejado del radar.

Además, para realizar la mediana virtual se alejó la zona de detección más lejana dejando mayor separación que la configurada inicialmente ya que con la configuración inicial se detectó que los vehículos pesados se duplicaban en ambos carriles.

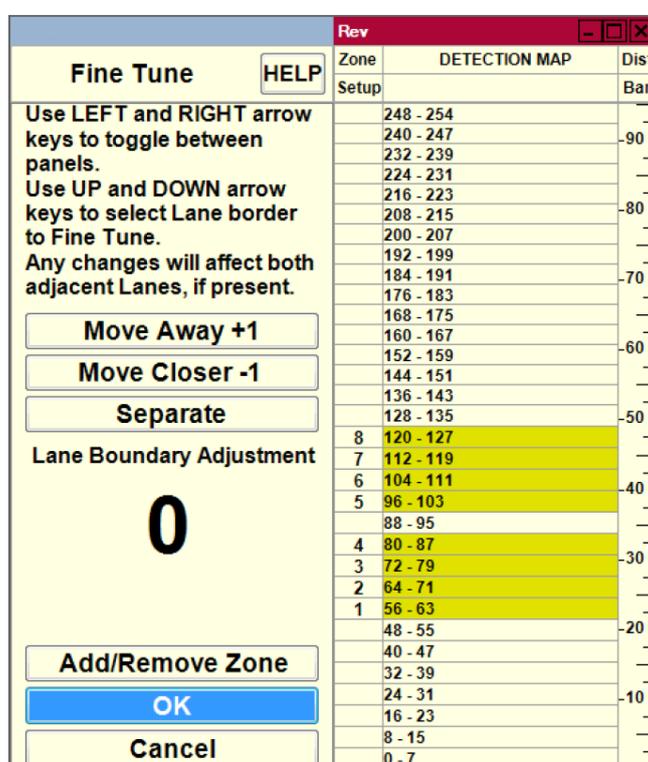


Ilustración 31: Ejemplo Fine Tune equipo radar. Fuente: Manual RTMS-Sx300.

Paso 4: Verificación de conteo de vehículos.

En este paso se debe realizar un conteo manual y verificar que el equipo se encuentra adecuadamente configurado para la detección de los vehículos, en este caso se realizó una primera configuración que se encontró no válida en este paso.

En caso de que esto pase se debe llevar a cabo una reconfiguración del equipo para poder dar con una configuración adecuada volviendo al paso 2.

Paso 5: Calibración de velocidad

A continuación, el equipo necesita de una configuración de velocidad de la carretera, esto se hace para poder llevar a cabo la medición de la longitud de los vehículos basándose en la velocidad de la carretera, un vehículo a alta velocidad puede suponer una mala clasificación por lo que este paso es importante realizarlo con precisión, en este caso se configuro respecto a la velocidad permitida de la carretera.

Paso 6: Definir información de salida

En este paso se configura el documento de salida que generará el equipo, este equipo permite la configuración de las unidades de la velocidad y elegir las clases que se requieren diferenciar para el aforo vehicular, también puede dar el dato de distancia entre vehículos. Esto puede ser la distancia entre el final de la parte trasera de un vehículo y la delantera del siguiente (Gap) o la distancia entre las partes delanteras de cada vehículo (Headway) y también puede llevar a cabo el cálculo el 85% de velocidad.

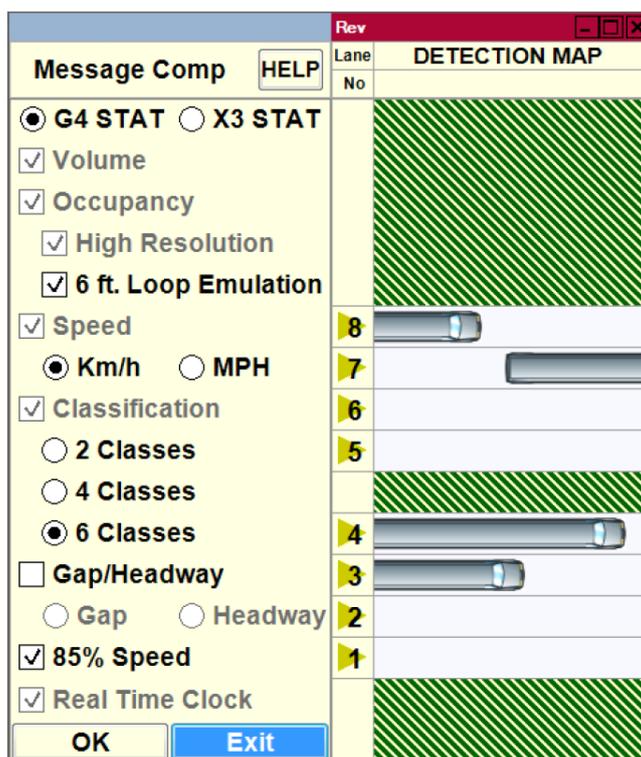


Ilustración 32: Pantalla información de salida. Fuente: Manual RTMS-Sx300

En este caso se configuro el equipo para que se clasificaran un total de 2 clases ya que solo se necesitaba la diferencia entre vehículos ligeros y pesados

Paso 7: Definición de clasificación de vehículo

Para la definición de las clases se definen mediante la longitud de estas, en este caso se configura el límite de distancia X en el que cualquier vehículo por debajo de un valor se considera de clase

1 y por encima en clase 2, en este caso se siguió la recomendación del fabricante y se especificó una longitud límite de 4,5 metros.

Todo este proceso se debe realizar in situ en el punto de instalación, con este proceso el equipo guarda un archivo de configuración en su memoria local que permite la descarga de los datos conseguidos.

4.1.2.2 Smart HD Vega

La cámara de lectura de matrícula cuenta con dos momentos de configuración, la primera se puede realizar antes de la instalación, en esta instalación se configura que parámetros se van a guardar para el aforo, la calidad de las imágenes guardadas y en qué momento se van a guardar los diferentes datos, la configuración cuenta con los siguientes pasos.

Las configuraciones con las que cuenta la cámara se muestran en la siguiente imagen.

System	Actions / Events	Send Image FTP	Save DB FTP	Pulse Out	Com485 Message	TCP Message	Template Message	Send Image FTP 2	Save DB FTP 2	TCP Message 2	SD Saving	Save DB SD
	Ocr Read											
	Ocr Not Read											
	Ocr No Plate											
	Match On List A											
	No Match On List A											
	Match On List B											
	No Match On List B											
	Start Trigger											
	Stop Trigger											
	System Diagnostic											
	Changed Input											

Ilustración 33: Configuración Smart HD Vega. Fuente: Manual Smart HD Vega

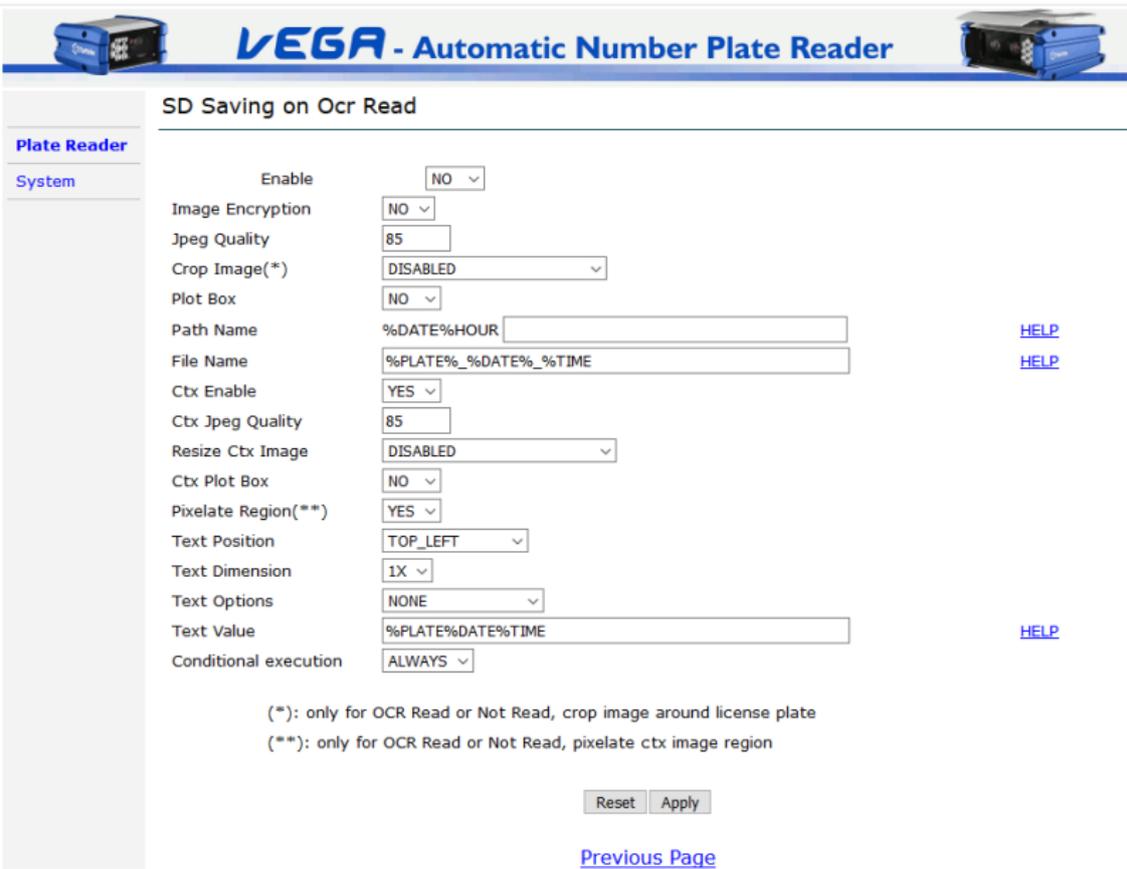
En este menú se puede configurar en que momentos y como se guardan los diferentes, cuenta con la opción de enviar a través de File Transfer Protocol (FTP), para que esta opción funcione se tiene que configurar un servidor que reciba los datos y un equipo que cuente con capacidad para comunicación desde el punto de instalación.

En este caso se configuro SD Saving y Save DB SD, estas se configuraron para los siguientes casos:

- OCR Read: Se ha detectado una matrícula y esta ha sido leída correctamente.

- OCR No Read: Se ha detectado una matrícula, pero esta no ha podido ser leída o se ha leído parcialmente, de esta forma se detectan matrículas dañadas o aquellas que no han podido ser leídas de forma correcta debido a limpieza de estas o por ocultamientos parciales.

Dentro de la configuración sobre el guardado de las imágenes debido a que la memoria con la que cuenta la cámara es limitada y evitar que la memoria sea un factor limitante para el aforo realizado se ha configurado



VEGA - Automatic Number Plate Reader

SD Saving on Ocr Read

Plate Reader

System

Enable: NO

Image Encryption: NO

Jpeg Quality: 85

Crop Image(*): DISABLED

Plot Box: NO

Path Name: %DATE%HOUR [HELP](#)

File Name: %PLATE%_%DATE%_%TIME [HELP](#)

Ctx Enable: YES

Ctx Jpeg Quality: 85

Resize Ctx Image: DISABLED

Ctx Plot Box: NO

Pixelate Region(**): YES

Text Position: TOP_LEFT

Text Dimension: 1X

Text Options: NONE

Text Value: %PLATE%DATE%TIME [HELP](#)

Conditional execution: ALWAYS

(*): only for OCR Read or Not Read, crop image around license plate
(**): only for OCR Read or Not Read, pixelate ctx image region

Reset Apply

[Previous Page](#)

Ilustración 34: Configuración imagen Smart HD Vega. Fuente: Manual Smart HD Vega

En esta configuración se configuro la calidad de las imágenes, los campos a destacar para la configuración son los siguientes:

- JPEG Quality: es el valor de compresión de la imagen, esto afectada a la calidad de la imagen de la matrícula guardada, los valores suelen ser entre 50 y 90, en este caso se configuro un valor de 50.
- Ctx. JPEG Quality: es el valor de la compresión de la imagen de contexto guardado que se realiza al detectar una matrícula, este valor funciona igual que el anterior, en este caso se configuro un valor de 40 para minimizar la memoria que ocupan estas imágenes sin perder la capacidad de supervisión de las imágenes.



Las columnas que genera la cámara son las que se pueden observar en la siguiente imagen.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
DEVICE_SN	DIR	PLATE	NREAD	DATE	TIME	IMAGECLASS	CLASS_STRING	VEHICLE_TYPE	VEHICLE_TYPE_NUM	VEHICLE_COLOR_STRING	VEHICLE_BRAND_STRING	DIRECTION	SPEED	OCRSCORE	OCRSCORE_2	OCRSCORE_CHAR	
2	2101000196	GOAWAY		16	14/07/2023	09-07-16-391		14	TRUCK	PASS	3	WHITE	NA	GOAWAY	7485	90	0 084 082 084 086 083 080 087
3	2101000196	GOAWAY		7	14/07/2023	09-07-18-633		4	BUS	PASS	3	BLACK	Ford	GOAWAY	4682	86	0 080 080 081 080 078 074 087
4	2101000196	GOAWAY		5	14/07/2023	09-07-34-371		6	UNKNOWN	UNKNOWN	0	NA	NA	GOAWAY	NA	33	0 075 075 077 083 080 072
5	2101000196	GOAWAY		9	14/07/2023	09-07-35-011		14	TRUCK	PASS	3	WHITE	NA	GOAWAY	6409	92	0 086 084 087 084 087 089 086
6	2101000196	UNKNOWN		5	14/07/2023	09-07-35-431		14	TRUCK	TRAILER	15	WHITE	NA	UNKNOWN	5144	89	0 081 082 084 078 080 079 080 087
7	2101000196	APPROACH		31	14/07/2023	09-10-25-811		0	CAR	PASS	3	GREEN	Lincoln	APPROACH	4249	83	0 081 083 082 082 079 079 084
8	2101000196	GOAWAY		5	14/07/2023	09-10-26-871		0	CAR	PASS	3	NA	NA	GOAWAY	9466	78	0 067 076 081 082 083 073 057
9	2101000196	UNKNOWN		2	14/07/2023	09-10-39-411		14	TRUCK	PASS	3	WHITE	NA	UNKNOWN	6482	90	0 079 083 086 083 080 082 082
10	2101000196	GOAWAY		9	14/07/2023	09-12-26-071		0	CAR	PASS	3	WHITE	VW	GOAWAY	9840	89	0 076 074 084 076 087 091 089
11	2101000196	GOAWAY		13	14/07/2023	09-12-31-991		0	CAR	PASS	3	WHITE	VW	GOAWAY	6946	89	0 089 079 079 089 088 082 087
12	2101000196	GOAWAY		21	14/07/2023	09-12-33-071		0	CAR	PASS	3	BLACK	VW	GOAWAY	6714	93	0 086 084 091 089 087 083 086
13	2101000196	GOAWAY		4	14/07/2023	09-12-36-831		14	TRUCK	PASS	3	WHITE	NA	GOAWAY	7273	76	0 086 087 075 075 080 080 089
14	2101000196	GOAWAY		5	14/07/2023	09-12-20-291		14	TRUCK	PASS	3	WHITE	NA	GOAWAY	9595	91	0 084 087 083 089 081 091 080
15	2101000196	GOAWAY		4	14/07/2023	09-13-20-333		14	TRUCK	TRAILER	15	WHITE	NA	GOAWAY	9710	89	0 076 085 081 089 079 081 079 084
16	2101000196	GOAWAY		2	14/07/2023	09-13-21-991		8	MOTORBIKE	MOTO	6	NA	NA	GOAWAY	8786	77	0 058 089 064 080 072 085 084
17	2101000196	GOAWAY		30	14/07/2023	09-15-02-751		0	CAR	PASS	3	NA	NA	GOAWAY	4284	83	0 076 082 073 082 087 087 083
18	2101000196	GOAWAY		33	14/07/2023	09-16-04-451		14	TRUCK	PASS	3	WHITE	NA	GOAWAY	3018	88	0 080 078 086 081 079 082 089
19	2101000196	GOAWAY		9	14/07/2023	09-16-09-031		14	TRUCK	PASS	3	WHITE	NA	GOAWAY	4841	84	0 080 081 077 078 079 077 073
20	2101000196	GOAWAY		17	14/07/2023	09-16-13-671		14	TRUCK	PASS	3	WHITE	NA	GOAWAY	5877	83	0 083 082 076 083 086 080 081
21	2101000196	UNKNOWN		1	14/07/2023	09-18-30-471		14	TRUCK	PASS	3	WHITE	NA	UNKNOWN	NA	72	0 076 081 089 074 081 081
22	2101000196	GOAWAY		6	14/07/2023	09-18-37-451		0	CAR	PASS	3	WHITE	Jeep	GOAWAY	4826	80	0 071 078 082 074 082 073 087
23	2101000196	GOAWAY		12	14/07/2023	09-19-09-091		0	CAR	PASS	3	NA	NA	GOAWAY	4899	79	0 070 074 083 082 085 067 082
24	2101000196	GOAWAY		22	14/07/2023	09-19-15-791		14	TRUCK	PASS	3	GREEN	NA	GOAWAY	4856	86	0 081 080 084 084 075 087 070
25	2101000196	GOAWAY		28	14/07/2023	09-19-21-931		14	TRUCK	PASS	3	BLACK	NA	GOAWAY	5118	83	0 077 075 085 075 074 080
26	2101000196	GOAWAY		13	14/07/2023	09-19-24-551		0	CAR	PASS	3	BLACK	VW	GOAWAY	5351	88	0 088 089 085 084 080 079 085
27	2101000196	UNKNOWN		3	14/07/2023	09-19-29-151		6	UNKNOWN	UNKNOWN	0	NA	NA	UNKNOWN	NA	34	0 071 077 081
28	2101000196	APPROACH		4	14/07/2023	09-19-42-931		12	HEAVY TRUCK	PASS	3	WHITE	Renault	APPROACH	3356	78	0 062 076 075 082 074 068 072
29	2101000196	UNKNOWN		1	14/07/2023	09-19-44-792		11	VAN	PASS	3	WHITE	VW	UNKNOWN	NA	70	0 071 073 055 082 086 089 082
30	2101000196	GOAWAY		23	14/07/2023	09-19-50-331		11	VAN	PASS	3	BLACK	Ford	GOAWAY	4465	84	0 082 076 076 075 071 083 086
31	2101000196	GOAWAY		29	14/07/2023	09-20-09-091		0	CAR	PASS	3	WHITE	Opel	GOAWAY	4164	90	0 086 083 080 083 084 077 079 080
32	2101000196	GOAWAY		11	14/07/2023	09-20-31-532		0	CAR	PASS	3	WHITE	Hyundai	GOAWAY	6081	83	0 082 080 080 077 070 081 079
33	2101000196	GOAWAY		13	14/07/2023	09-20-41-331		0	CAR	PASS	3	WHITE	Mercedes	GOAWAY	5782	86	0 081 077 084 082 084 079 078
34	2101000196	GOAWAY		17	14/07/2023	09-23-37-831		0	CAR	PASS	3	BLUE	Volvo	GOAWAY	3049	92	0 079 082 088 082 093 090 087

Ilustración 35: Imagen documento salida. Fuente: Documento ejemplo CPS

Las columnas PLATE e IMAGENAME incluyen datos de las diferentes matriculas detectadas por lo que se han dejado en blanco, las columnas contienen la siguiente información:

- **DIRECTION:** Si el vehículo se encuentra en dirección GOAWAY, alejándose de la cámara, o APPROACH, en dirección entrante a la cámara, de esta forma se conoce en qué dirección se encuentra circulando el vehículo.
- **PLATE:** guardo el dato de la matricula detectada.
- **NREAD:** guarda la cantidad de veces que se ha detectado la matricula durante el paso del vehículo por el punto de lectura.
- **DATE:** guarda el día en el que se ha detectado el dato.
- **TIME:** guarda el momento, en centésimas de segundo de la detección realizada.
- **IMAGENAME:** guarda el nombre de la imagen de contexto, esta incluye el número de matrícula para facilitar la comparación.
- **CLASS** y **CLASS_STRING:** guarda la clase en número y en texto las diferentes clases que asigna la propia cámara, en este caso se ven las clases CAR, TRUCK y MOTORBIKE.
- **VEHICLE_TYPE** y **VEHICLE_TYPE_NUM:** guarda el tipo de vehículo que ha detectado la cámara, encontramos los valores PASS, TRAILER y MOTO.
- **VEHICLE_COLOR_STRING:** guarda el color detectado del vehículo.
- **VEHICLE_BRAND_STRING:** guarda la marca detectada por la cámara del vehículo.
- **SPEED:** guarda la velocidad detectada por la cámara.
- **OCRSCORE:** la puntuación OCR es la confianza que tiene la cámara en la detección de la matrícula de forma correcta, este valor es de suma importancia ya que se tiene en cuenta a la hora de desechar la matricula por parte de la cámara y dar la lectura como no

valida, este valor se puede configurar para que rechace matriculas a partir de cierto valor, el valor típico de una lectura buena de una matrícula se encuentra entre los valores de 80 a 100.

- OCRSCORE_CHAR: Es el mismo valor de la confianza de lectura, pero dividido para cada uno de los caracteres detectados de la matrícula por separado.

La configuración in situ se trata de la configuración de zonas de búsqueda, el modelo de cámara cuenta con la opción de realizar lecturas en un carril o en dos carriles, en este caso se aforaron dos carriles una en cada sentido, la pestaña de configuración tiene el siguiente aspecto.

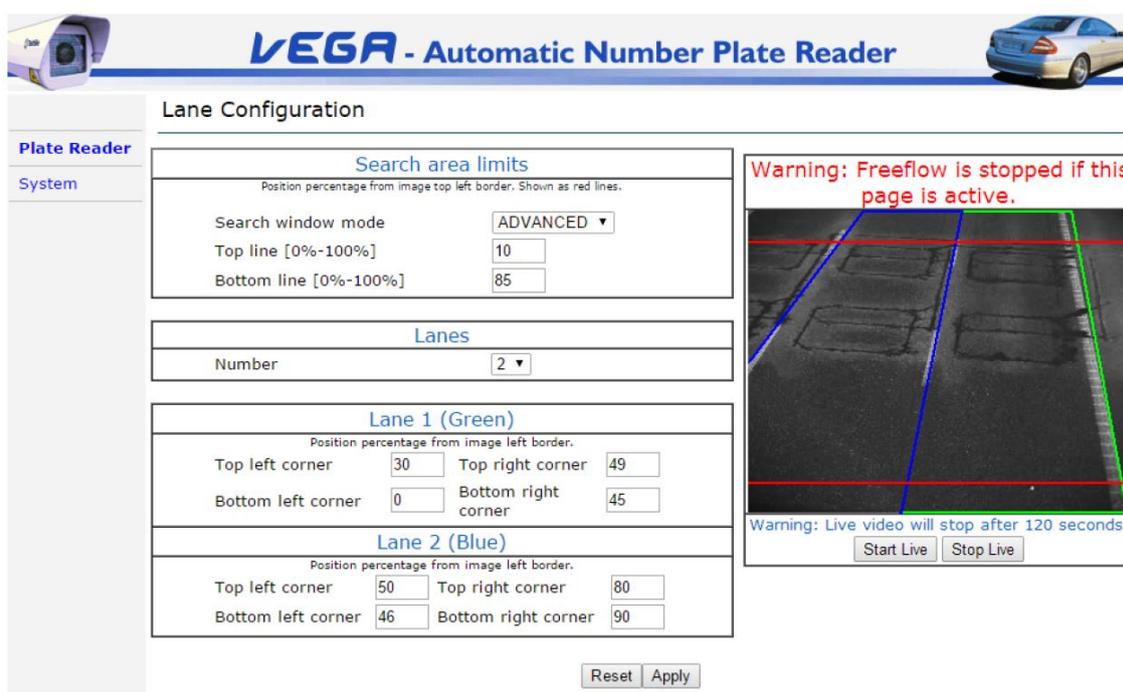


Ilustración 36: Ventana configuración carriles. Fuente: Manual Smart HD Vega

En esta ventana la cámara permite la configuración de tanto el área de búsqueda como de los dos carriles en los que se va a realizar, de esta forma se puede delimitar la zona en la que se van a realizar las mediciones y de esta forma evitar que la cámara lleve a cabo intentos de lectura que produzcan un sobreesfuerzo en el procesado de imágenes del equipo.

De este modo se configuraron los diferentes carriles que se encontraron en el punto de instalación teniendo en cuenta los ocultamientos que pudieran dar.

4.1.3 Análisis realizado

A partir de la instalación realizada se obtuvieron unos datos de aforo de los diferentes equipos, desde DGT y el ministerio de transporte se facilitaron los datos a la empresa CPS, desde CPS se realizó el análisis de estos datos, a continuación, se realiza un análisis de los resultados obtenidos a partir del tratamiento de los datos.

El análisis de los datos registrados por los equipos anteriormente descritos se centrará en las intensidades horarias tanto de vehículos totales como las específicas de vehículos pesados, además de hacer una comparación preliminar entre las velocidades medias registradas por los equipos que si registren este parámetro.

Hay que destacar que los análisis se harán por sección controlada por los equipos y sentido de circulación, esto último debido a que los equipos de DGT ubicados en el entorno de estudio no registran datos en ambos sentidos de circulación.

Por otro lado, se realiza un estudio del conjunto de equipos ubicados en la sección más cercana a la ubicación de los equipos del MITMA los equipos son:

- El radar en el PK 954+090 ('radar_1' en las gráficas presentadas a continuación),
- El lector de matrículas ubicado en el PK 954+100 ('LPR' en las gráficas)
- Las espiras de DGT ubicadas en el PK 953+160 en sentido decreciente ('N-340_D_PK_953+160' en las gráficas).
- Las espiras de MITMA ubicadas en el PK 953+870 ('N-340_D_PK_953+870_seccion_11' en las gráficas).
- Los tubos neumáticos de MITMA ubicadas en el PK 953+870 ('N-340_D_PK_953+870_seccion_13' en las gráficas).

A continuación, se presentan la gráfica de intensidad total de vehículos por hora por sentido para el día 15 de julio de 2023 para poder comparar los datos registrados por el conjunto formado por el grupo 1:

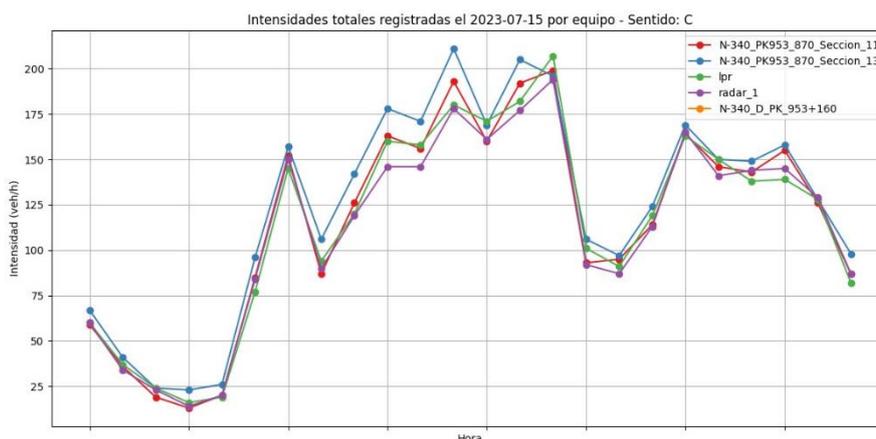


Ilustración 37. Series temporales de la intensidad horaria-1. Fuente: CPS.

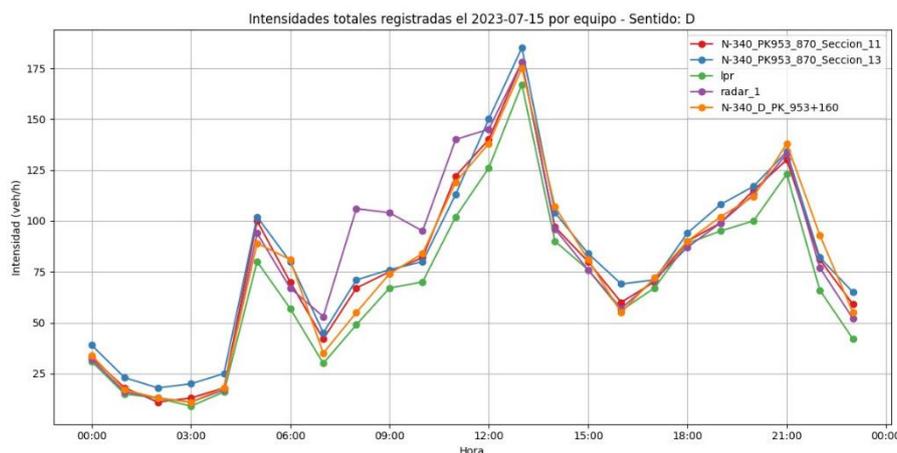


Ilustración 38. Series temporales de la intensidad horaria-2. Fuente: CPS.

Tal y como se puede observar en las gráficas se puede apreciar que la detección de vehículos cuenta con una precisión elevada en todas las tecnologías, destacando que las LPR debido a la posición de la instalación pueden tener una pérdida de información mayor que el resto de los equipos ya que en caso de lectura parcial de la matrícula el vehículo es descartado.

Esta variación también se produce entre las diferentes tecnologías “clásicas” utilizadas por parte de las administraciones por lo que se podría considerar que los datos conseguidos son válidos y cuentan con un buen grado de fiabilidad en la detección total de vehículos.

Por otra parte, hay que destacar que la detección del radar cuenta con un buen valor de detección salvo en una franja horario donde se puede observar una gran desviación, esto se puede deber a que la instalación no se pudo respetar la altura recomendada por el fabricante y que un posible vehículo podría ser detectado dos veces.

Por destacar un aspecto de esta prueba se ha visto que en horas nocturnas que se pueden considerar problemáticas de las LPR ya que se basan en el uso de iluminación infrarroja para conseguir y podrían correr el riesgo de perder capacidad de detección.

En este punto se considera interesante calcular la matriz de correlación para el periodo de tiempo en el que se encuentran activos todos los equipos del grupo 1, es decir, hasta que el LPR se encontró funcionando.

A continuación, en la matriz de correlación se puede observar como el equipo que más correlación presenta con los equipos del MITMA es el radar_1, aun presentando las diferencias de registros el día 15 por la mañana. Esta alta correlación sugiere que los equipos tienden a comportarse de manera similar en términos del volumen registrado en sus actividades.

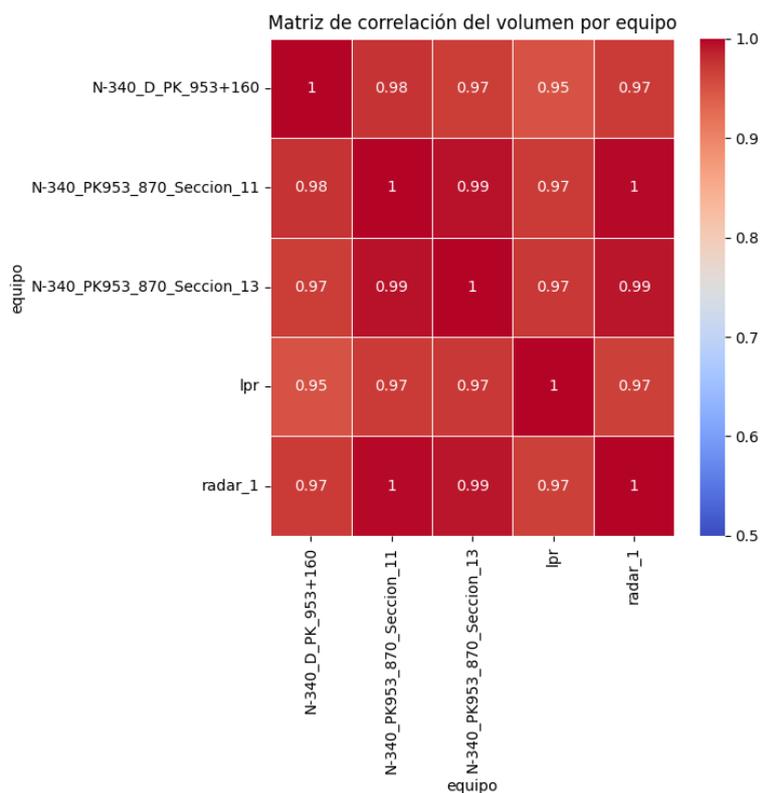


Ilustración 39. Matriz de correlación de la intensidad total por equipo del grupo 1. Fuente: CPS.

Los valores representados son la variación que cuentan cada uno de los sensores respecto al resto, en la diagonal encontramos los valores 1 ya que se están comparando los mismos valores y en el resto se compara cada una de las tecnologías con las otras

Como se puede observar en la matriz de correlación los datos obtenidos tienen un alto nivel de calidad ya que estos se encuentran entre el 95% y el 100%, esto confirma que los valores de detección de las diferentes tecnologías son muy parecidos por lo que como resultado de estas pruebas se demuestra que las tecnologías se pueden considerar válidas a nivel de calidad de datos de detección obtenido de las zonas aforadas.

A diferencia de las series de intensidad de totales, donde las correlaciones sugieren una semejanza entre las franjas horarias y los equipos, las series de datos de vehículos pesados parecen mostrar una variabilidad más pronunciada. Las correlaciones siguen siendo altas, ya que recopilan información sobre la misma variable, pero se alejan más de 1.

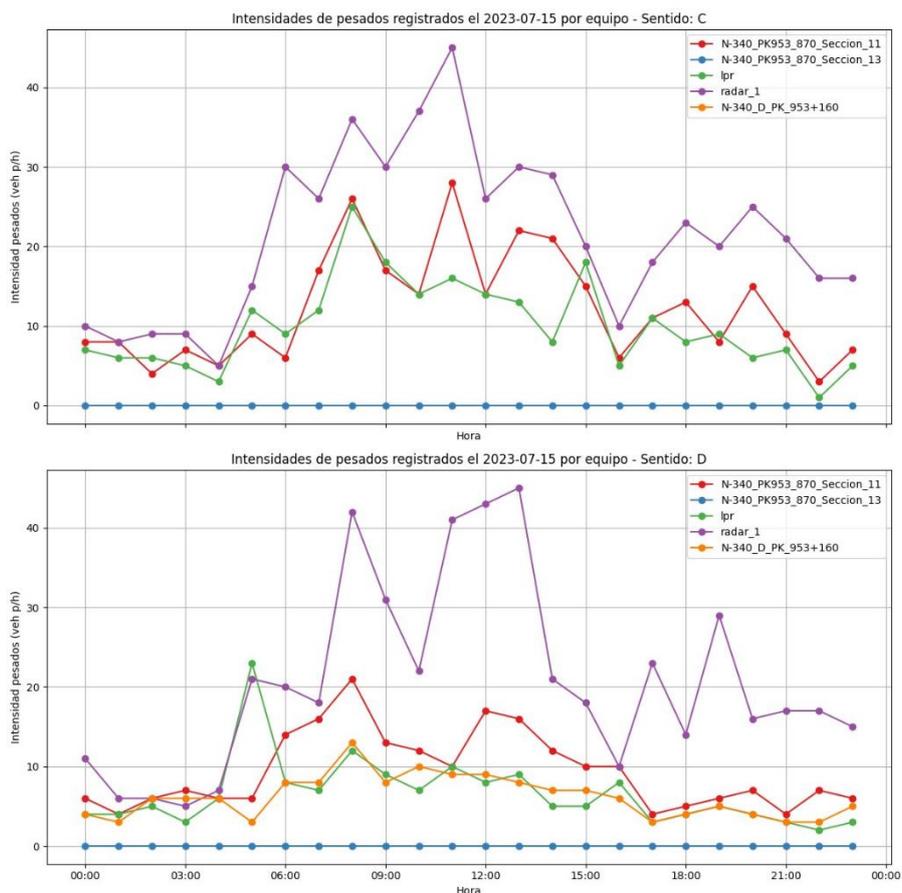


Ilustración 40. Series temporales de la intensidad de pesados. Fuente: CPS.

Como se puede observar por las gráficas a nivel de clasificación las tecnologías ofrecen diferentes calidades, en el caso del radar se puede observar que los vehículos pesados detectados difieren en gran medida de los detectados por el resto de las tecnologías.

Como ya se ha comentado anteriormente esto es debido a que la altura de la instalación no se encuentra dentro de los parámetros óptimos pero debido a la naturaleza de estas pruebas no se podía realizar una instalación de un poste para cumplir con esta altura.

Este error también se puede ver inducido por la velocidad de los vehículos junto con la altura de instalación, así como la configuración errónea de la longitud límite de los vehículos.

Como resultado de este estudio se puede ver que si no se cumple la altura de instalación recomendada por el fabricante estos equipos cuentan con una falta de calidad de clasificación lo que resulta en que la instalación y configuración de los equipos es de vital importancia llevarla a cabo de manera precisa.

4.1.4 Conclusiones del análisis de la prueba

Como conclusión del análisis se puede obtener como no se puede aprovechar cualquier estructura para la instalación de un equipo radar, por lo tanto, sería necesario la instalación o bien en un poste que cuente con la suficiente altura o instalar un poste propio para poder llevar a cabo una correcta clasificación de los vehículos aforados.

Por otra parte, se puede observar como a nivel de detección tanto las cámaras como los radares presentan un buen dato de detección lo que demuestra un buen nivel de estos equipos que consiguen valores muy cercanos a equipos utilizados de manera muy extensa y con un funcionamiento sólido y consolidado como son los tubos neumáticos o las espiras, este funcionamiento es el esperado según lo indicado en la ficha técnica de los fabricantes de los equipos en concreto.

A nivel de clasificación de los vehículos la cosa cambia ya que existe más diferencia entre los diferentes equipos.

El radar presenta una mayor diferencia debido a las condiciones de la instalación, de este estudio se puede sacar la conclusión que los radares requieren de una instalación más precisa que las cámaras de lectura de matrícula ya que frente a una instalación en condiciones parecidas, Es decir, la cámara de lecturas de matrícula se ha adaptado mejor a este escenario improvisado lo que presenta un punto a favor para este tipo de tecnologías.

Se recomendaría que se realice una instalación en postes con mayor altura para los radares en futuros aforos respetando siempre la altura recomendada por el fabricante, este problema no se daría en una instalación completa debido a que el poste sería instalado a la vez que el radar.

En caso de utilizar postes existentes aprovechar aquellos que farolas o utilizar postes movibles para poder respetar siempre la altura recomendada.

4.2 Comparativa técnica

En la parte de comparativa técnica analizaremos aspectos clave como la precisión de los datos recopilados, la facilidad de implementación, los costos asociados y la escalabilidad. Al destacar las características distintivas de cada tecnología y sus implicaciones en la planificación y gestión del tráfico, esta comparación proporcionará una guía práctica para seleccionar la solución más adecuada dependiendo de si se trata de un entorno urbano o interurbano.

En este documento nos centraremos como ya se ha hecho en el análisis de las tecnologías y el mercado en aforos vehiculares en entornos urbanos, se tendrán en cuenta los diferentes modelos estudiados y que aportan cada una de estas tecnologías a los diferentes aforos desde el punto de vista técnico.

A continuación, se muestra un resumen de las características principales de las tecnologías mencionadas en los apartados anteriores.

- Espiras magnéticas: gran precisión con la debida instalación, aforo por detección de vehículos mediante la huella magnética que estos dejan al pasar por encima de las espiras.
- Tubo neumático: gran precisión en la detección de vehículos, pueden llevar a cabo la detección de los ejes de los diferentes vehículos mediante y la velocidad en el caso de instalar varios tubos.
- Piezoeléctrico: Mayor precisión de las tecnologías, clasificación de los vehículos cuando se utiliza en conjunto a las espiras detectando y pesando los ejes de los vehículos que se encuentran circulando por la carretera.
- Aforador microondas: Detección y clasificación de los vehículos mediante la longitud de los diferentes vehículos, no requiere de instalación en el pavimento por lo que la instalación se facilita.
- Cámara LPR: Detección de las matrículas de los vehículos que circulan, permite la clasificación en caso de tener acceso a los datos de DGT sobre a qué vehículos pertenece la matrícula detectada, cuenta con la posibilidad de identificar vehículos en varios puntos para realizar un seguimiento de los flujos de los vehículos.
- Aforador infrarrojo: Detección y clasificación de los vehículos mediante la identificación del volumen y longitud del vehículo, no requiere instalación en el pavimento, pero si requiere de una instalación en una posición en concreto para su funcionamiento.

Sobre estas tecnologías a continuación se presenta un análisis para diferentes aspectos como es la capacidad de carriles para el aforo, la calidad de los datos, la instalación de los aforadores y mantenimientos necesarios.

4.2.1 Carriles

La cantidad de carriles para aforar de cada uno de los sistemas es de vital importancia para las diferentes tecnologías, estos es ya que permite una recopilación de datos más rápida al contar la carretera con mayor cantidad de carriles, en este punto se diferencia claramente entre los equipos intrusivos y los equipos no intrusivos,

Equipos intrusivos

En el caso de los equipos intrusivos, como son las espiras, piezoeléctricos o los tubos neumáticos, cada uno de los carriles que se requiere aforar necesitará de la instalación de sensores directamente en calzada, si los diferentes sensores se instalan de manera correcta todos los carriles cuentan con la misma precisión.

La electrónica necesaria también cambia según las necesidades de carriles con los que cuente la carretera, en general los diferentes fabricantes cuentan con diferentes modelos según la cantidad de carriles siendo lo más extendido que tengan capacidad de 4 o 8 carriles, llegando a que en el caso de una cantidad de carriles mayor sea necesario llevar a cabo la instalación de más equipos de electrónica para poder llevar a cabo el aforo.

Los aforadores de tubo neumático se suelen utilizar para los aforos en 1 o 2 carriles debido al método de instalación.

Equipos no intrusivos

La cantidad de carriles que pueden aforar los equipos no intrusivos suelen venir marcados por el fabricante, en este caso la detección cambia según la tecnología utilizada variando en el siguiente aspecto.

- Aforador microondas: este tipo de aforadores cuentan con una gran capacidad de conteo de varios carriles llegando algunos modelos hasta los 12 carriles con un solo dispositivo, esto presenta una ventaja ya que se pueden adaptar mejor a diferentes tipos de carreteras, aunque cada una de ellas requiera de una configuración debida. También presenta la desventaja que el aforador no cuenta con flexibilidad para adaptarse a los carriles en caso de que estos se amplíen por encima de su máximo de carriles necesitando un cambio de dispositivo en el punto de aforo.
- Cámaras LPR: las cámaras LPR suelen contar con una capacidad de detección de 1 o 2 carriles, normalmente estas se instalan para observar la parte trasera de los vehículos ya que en caso de no hacerlo las motocicletas no son detectadas al no contar con matrícula frontal. Algunos modelos cuentan con la capacidad para 3 carriles, estos son menos habituales y pueden perder fiabilidad la detección, pero resultan útiles si las condiciones permiten una instalación de estos equipos
- Aforadores infrarrojos: este tipo de aforadores cuentan con una capacidad limitada para realizar aforos, siendo normalmente el límite 1 carril por cada uno de los equipos, siendo necesarios una gran cantidad de dispositivos en casos de varios carriles igual que los aforadores intrusivos.

Como se puede observar las equipo son intrusivos al no estar ligados a la instalación de sensores en carriles cuentan con una mayor flexibilidad en el número de carriles, excepto en el caso de los aforadores infrarrojo, que se pueden aforar mientras que los equipos intrusivos necesitan un número de sensores que se adecue al número de carriles que se quieren aforar, esto puede convertirse en una desventaja en los equipos no intrusivos ya que ante una situación que supere el límite de los equipos disponibles, por ejemplo si se necesitan aforar 4 carriles con una cámara

con capacidad para 3 carriles se necesitarían de dos cámaras para realizar el aforo, esto hace que sea importante seleccionar el modelo del equipo a instalar y que se adapte a la situación del punto de aforo.

4.2.2 Calidad de los datos

Por calidad de los datos se entiende que clase de datos se pueden obtener mediante la instalación de estos equipos en los diferentes puntos.

Espiras Magnéticas

Las espiras magnéticas ofrecen una alta calidad de datos en términos de precisión y fiabilidad en la detección de vehículos. Estos sensores son altamente preciso y puede identificar con fiabilidad la presencia de un vehículo, detectando vehículos de diferentes clases llegando a diferentes entre una gran cantidad de clases mediante el análisis avanzado de la variación de la huella magnética del vehículo.

Tubo Neumático

El tubo neumático también ofrece una calidad de datos sólida en términos de detección de vehículos. Esta tecnología es confiable y puede proporcionar datos precisos sobre el tráfico. Los datos conseguidos de clasificación de vehículos son por distancia entre los ejes del vehículo, es por ello por lo que normalmente se lleva a cabo la clasificación en vehículos ligeros o pesados.

Piezoeléctricos

Los aforadores piezoeléctricos son conocidos por ofrecer una alta calidad de datos debido a su sensibilidad para detectar vehículos, estos sensores instalados juntamente con las espiras cuentan con la mayor calidad de detección de los diferentes sensores.

Estos sensores llevan a cabo una detección de los diferentes ejes de los vehículos llevando adicionalmente el pesaje de dichos ejes, esto permite llevar a cabo la detección de una gran cantidad de clases de vehículos pudiendo clasificarlos por la cantidad de ejes.

Aforadores de Microondas

Los aforadores de microondas ofrecen una calidad de datos buena para la detección de vehículos, esta clasificación se basa en la longitud detectada de los diferentes vehículos, siendo capaces de clasificar por diferentes distancias los vehículos, pudiendo realizar fácilmente un aforo con clasificación en vehículos ligeros o pesados.

La calidad de los datos en este tipo de equipos se ve directamente relacionada con una instalación dentro de la altura optima según la cantidad de carriles a aforar.

Cámaras LPR

Las cámaras LPR llevan a cabo una detección de las matrículas, algunos modelos son capaces de llevar a cabo una clasificación mediante inteligencia artificial y análisis de imagen de la clase de vehículos.

La detección de estas matrículas en si no aporta datos sobre la clasificación de los vehículos, pero si se tiene acceso a la base de datos de la DGT permite llevar a cabo una clasificación mediante la comparación de los datos conseguidos y esta.

Adicionalmente estos equipos son los únicos que pueden llevar a cabo la detección de los vehículos de carga peligrosa y otros vehículos especiales, estos vehículos cuentan con un interés especial para las administraciones para llevar a cabo un monitoreo de su paso por diferentes puntos y en qué momento pasa por esos puntos.

Infrarrojos

Los aforadores infrarrojos cuentan con una gran capacidad de clasificación y una buena detección, esto se hace al llevar a cabo un mapeado del vehículo detectado permitiendo saber el volumen de este, al igual que la longitud, permitiendo llevar a cabo una gran cantidad de clasificaciones desde diferenciar entre vehículos ligeros y pesados a llegar a 8 clases en modelos como el TDC-3.

Para conseguir estos datos requiere respetar las características de instalación que especifican los fabricantes como puede ser altura, esto puede requerir realizar instalaciones adicionales de estructuras que permiten respetar las características.

4.2.3 Instalación

Espiras magnéticas:

La instalación de espiras magnéticas implica la excavación en el pavimento para enterrar los cables en forma de bucle. Posteriormente, estos cables se conectan a un dispositivo de detección ubicado en el borde de la carretera.

Esta instalación requiere de experiencia técnica por parte de los operarios para garantizar una colocación precisa de las espiras magnéticas, estos aforadores se encuentran muy extendidos por lo que las administraciones ya cuentan con operarios con amplia experiencia para realizar este tipo de instalación.

El proceso de instalación puede generar interrupciones en el tráfico, ya que podría requerir cierres temporales de carriles o desvíos de tráfico para realizar la excavación y la conexión adecuada de los dispositivos de detección.

La instalación se vuelve cada vez más complicada a medida que se realiza una ampliación de los carriles que se necesitan aforar.

Tubo neumático:

En el caso del tubo neumático, se coloca directamente sobre el pavimento de la carretera y se asegura en su lugar mediante clavijas o cintas adhesivas. Posteriormente, se conecta a un dispositivo de detección ubicado en el borde de la carretera.

La complejidad de su instalación es relativamente baja, este tipo de aforadores también son ampliamente utilizados en el día a día en las diferentes administraciones. Además, su colocación no requiere cierres ni obras en los diferentes carriles, lo que significa que tiene un impacto mínimo en el tráfico durante la instalación.

Piezoeléctrico:

El aforador piezoeléctrico se instala en el pavimento de la carretera y se vincula a un dispositivo de detección situado en el borde de esta, los aforadores con este tipo de sensores también suelen incluir espiras para mejorar la detección.

La configuración de estos sensores tiene que seguir unas distancias entre los diferentes sensores instalados según las especificaciones del fabricante, una mala instalación puede suponer una mala calidad del dato teniendo que repetir la instalación de los equipos en la calzada.

Durante la instalación, es posible que se necesiten cierres temporales de carriles o desvíos de tráfico para llevar a cabo el proceso adecuadamente.

La instalación se vuelve cada vez más complicada a medida que se realiza una ampliación de los carriles que se necesitan aforar.

Aforador microondas:

El aforador de microondas se instala montándolo en postes o estructuras cercanas a la carretera, fuera del área de circulación de vehículos. Es crucial una alineación precisa para asegurar una detección adecuada de los vehículos.

Aunque la instalación puede ser relativamente sencilla, es necesario tener cuidado para garantizar una alineación adecuada y una cobertura efectiva de la zona de detección. Sin embargo, a diferencia de otras tecnologías, no requiere cierres de carriles y tiene un impacto mínimo en el tráfico durante el proceso de instalación.

Cámara LPR (Reconocimiento de Matrículas):

El aforador de cámara LPR (Reconocimiento de Matrículas) se monta en postes o estructuras cercanas a la carretera, situadas fuera del área de circulación de vehículos.

Para esta instalación es esencial una alineación precisa y ajustes de ángulo para capturar las matrículas de manera efectiva. Sin embargo, la instalación puede requerir conocimientos técnicos

avanzados para configurar adecuadamente el software de reconocimiento de matrículas y garantizar un funcionamiento óptimo del sistema.

A pesar de estos inconvenientes para la instalación, este equipo no se necesitan cierres de carriles durante la instalación, lo que minimiza el impacto en el tráfico y facilita la instalación.

Como se puede observar los sistemas intrusivos llevan a cabo una medición física de los vehículos mientras que los no intrusivos llevan a cabo una estimación de la clasificación de los vehículos, esto hace que los equipos intrusivos presenten una mejor calidad de datos, destacando los piezoeléctricos que permiten el pesaje de los vehículos a la vez que se realiza un aforo.

Las cámaras LPR cuentan con una desventaja y que ante una gran cantidad de carriles a aforar necesitan cada vez de estructuras más grandes que permitan la instalación centrada,

En el caso de instalaciones en una gran cantidad de carriles sería necesario la instalación de estructuras especiales siendo aumentando la complejidad de la instalación en gran medida.

Aforador infrarrojo

La instalación de estos aforadores suele requerir un dispositivo por cada uno de los carriles a aforar, esto puede llevar que ante una gran cantidad de carriles se requieran de instalaciones de estructuras de gran tamaño debido a que la instalación de estos sensores debe ser de manera cenital al sentido de circulación de los vehículos instalándose uno por carril.

Otros equipos permiten la instalación de equipos para aforo lateral, aunque este tipo de dispositivos se encuentran con la dificultad de llevar a cabo aforos de tres o más carriles en el mismo sentido.

4.2.4 Mantenimiento necesario

Los diferentes equipos necesitan un mantenimiento para poder asegurar su funcionamiento de manera correcta a lo largo del tiempo, este mantenimiento varía según los diferentes equipos.

Espiras Magnéticas:

Las espiras magnéticas requieren un mantenimiento periódico para asegurar su correcto funcionamiento. Esto implica inspecciones regulares para detectar posibles daños en los cables o en el sistema de detección, así como reparaciones o reemplazos según sea necesario.

Este tipo de instalaciones pueden perder capacidad de detección por lo que se suele considerar la recalibración cada cierto tiempo de los equipos para poder alargar su vida útil en el tiempo.

Tubo Neumático:

Este tipo de dispositivos al encontrarse en contacto directo con los vehículos no son aptos para realizar aforos a lo largo del tiempo, los tubos se desgastan con el paso de los vehículos perdiendo

presión el aire dentro de los tubos y perdiendo la capacidad de llevar a cabo los aforos, es por ello por lo que los tubos neumáticos se consideran solo para realizar aforos temporales de algunos días, se suele llevar a cabo una inspección visual para asegurar que la instalación siga siendo válida.

Piezoeléctricos

Los aforadores piezoeléctricos requieren un mantenimiento regular para asegurar su funcionamiento óptimo, estos equipos detectan el paso físico de los vehículos y su peso por lo que es necesario llevar a cabo un mantenimiento y calibración de los sensores cada cierto tiempo.

Aforadores de Microondas.

Los aforadores microondas cuentan con una necesidad menor en el mantenimiento, esta se suele basar en una inspección visual de los diferentes equipos de sujeción para asegurarse que el equipo se encuentren en la posición deseada para el aforo

Este tipo de equipos cuentan con resistencia a agua y polvo. Estos equipos tampoco necesitan ningún tipo de limpieza al no basarse en la detección por visión como es el caso de las cámaras LPR.

Cámaras LPR

Las cámaras LPR al basarse en la visión para la detección de las matrículas suelen requerir de una limpieza de manera periódica para no perder capacidad de detección de las matrículas. Esto puede llevar a que ante un incidente las cámaras pierdan la capacidad de aforo y se tenga que realizar un mantenimiento de emergencia para asegurar el funcionamiento continuo.

Adicionalmente se tiene que realizar una inspección visual que los elementos de sujeción se encuentran en condiciones adecuadas para el aforo.

En el caso del mantenimiento necesario todos los equipos necesitan de un mantenimiento básico, siendo las cámaras LPR los que necesitan un mantenimiento más frecuente debido a que se basan en la visión y por lo tanto necesita una limpieza de la lente.

Aforadores infrarrojos

Los aforadores infrarrojos, igual que los aforadores microondas, cuentan con una necesidad inferior en el mantenimiento respecto al resto de los equipos, esta suele basarse en llevar a cabo una inspección de los elementos físicos de anclaje ya que ante un fallo de estos el sensor no puede funcionar de la manera que se espera.

4.2.5 Conclusiones

A nivel técnico se puede observar cómo cada una de las tecnologías presenta sus ventajas y desventajas respecto al resto, siendo por ejemplo los radares microondas los que cuentan con un mantenimiento menor, pero contando con una calidad del dato menor, al tratarse de una clasificación solamente por longitud detectada de los vehículos.

Las tecnologías intrusivas cuentan con una mayor adaptación de la instalación, es decir se instala solamente el equipo necesario al punto, al contrario que en las tecnologías no intrusivas que pueden contar con capacidad para más carriles de los necesarios.

Mientras tanto los equipos no intrusivos presentan una mayor movilidad del equipo al no necesitar tantos elementos fijos para la instalación, pudiendo moverse entre los diferentes puntos necesitando una cantidad menor de equipos en total para realizar diferentes aforos.

4.3 Económica

Para llevar a cabo una comparación económica de los diferentes sistemas se debe tener en cuenta que los precios indicados en el **capítulo 9 Presupuesto** son los que se han tenido como referencia, estos precios se obtuvieron mediante la combinación de bases de precios y comunicaciones con las empresas suministradoras de estos equipos.

Para comparar el uso de las diferentes tecnologías se puede tener en cuenta el coste para realizar una instalación fija, es decir una estación permanente.

Por otra parte, se tiene que analizar coste de realizar una instalación no permanente en la que se dejan unos equipos instalados en el punto y otros elementos llamados no fijos se trasladan entre las diferentes estaciones según las necesidades para realizar dichos aforos.

Teniendo en cuenta esto para la comparación económica se debe tener en cuenta la diferencia entre los elementos fijos y no fijos de los diferentes tipos de aforadores, tanto intrusivos como no intrusivos.

Primero se van a considerar el coste de realizar una instalación fija en las diferentes tecnologías y como estas evolucionan respecto al número de carriles, en esta tabla solo se tienen en cuenta los equipo sin tener en cuenta la instalación.

Los costes considerados son en estaciones en la que los carriles son el mismo sentido para las LPR teniendo siempre espacio para la instalación de columnas, para los radares se ha considerado 2 modelos de radares uno para 2 o menos carriles y otro para mayor cantidad de carriles.

Carriles/tecnologías	Espiras	Radar	LPR
1	6.995,96 €	7.652,63 €	10.002,36 €

2	8.035,96 €	7.652,63 €	10.002,36 €
3	9.075,96 €	10.152,63 €	17.047,72 €
4	10.115,96 €	10.152,63 €	17.047,72 €
5	11.155,96 €	10.152,63 €	24.093,08 €
6	12.195,96 €	10.152,63 €	24.093,08 €
7	13.235,96 €	10.152,63 €	31.138,44 €
8	14.275,96 €	10.152,63 €	31.138,44 €

Tabla 13: Tabla precio tecnologías por carriles. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar si se analiza solo desde un punto de vista del coste económico de los equipos las cámaras de lectura de matrícula cuentan con un coste elevado respecto al resto de tecnologías por lo que en principio podrían parecer una opción inválida para cualquier tipo de estación de aforo.

También analizando solamente a nivel económico se observa como para estaciones mayores de 4 carriles la instalación de un sistema de aforo mediante tecnología microondas sería la opción más económica a la hora de realizar las estaciones de aforo.

Pero falta por observar el factor de movilidad de los equipos, es decir la capacidad que tienen los diferentes aforadores de ser instalados en un punto durante un periodo de tiempo y llevar una vez pasado el periodo mover este equipo a otro punto para realizar otro aforo, para ello debemos tener en cuenta los diferentes elementos fijos o no fijos de las diferentes estaciones de aforo.

Elementos fijos

Los elementos fijos son aquellos que no se pueden trasladar o en caso de ser trasladables representan un gran trabajo de desmantelamiento no siendo factible económicamente para llevar los diferentes aforos temporales.

En el caso de las estaciones de aforo por espiras o que utilizan piezoeléctricos los elementos fijos con los que se cuentan son los propios sensores instalados en la carretera, el armario que contiene la electrónica de red y la instalación solar en caso de que esta sea necesaria.

A continuación, se muestran tablas con los costes de los diferentes elementos fijos o móviles de las instalaciones comparando una instalación típica con doble espira por carril y una instalación de un aforador no intrusivo.

EQUIPO	COSTE
INTRUSIVOS	

Instalación lazo de inducción magnética (2 por carril)	1.040€
Suministro Bornera conexión de espira	77,20€
Suministro Conectores	58,33€
Cimentación armario	1.100€
Suministro Armario Intemperie	257€
Cimentación columna	108€
Suministro columna troncocónica	308,40€
Suministro Panel fotovoltaico	150€
Suministro Soporte panel fotovoltaico	112,2€
NO INTRUSIVOS	
Suministro Armario Intemperie	257€
Cimentación armario	1.100€
Suministro columna troncocónica	108€
Cimentación columna	308,40€
Estructura tipo banderola + cimentación (2 carriles)	2.000€
Suministro Conjunto fotovoltaico	489,71€

Tabla 14: Tabla elementos fijos instalación estaciones aforo. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de los dispositivos de aforo no intrusivos los elementos fijos representan una cantidad mucho menor, siendo los elementos fijos el poste de instalación u otra estructura que se esté utilizando y el sistema de alimentación fotovoltaico en caso de existir.

Tal y como se puede observar los aforadores no intrusivos cuentan con una gran ventaja en los aforos temporales ya que cuentan con muchos menos elementos fijos que los aforadores intrusivos.

Elementos móviles o no fijos

Los elementos móviles o no fijos son aquellos que se puede llevar a cabo su desinstalación y posterior traslado a otro punto de aforo o para reparación en talleres, en este caso en los aforadores intrusivos como elementos móviles encontramos la electrónica de aforo. Es decir, el dispositivo que lleva a cabo el cálculo y guardado de los datos del aforo, también se considerable móvil los elementos de comunicaciones y baterías, así como toda la electrónica asociada a este sistema, en caso de que estos equipos lo necesiten.

En el caso de los dispositivos de aforo no intrusivos los elementos móviles son también los dispositivos que realizan el aforo y las baterías y equipo de comunicaciones en caso de que exista.

Teniendo en cuenta estos dos puntos se puede observar como en el caso de los aforos no intrusivos se gana en movilidad de los equipos al tener que dejar solamente una estructura preparada en forma de poste, siempre que no se utilice una estructura existente y la alimentación eléctrica de los equipos.

Esto permite llevar a cabo un traslado de los equipos por diferentes puntos según las necesidades, al contrario que en los sistemas intrusivos ya que los sensores representan una gran cantidad de la inversión económica realizada a la hora de la instalación.

Como se puede observar en el caso de los aforadores intrusivos la instalación de espiras en los carriles supone una gran cantidad de la inversión que supone instalar una estación de aforo, mientras que en el caso de los no intrusivos este coste no existe.

En el caso de los aforadores no intrusivos el armario utilizado puede no ser el mismo que el que se utiliza en los aforos intrusivos por lo que se podría reducir aún más el coste de los elementos fijos utilizando un armario que se instalará en la columna sin necesidad de cimentación.

Por otra parte, los elementos móviles para las mismas instalaciones son los siguientes.

EQUIPO	COSTE
INTRUSIVOS	
Aparato aforador Hitrac EMU3 4 carriles	3.100€
Suministro Regulador de corriente	114,5€
Suministro Batería aforador de lazo inductivo 12V 60A	205,56€
NO INTRUSIVOS	

Aparato aforador lectura de matrículas tipo	5.000€
Aforador no intrusivo microondas 2 carriles	4.000€
Aforador no intrusivo microondas +2 carriles	6.500€
Suministro Regulador de corriente	114,5€
Suministro Batería para aforador lectura de matrículas	800€

Tabla 15: Tabla elementos móviles estaciones de aforo. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar la mayor parte del coste de las instalaciones no intrusivas viene del propio aforador por lo que al ser una parte móvil representa una gran oportunidad para la realización de los aforos temporales ya que otorga una mayor movilidad de los equipos entre las diferentes estaciones de aforo temporal.

Para analizar esta situación a continuación se presenta un escenario en el que se debe llevar a cabo la instalación de 24 estaciones temporales, se supone un total de dos carriles para aforar, que se aforarán utilizando 2 equipos que rotarán de estaciones cada mes.

Este escenario se plantea en cada una de las tecnologías, de esta forma se observa mejor las ventajas y desventajas económicas que presenta cada una de las tecnologías, en esta comparación no se comparan los equipos por infrarrojo debido a su gran coste en estructuras fijas.

Costes	Espiras	LPR	Microondas
Equipamiento fijo 24 estaciones	102.027 €	54.315 €	54.315 €
2 equipos	6.200€	12.000€	8.000€
Total	108.227€	66.315€	62.315

Tabla 16: Tabla comparativa estaciones temporales. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar la diferencia de coste en estos casos es más notable siendo una diferencia de 40.000€ para el caso de las estaciones temporales con tecnología no intrusiva lo que implicaría la posibilidad de comprar más equipos para realizar más aforos con un presupuesto limitado.



4.4 Conclusiones

A continuación, se muestra una tabla con las características principales que se han extraído de esta comparativa.

	Escalabilidad de los carriles	Calidad de datos	Instalación	Mantenimiento necesario	Económica	
					Instalación fija	Instalación móvil
Espiras	Requiere dos espiras por carril y que la electrónica se adapte.	Gran calidad de datos por análisis de perfil magnético	Requiere modificaciones en el carril	Requiere calibración y mantenimiento en los elementos de detección	Medio, cuenta con una buena relación coste-beneficio.	Alto, el sensor es fijo, solo es movable la electrónica
Tubo neumático	Se necesita uno por carril, puede tener problemas en varios carriles	Detecta distancia entre ejes y números de ejes del vehículo	Requiere modificaciones mínimas en el carril	Gran desgaste debido al contacto directo	Alto, en instalaciones fijas se debe reponer el sensor cada cierto tiempo.	Todos los elementos de este tipo de instalaciones son movibles.
Piezoeléctricos	Requiere instalación por carril y electrónica con capacidad para carriles	Gran calidad, con contaje de ejes y pesaje de los vehículos	Requiere modificaciones en el carril	Requiere calibración y mantenimiento en los elementos de detección	Alto, es caro, pero cuenta con la mejor calidad de datos.	Alto, el sensor es fijo, solo es movable la electrónica
Microondas	Dependiendo del equipo, los básicos son 2 carriles y avanzados de más	Datos por longitud de los vehículos.	Requiere de instalación en el lateral de la carretera	Requiere mantenimiento mínimo	Medio, cuenta con un coste elevado del equipo aforador.	Bajo, fácilmente movibles entre varias ubicaciones.
LPR	Suele contar con dos carriles de capacidad y visión trasera de los vehículos	Requiere cruzado con base de datos para clasificación de los vehículos	Requiere de instalación en el lateral de la carretera	Requiere limpieza de la cámara cada cierto tiempo	Medio-Alto, dependiendo del tipo de carretera puede necesitar 1 cámara o varias	Bajo, fácilmente movibles entre varias ubicaciones.
Infrarrojo	Requiere un equipo por carril.	Detecta longitud, volumen del vehículo.	Requiere de instalación en alto en el sentido de circulación de la carretera	Requiere mantenimiento mínimo	Alto, el sensor es caro y puede necesitar estructuras especiales.	Medio-Alto, dependiendo del modelo puede necesitar estructuras especiales.

Tabla 17. Comparación características técnicas de las diferentes tecnologías. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 5. Propuesta de instalación

5.1 Propuestas de instalaciones

Como parte de las propuestas de las instalaciones se realizan a continuación dos escenarios supuestos, estos escenarios supuestos tienen como objetivo mostrar las diferentes carreteras tipo con las que un instalador se puede encontrar a la hora de llevar a cabo una instalación y como las diferentes tecnologías se instalan en cada uno de los casos.

Los escenarios son los siguientes:

- Una carretera convencional con dos carriles, cada uno de ellos en un sentido de circulación.
- Una carretera que cuenta con 2 carriles en cada sentido con separación por una mediana.

En los tres casos se propone la instalación de una estación permanente de aforo por lo que no se tendrá en cuenta el uso de aforadores de tubos neumáticos debido a sus características ya mencionadas anteriormente.

Las instalaciones en estos puntos se van a plantear con las siguientes tecnologías.

- Espiras.
- Lector de matrículas.
- Microondas.

No se plantea con los aforadores infrarrojos debido a que se necesita una gran estructura para realizar la estación, es por ello por lo que se descarta esta opción al no ser viable debido al alto coste de estas respecto a los equipos.

5.2 Caso 1: Carretera convencional con dos carriles uno en cada sentido

5.2.1 Descripción del punto

Para este primer caso se ha seleccionado la carretera N-332 en el punto kilométrico 231+800, cerca de la población de Xeraco, a continuación, se muestra una imagen del punto en concreto



Ilustración 41: Imagen aérea N-332 punto instalación. Fuente: Google Earth.



Ilustración 42: N-332 P.K. 231+800 - Sentido Creciente. Fuente: Google Earth.

Como se puede observar se trata de una carretera convencional con un carril en cada sentido con barreras de protección tipo bionda en el sentido creciente y sin protecciones en el sentido decreciente

5.2.2 Descripción instalación

A continuación, se describen las instalaciones y el proceso de instalación de la estación de aforo con las tecnologías planteadas.

5.2.2.1 Espiras

Descripción de los elementos de la instalación

En este punto de instalación al contar solo con dos carriles donde realizar la instalación se propone la instalación de un sistema basado en la instalación de espiras en cada uno de los carriles y su conexión a un armario que contará con los equipos para realizar el aforo.

Los elementos de la estación son los siguientes.

- Las espiras o captadores que se instalan en el asfalto, estas cuentan con varias configuraciones para su instalación, en este caso la instalación propuesta es de dos espiras, por cada uno de los carriles para un total de 4 espiras cuadradas de 2 metros de longitud y 2 metros de anchura instalada centradas en el carril, Los cables instalados contarán con una sección transversal de 1,5 mm², dotados de doble capa de protección, para generar la espira se realizan un total de 4 vueltas en cada una de las regatas.
- Caseta o armario, este armario sirve para el alojamiento de los diferentes equipos necesarios para el funcionamiento de la estación, esta suele contar con una base de hormigón y una cerradura de seguridad para evitar robos o actos vandálicos, este tipo de casetas suelen contar con unas dimensiones de 700x798x500 (ancho x altura x profundidad).
- Carriles DIN para la sujeción de equipos a la pared del armario, instalado en armario.
- Borneras para la conexión de las espiras, estos elementos sirven como punto intermedio para la conexión de las espiras no conectándose estas directamente al equipo aforador para facilitar el mantenimiento del cableado.
- Equipo de electrónica para el aforo o aforador, en este caso como se cuenta con un total de 2 carriles se propone la instalación de un equipo Hitrac UTC con capacidad para un total de 4 sensores.



Ilustración 43: Aforador Hitrac UTC. Fuente: Q-Free.

- Equipo de comunicaciones, en el punto de la instalación no se cuenta con una red de telecomunicaciones fijas por lo que se requiere la instalación de un equipo de comunicaciones a través de la red de telefonía, como ya se ha indicado anteriormente este equipo cuenta con una ranura SIM y capacidad de comunicaciones 4G/5G
- Estructura de soporte para equipo de alimentación fotovoltaica, se trata de una columna de acero galvanizado con forma troncocónica para la instalación de panel fotovoltaico en la parte alta.
- Arqueta de paso de cableado entre el armario, poste y calzada.
- Modulo fotovoltaico con sujeción para la instalación en columna, este no tiene que contar con unas dimensiones grandes ya que los equipos de aforo elegidos cuentan con un consumo muy reducido, con un panel de 50W es suficiente para su alimentación.
- Baterías para la alimentación en horario nocturno o en condiciones de baja luminosidad.

Siendo el listado de los diferentes equipos a instalar el siguiente.

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES
Instalación lazo de inducción magnética	4
Arqueta	1
Aparato aforador Hitrac EMU3 4 carriles	1
Bornera conexión de espira	1
Conectores espiras	1
Armario Intemperie	1
Cimentación armario	1
Columna troncocónica	1
Cimentación columna	1
Antena alta ganancia	1
Panel fotovoltaico	1
Soporte panel fotovoltaico	1
Regulador de corriente	1
Suministro Batería aforador de lazo inductivo 12V 60A	1

- **Tabla 18: Medición estación aforo espiras (2 carriles). Fuente: Elaboración propia.**

Proceso de instalación

El proceso de instalación para un aforador con espiras en este punto en concreto sería el siguiente.

- Demarcación de los bucles en la superficie de la calzada de ambos carriles.
- Realización de los cortes en el carril con las correspondientes medidas de seguridad para los trabajadores.

- Realización de regatas con una profundidad de 6 cm en la calzada con las herramientas especializadas adecuadas, siguiendo la siguiente forma en el pavimento.

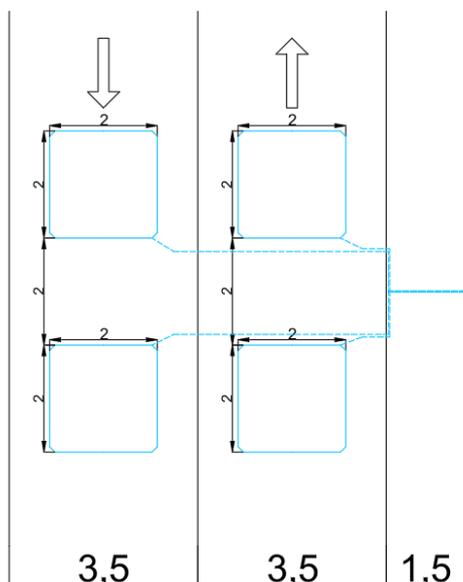


Ilustración 44: Regatas en calzada. Fuente: Elaboración propia.

- Instalación y marcado de cables, los cables se trenzan en el trayecto desde la espira hasta el armario, esto se hace para minimizar las derivaciones que pudieran afectar a la señal.
- Se sellan las regatas con una resina especial asfáltica para garantizar su durabilidad y seguridad.
- Limpieza de irregularidades de la resina.

Aparte de la propia instalación de las espiras se requiere de la instalación de equipos complementarios.

- Construcción de las diferentes cimentaciones necesarias para el armario que albergara la electrónica necesaria y la columna para la instalación fotovoltaica.
- Ejecución de la canalización y arqueta que conecta los diferentes elementos.
- Suministro y ensamblaje de la caseta metálica y los diferentes componentes que se instalan en ella como las borneras de conexión.
- Conexión de la registradora con los bucles electromagnéticos.
- Instalación y conexión de los equipos de alimentación fotovoltaica, así como la electrónica asociada para su funcionamiento, incluyendo baterías para la alimentación en condiciones de baja luminosidad.
- Instalación de la tarjeta SIM y su configuración para el envío de datos de forma remota hasta el punto central.

- Instalación del equipo aforador y la conexión de las espiras y resto de equipos a este, así como la configuración de las espiras para su correcto funcionamiento.

Hay que destacar que esto no es secuencial, y que una vez realizados estos pasos se pasa a realizar una prueba de funcionamiento de la estación en el que se verifica que la detección de vehículos es correcta, esta se suele realizar mediante la grabación y comparación por parte de un operario de la detección de cierta cantidad de vehículos o de tiempo, habitualmente una hora de grabación.

Si se detecta un mal funcionamiento de la estación se puede llegar a realizar una reinstalación de las espiras ya que estas pueden haberse instalado erróneamente teniendo que volver a realizar los pasos de la instalación de las espiras.

Descripción de la instalación

Teniendo en cuenta todo lo comentado la instalación quedaría con el siguiente esquema.

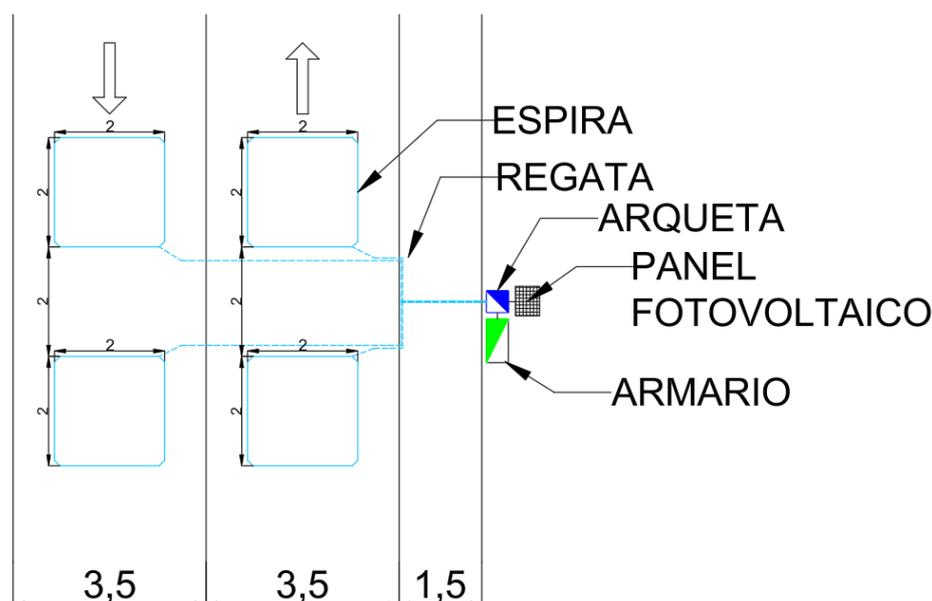


Ilustración 45: Instalación espiras dos carriles. Fuente: Elaboración propia.

Presupuesto

Quedando el presupuesto de la estación de la siguiente forma.

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Instalación lazo de inducción magnética	4	520 €	2.080,00 €
Arqueta	1	149,58 €	149,58 €
Aparato aforador Hitrac EMU3 4 carriles	1	3.100 €	3.100,00 €
Suministro Bornera conexión de espira	1	77,20 €	77,20 €
Suministro Conectores	1	58,33 €	58,33 €

Suministro Armario Intemperie	1	1.100 €	1.100,00 €
Cimentación armario	1	257 €	257,00 €
Suministro columna troncocónica	1	108 €	108,00 €
Cimentación columna	1	308,40 €	308,40 €
Suministro Antena alta ganancia	1	144,70 €	144,70 €
Suministro Panel fotovoltaico	1	150 €	150,00 €
Suministro Soporte panel fotovoltaico	1	112,20 €	112,20 €
Suministro Regulador de corriente	1	114,50 €	114,50 €
Suministro Batería aforador de lazo inductivo 12V 60A	1	205,56 €	205,56 €
Horas Técnico de Aforos	15	45,24 €	678,60 €
Horas Furgón	3,75	13,82 €	51,83 €
Horas Varios	3,75	5,00 €	18,76 €
TOTAL			8.714,66 €

Tabla 19: Precio descompuesto de ETD fija en calzada única con dos carriles. Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.2 LPR

Elementos de la instalación

En este punto de la instalación al contar con dos sentidos de la circulación si se requiere la detección de motos, se va a suponer que este es el caso, es necesaria la instalación de dos equipos de lectura de matrículas.

Por tanto, los elementos que componen la instalación serán los siguientes.

- Una columna en la que se instalarán ambas cámaras de aforo, alternativamente se podría realizar la instalación de dos columnas en cada una de las bermas de la carretera, pero instalando uno se consigue reducir el coste de instalación y los trabajos a realizar sobre la carretera, al no tener que realizar canalización para la conexión.
- Cámaras de lectura de matrículas instaladas en la columna, cada una de ellas para aforar un sentido de la circulación.
- Caseta o armario, este armario sirve para el alojamiento de los diferentes equipos necesarios para el funcionamiento de la estación, esta suele contar con una base de hormigón y una cerradura de seguridad para evitar robos o actos vandálicos, este tipo de casetas suelen contar con unas dimensiones mínimas de 700x798x500 (ancho x altura x profundidad).
- Carriles DIN para la sujeción de equipos a la pared del armario, instalado en armario.

- Equipo de comunicaciones, en el punto de la instalación no se cuenta con una red de telecomunicaciones fijas por lo que se requiere la instalación de un equipo de comunicaciones a través de la red de telefonía, este tipo de equipos cuentan con una ranura SIM para la instalación de una tarjeta y suelen funcionar en las bandas habituales, un ejemplo de equipo de referencia utilizado en estos casos es el RUT 956, estos equipos son industriales lo que significa que están preparados para soportar condiciones de trabajo más extremas, temperatura y humedades, que los equipos no industriales.



Ilustración 46: Rúter industrial RUT 956. Fuente: Teltonika

- Modulo fotovoltaico con sujeción para la instalación en columna, se aprovecha la misma columna para la instalación de las cámaras, estos equipos se deben dimensionar para las necesidades del punto, en este caso se trata de dos cámaras y la electrónica de comunicaciones asociada.
- Baterías para la alimentación en horario nocturno o en condiciones de baja luminosidad.

Proceso de instalación

Para realizar el proceso de instalación se debe realizar los siguientes pasos.

- Primero se debe llevar a cabo la realización de la cimentación de los postes y la instalación de estos, estos se instalan en la berma y deben contar con una altura suficiente para la instalación de las cámaras y que estas no tengan ocultamiento, normalmente la altura de los postes se encuentra entre 4 y 6 metros, la cimentación se debe dimensionar según la altura final del poste y la carga prevista de los equipos instalados.
- Una vez realizada la instalación del poste se lleva a cabo la instalación de las cámaras en el poste, es importante llevar a cabo una instalación precisa ya que este equipo necesita una buena visión de los carriles para poder realizar el aforo.
- Se lleva a cabo la configuración de las cámaras para que cada una detecte el carril correspondiente y no lleve a cabo lectura de los vehículos que circulan en el otro sentido.

- Una vez realizadas estas instalaciones se llevan a cabo los mismos pasos que en el caso de los aforadores con espiras, estos son:
 - Ejecución de la canalización y arqueta que conecta los diferentes elementos.
 - Suministro y ensamblaje de la caseta metálica y los diferentes componentes que se instalan en ella como las borneras de conexión.
 - Instalación y conexión de los equipos de alimentación fotovoltaica, así como la electrónica asociada para su funcionamiento, incluyendo baterías para la alimentación en condiciones de baja luminosidad.
 - Instalación y conexión de equipos de telecomunicaciones.
 - Tendido del cableado de conexión de los equipos aforadores al sistema de alimentación y equipo de comunicaciones.
 - Conexión y configuración de los equipos comprobando su funcionamiento.

Siendo el listado de los diferentes equipos a instalar el siguiente.

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES
Aparato aforador lectura de matrículas tipo	2
Arqueta	1
Suministro Armario Intemperie	1
Cimentación armario	1
Suministro columna troncocónica	1
Cimentación columna	1
Terminal equipo telefonía (modem)	1
Antena para modem de alta ganancia	1
Suministro Conjunto fotovoltaico LPR	2
Suministro Batería para aforador lectura de matrículas tipo 12V 288Ah	4
Instalación LPR	2

- **Tabla 20: Medición aforador lectura de matrícula (2 carriles). Fuente: Elaboración propia.**

Descripción de la instalación

Teniendo en cuenta todo lo comentado la instalación quedaría con el siguiente esquema.

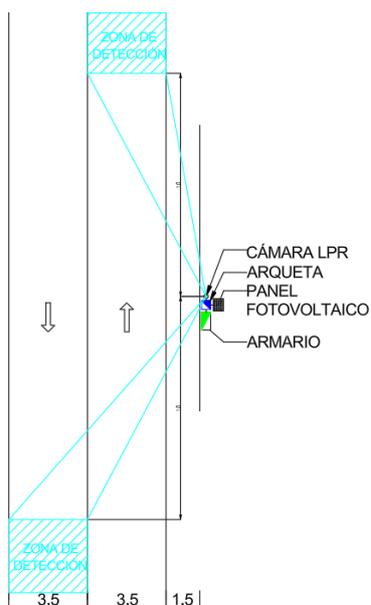


Ilustración 47: Instalación planta LPR dos carriles. Fuente: Elaboración propia.

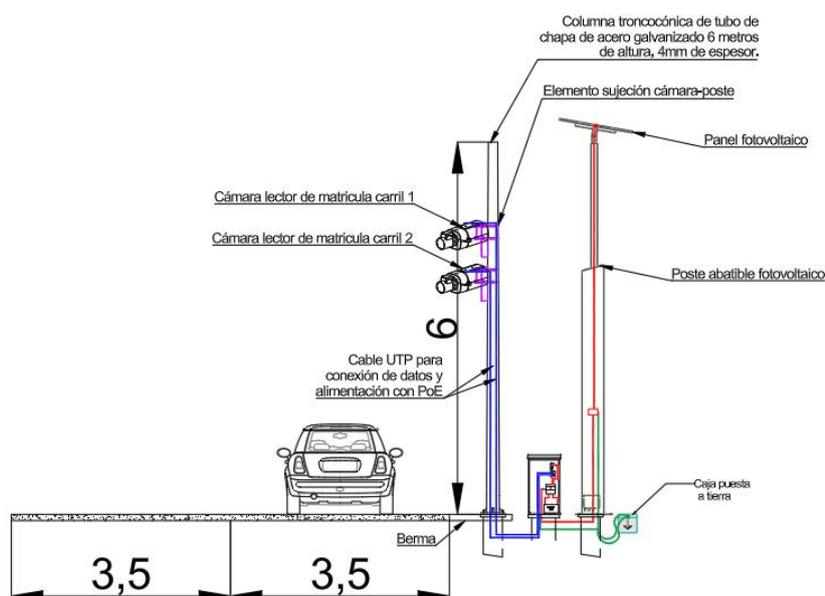


Ilustración 48: Instalación alzado LPR dos carriles. Fuente: Elaboración propia.

Presupuesto

Quedando el presupuesto de la estación de la siguiente forma.

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Aparato aforador lectura de matrículas tipo	2	5.000 €	10.000,00 €
Arqueta	1	149,58 €	149,58 €
Suministro Armario Intemperie	1	1.100 €	1.100,00 €
Cimentación armario	1	257 €	257,00 €

Suministro columna troncocónica	1	108 €	108,00 €
Cimentación columna	1	308,40 €	308,40 €
Terminal equipo telefonía (modem)	1	250 €	250 €
Antena para modem de alta ganancia	1	114,77 €	114,77 €
Suministro Conjunto fotovoltaico LPR	2	489,71 €	979,42 €
Suministro Batería para aforador lectura de matrículas tipo 12V 288Ah	4	400 €	1.600,00 €
Instalación LPR	2	224,75 €	449,50 €
TOTAL			15.316,67 €

Tabla 21: Precio descompuesto de Estación de aforo con Lectura de matrícula (2 Carriles en varios sentidos).
Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.3 Microondas

En este punto de la instalación al contar solamente con dos carriles para la detección no se necesitan la instalación de más de un equipo para la instalación, este se tendrá que instalar en un poste debido a las necesidades de instalación de altura mínima.

Por tanto, los elementos que componen la instalación serán los siguientes.

- Una columna en la que se instalará el equipo aforador, el armario que contiene el sistema de comunicaciones y el sistema de alimentación fotovoltaica.
- Un equipo aforador microondas, modelo ejemplo TC-Radar, se elige este equipo ya que cuenta con capacidad de dos carriles y se adapta a las necesidades de la vía.



Ilustración 49: Aforador TC RADAR. Fuente: Quadrex.

- Caseta o armario, este armario sirve para el alojamiento de los diferentes equipos necesarios para el funcionamiento de la estación, esta suele contar con una base de hormigón y una cerradura de seguridad para evitar robos o actos vandálicos, este tipo de casetas suelen contar con unas dimensiones de 700x798x500 (ancho x altura x profundidad).
- Carriles DIN para la sujeción de equipos a la pared del armario, instalado en armario.

- Equipo de comunicaciones, en el punto de la instalación no se cuenta con una red de telecomunicaciones fijas por lo que se requiere la instalación de un equipo de comunicaciones a través de la red de telefonía, este tipo de equipos cuentan con una ranura SIM para la instalación de una tarjeta y suelen funcionar en las bandas habituales, un ejemplo de equipo de referencia utilizado en estos casos es el RUT 956, estos equipos son industriales lo que significa que están preparados para soportar condiciones de trabajo más extremas, temperatura y humedades, que los equipos no industriales.
- Modulo fotovoltaico con sujeción para la instalación en columna, se aprovecha la misma columna para la instalación de las cámaras, estos equipos se deben dimensionar para las necesidades del punto, en este caso se trata de dos cámaras y la electrónica de comunicaciones asociada.
- Baterías para la alimentación en horario nocturno o en condiciones de baja luminosidad.

Siendo el listado de los diferentes equipos a instalar el siguiente.

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES
Aparato aforador microondas	1
Arqueta	1
Suministro Armario Intemperie	1
Cimentación armario	1
Suministro columna troncocónica	1
Cimentación columna	1
Terminal equipo telefonía (modem)	1
Antena para modem de alta ganancia	1
Suministro Conjunto fotovoltaico LPR	1
Suministro Batería para aforador lectura de matrículas tipo 12V 288Ah	2
Instalación LPR	1

- **Tabla 22: Mediciones estación aforador microondas (2 carriles). Fuente: Elaboración propia.**

Proceso de instalación

- Primero se debe llevar a cabo la realización de la cimentación del poste y la instalación de este, estos se instalan en la berma y deben contar con una altura suficiente según las especificaciones del fabricante, en este caso el equipo puede operar con un poste de 4 metros de altura.
- Instalación del equipo aforador y su configuración para que se realicen aforos en los dos carriles existentes.

- Una vez realizadas estas instalaciones se llevan a cabo los mismos pasos que en el caso de los aforadores con espiras, estos son:
 - Ejecución de la canalización y arqueta que conecta los diferentes elementos.
 - Suministro y ensamblaje de la caseta metálica y los diferentes componentes que se instalan en ella como las borneras de conexión.
 - Instalación y conexión de los equipos de alimentación fotovoltaica, así como la electrónica asociada para su funcionamiento, incluyendo baterías para la alimentación en condiciones de baja luminosidad.
 - Instalación y conexión de equipos de telecomunicaciones.
 - Tendido del cableado de conexión de los equipos aforadores al sistema de alimentación y equipo de comunicaciones.
 - Conexión y configuración de los equipos comprobando su funcionamiento.

Como se puede observar este equipo cuenta con menos equipos a la hora de realizar la instalación que el resto ya que solo se cuenta con un equipo para el aforo.

Descripción de la instalación

Teniendo en cuenta todo lo comentado la instalación quedaría con el siguiente esquema.

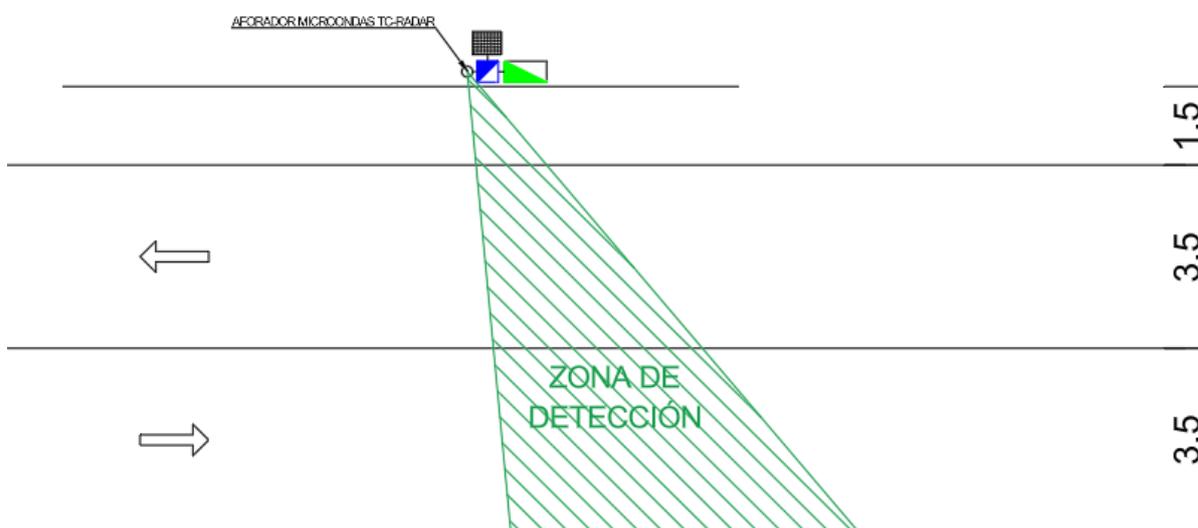


Ilustración 50: Esquema instalación planta aforador microondas TC-Radar (2 carriles). Fuente: Elaboración propia.

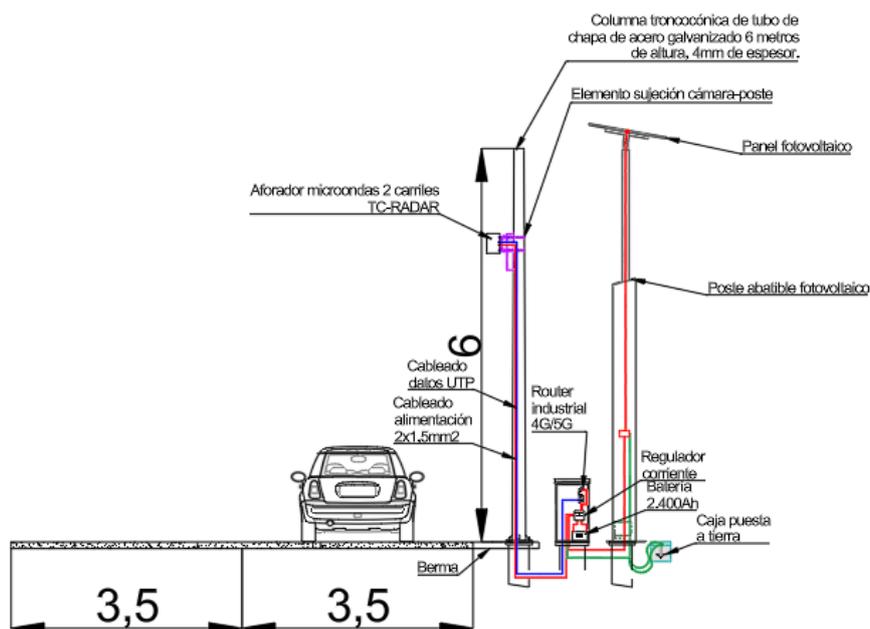


Ilustración 51: Esquema instalación alzado aforador microondas TC-Radar (2 carriles). Fuente: Elaboración propia.

Presupuesto

Quedando el presupuesto de la estación de la siguiente forma.

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Aparato aforador microondas tipo	1	2.000 €	2.000 €
Suministro Armario Intemperie	1	1.100 €	1.100 €
Cimentación armario	1	257 €	257 €
Suministro columna troncocónica	1	108 €	108 €
Cimentación columna	1	308,40 €	308,40 €
Terminal equipo telefonía (modem)	1	250 €	250 €
Antena para modem de alta ganancia	1	114,77 €	114,77 €
Suministro Conjunto fotovoltaico microondas	1	489,71 €	489,71 €
Suministro Batería 12V 288Ah	2	400 €	800 €
Instalación LPR	1	224,75 €	224,75 €
TOTAL			5.653 €

Tabla 23: Precio descompuesto de Estación de aforo con microondas (2 carriles). Fuente: Elaboración propia.

5.3 Caso 2: 2 Carriles en cada sentido con mediana.

5.3.1 Descripción del punto

Para el segundo caso se ha seleccionado una carretera que cuenta con dos carriles en cada sentido de circulación con una mediana para la separación de los carriles, un ejemplo de este tipo de estación es la que se encuentra en la carretera A-38 en concreto se ha elegido el P.K. 19+800 a su paso por la población Cullera.

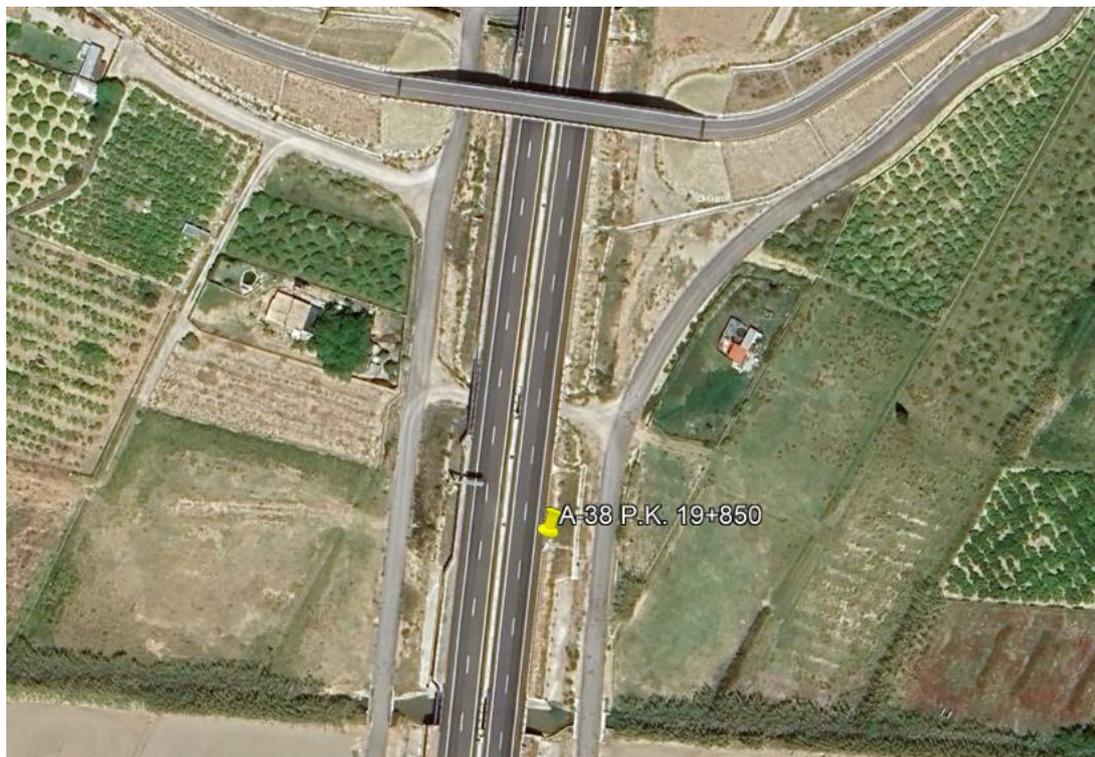


Ilustración 52: Imagen aérea A-38 P.K. 19+850 punto instalación. Fuente: Google Earth.



Ilustración 53: A-38 P.K. 19+850 - Sentido Creciente. Fuente: Google Earth.

5.3.2 Descripción instalación

A continuación, se describen las instalaciones y el proceso de instalación de la estación de aforo con las tecnologías planteadas.

5.3.2.1 Espiras

Descripción de los elementos de la instalación

En este punto de instalación al contar solo con dos carriles donde realizar la instalación se propone la instalación de un sistema basado en la instalación de espiras en cada uno de los carriles y su conexión a un armario que contará con los equipos para realizar el aforo.

Los elementos de la estación son los siguientes.

- Las espiras o captadores que se instalan en el asfalto, estas cuentan con varias configuraciones para su instalación, en este caso la instalación propuesta es de dos espiras, por cada uno de los carriles para un total de 4 espiras cuadradas de 2 metros de longitud y 2 metros de anchura instalada centradas en el carril, los cables instalados contarán con una sección transversal de 1,5 mm², dotados de doble capa de protección, para generar la espira se realizan un total de 4 vueltas en cada una de las regatas.
- Caseta o armario, este armario sirve para el alojamiento de los diferentes equipos necesarios para el funcionamiento de la estación, esta suele contar con una base de hormigón y una cerradura de seguridad para evitar robos o actos vandálicos, este tipo de casetas suelen contar con unas dimensiones de 700x798x500 (ancho x altura x profundidad).
- Carriles DIN para la sujeción de equipos a la pared del armario, instalado en armario.
- Borneras para la conexión de las espiras, estos elementos sirven como punto intermedio para la conexión de las espiras no conectándose estas directamente al equipo aforador para facilitar el mantenimiento del cableado.
- Equipo de electrónica para el aforo o aforador, en este caso como se cuenta con un total de 4 carriles se propone la instalación de un equipo Hitrac UTC con capacidad para un total de 8 sensores.
- Equipo de comunicaciones, en el punto de la instalación no se cuenta con una red de telecomunicaciones fijas por lo que se requiere la instalación de un equipo de comunicaciones a través de la red de telefonía, como ya se ha indicado anteriormente este equipo cuenta con una ranura SIM y capacidad de comunicaciones 4G/5G
- Estructura de soporte para equipo de alimentación fotovoltaica, se trata de una columna de acero galvanizado con forma troncocónica para la instalación de panel fotovoltaico en la parte alta.
- Modulo fotovoltaico con sujeción para la instalación en columna, este no tiene que contar con unas dimensiones grandes ya que los equipos de aforo elegidos cuentan con un consumo muy reducido, con un panel de 50W es suficiente para su alimentación.
- Baterías para la alimentación en horario nocturno o en condiciones de baja luminosidad.

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES
Instalación lazo de inducción magnética	16
Aparato aforador Hitrac EMU-3 4 carriles	1
Bornera conexión de espira	1
Conectores espiras	4
Arqueta	2
Armario Intemperie	1
Cimentación armario	1
Columna troncocónica	1
Cimentación columna	1
Antena alta ganancia	1
Panel fotovoltaico	1
Soporte panel fotovoltaico	1
Regulador de corriente	1
Batería aforador de lazo inductivo 12V 60A	1
Horas Técnico de Afors	34,5
Horas Furgón	8,63
Horas Varios	8,63

Tabla 24: Tabla mediciones instalación estación aforo espiras. Fuente: Elaboración propia.

Proceso de instalación

El proceso de instalación para un aforador con espiras en este punto en concreto sería el siguiente.

- Demarcación de los bucles en la superficie de la calzada de ambos carriles.
- Se realiza una arqueta en la mediana de la carretera para el paso entre los diferentes viales.
- Realización de los cortes en el carril con las correspondientes medidas de seguridad para los trabajadores.
- Realización de regatas con una profundidad de 6 cm en la calzada con las herramientas especializadas adecuadas, siguiendo la siguiente forma en el pavimento.

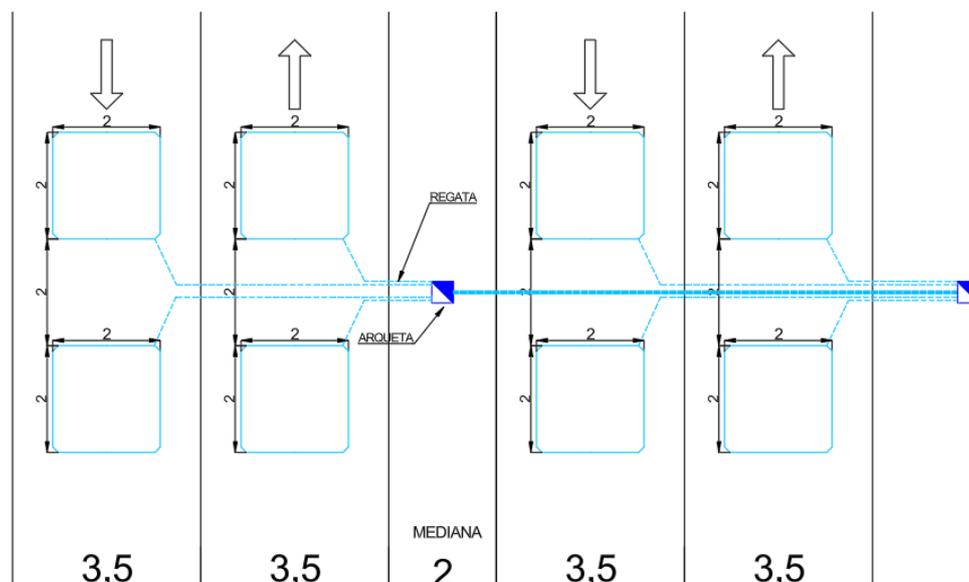


Ilustración 54: Regatas en calzada para estación caso 2. Fuente: Elaboración propia.

- Instalación y marcado de cables, los cables se trenzan en el trayecto desde la espira hasta el armario, esto se hace para minimizar las derivaciones que pudieran afectar a la señal.
- Se sellan las regatas con una resina especial asfáltica para garantizar su durabilidad y seguridad.
- Limpieza de irregularidades de la resina.

Aparte de la propia instalación de las espiras se requiere de la instalación de equipos complementarios.

- Construcción de las diferentes cimentaciones necesarias para el armario que albergara la electrónica necesaria y la columna para la instalación fotovoltaica.
- Ejecución de la canalización y arquetas que conecta los diferentes elementos.
- Suministro y ensamblaje de la caseta metálica y los diferentes componentes que se instalan en ella como las borneras de conexión.
- Conexión de la registradora con los bucles electromagnéticos.
- Instalación y conexión de los equipos de alimentación fotovoltaica, así como la electrónica asociada para su funcionamiento, incluyendo baterías para la alimentación en condiciones de baja luminosidad.
- Instalación y conexión de equipos de telecomunicaciones.
- Tendido del cableado de conexión de los equipos aforadores al sistema de alimentación y equipo de comunicaciones.
- Instalación del equipo aforador y la conexión de las espiras y resto de equipos a este, así como la configuración de las espiras para su correcto funcionamiento.

Hay que destacar que esto no es secuencial, y que una vez realizados estos pasos se pasa a realizar una prueba de funcionamiento de la estación en el que se verifica que la detección de vehículos es correcta, esta se suele realizar mediante la grabación y comparación por parte de un operario de la detección de cierta cantidad de vehículos o de tiempo, habitualmente una hora de grabación.

Si se detecta un mal funcionamiento de la estación se puede llegar a realizar una reinstalación de las espiras ya que estas pueden haberse instalado erróneamente teniendo que volver a realizar los pasos de la instalación de las espiras.

Descripción de la instalación

Teniendo en cuenta todo lo comentado la instalación quedaría con el siguiente esquema.

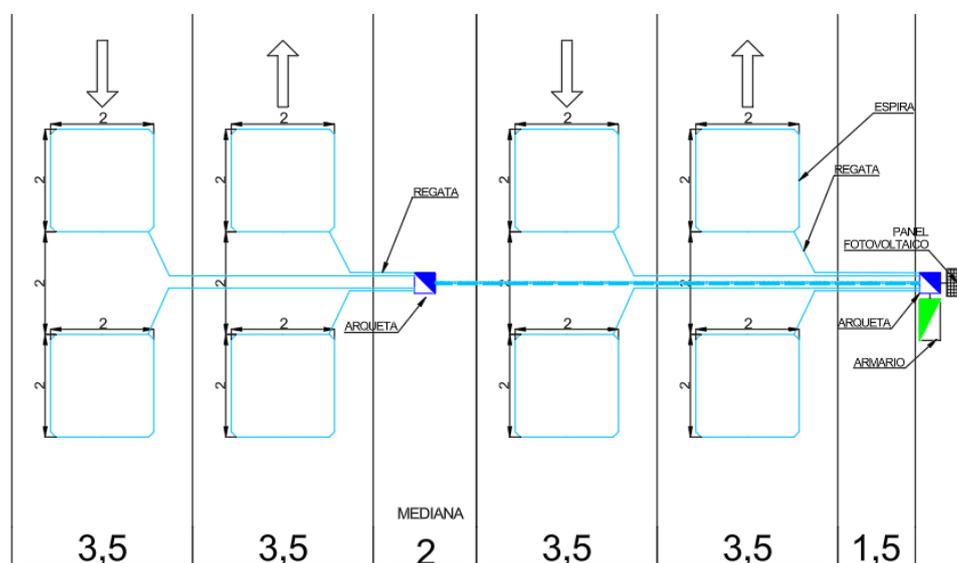


Ilustración 55: Instalación espiras cuatro carriles. Fuente: Elaboración propia.

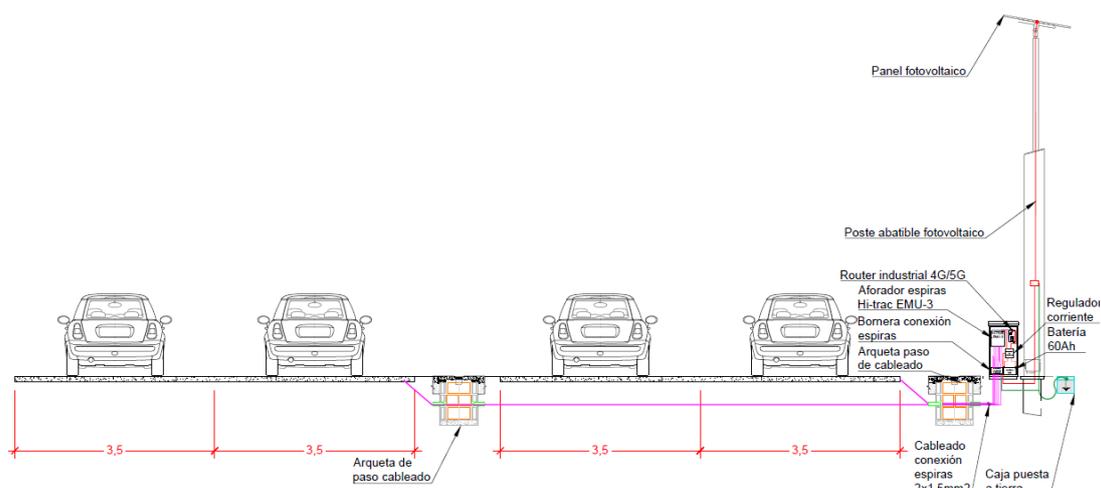


Ilustración 56: Instalación alzado espiras cuatro carriles. Fuente: Elaboración propia.

Presupuesto

Quedando el presupuesto de la estación de la siguiente forma.

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Instalación lazo de inducción magnética	8	520 €	4.160,00 €
Aparato aforador Hitrac EMU-3 4 carriles	1	3.100 €	3.100,00 €
Suministro Bornera conexión de espira	1	77,20 €	77,20 €
Suministro Conectores	2	58,33 €	116,66 €
Suministro Armario Intemperie	1	1.100 €	1.100,00 €
Cimentación armario	1	257 €	257,00 €
Suministro columna troncocónica	1	108 €	108,00 €
Cimentación columna	1	308,40 €	308,40 €
Suministro Antena alta ganancia	1	144,70 €	144,70 €
Suministro Panel fotovoltaico	1	150 €	150,00 €
Suministro Soporte panel fotovoltaico	1	112,20 €	112,20 €
Suministro Regulador de corriente	1	114,50 €	114,50 €
Suministro Batería aforador de lazo inductivo 12V 60A	1	205,56 €	205,56 €
Horas Técnico de Aforos	21	45,24 €	950,04 €
Horas Furgón	5,25	13,82 €	72,56 €
Horas Varios	5,25	5,00 €	26,27 €
TOTAL			11.003,08 €

Tabla 25: Precio descompuesto de ETD fija en calzada única con cuatro carriles. Fuente: Elaboración propia.

5.3.2.2 LPR

Elementos de la instalación

En este punto de la instalación al contar con dos sentidos de la circulación si se requiere la detección de motos, se va a suponer que este es el caso, es necesaria la instalación de dos equipos de lectura de matrículas.

Por tanto, los elementos que componen la instalación serán los siguientes.

- Dos columnas en la que se instalarán en cada una las cámaras de lectura de matrícula, cada una de ellas instalada para llevar a cabo el aforo de dos carriles en el mismo sentido.

- Dos cámaras de lectura de matrícula, una en cada una de las columnas, cada una de las cámaras se utilizan para llevar a cabo el aforo de dos carriles en el mismo sentido de la circulación.
- Un armario para la instalación de equipos se instalará en uno de los lados, desde este armario se conectarán todos los equipos a través de canalización, se contempla un armario y conexión mediante canalización para evitar la construcción innecesaria de armarios y su cimentación.
- Arqueta y canalización para la conexión de los diferentes equipos.
- Carriles DIN para la sujeción de equipos a la pared del armario, instalado en armario.
- Un rúter para comunicaciones, al no contar con redes de comunicaciones fijas en este punto.
- Modulo fotovoltaico con sujeción para la instalación en columna, estos equipos se deben dimensionar para las necesidades del punto, en este caso se trata de dos cámaras y la electrónica de comunicaciones asociada.
- Baterías para la alimentación en horario nocturno o en condiciones de baja luminosidad.

Siendo el listado de los diferentes equipos a instalar el siguiente.

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES
Aparato aforador lectura de matrículas tipo	2
Arqueta	3
Suministro Armario Intemperie	1
Cimentación armario	1
Suministro columna troncocónica	2
Cimentación columna	2
Terminal equipo telefonía (modem)	1
Antena para modem de alta ganancia	1
Suministro Conjunto fotovoltaico LPR	2
Suministro Batería para aforador lectura de matrículas tipo 12V 288Ah	4
Instalación LPR	2

Tabla 26: Mediciones estación aforo lectura de matrículas (4 carriles). Fuente: Elaboración propia.

Proceso de instalación

Para realizar el proceso de instalación se debe realizar los siguientes pasos.

- Primero se debe llevar a cabo la realización de la cimentación de los postes y la instalación de estos, estos se instalan en la berma y deben contar con una altura suficiente para la instalación de las cámaras y que estas no tengan ocultamiento, normalmente la altura de los postes se encuentra entre 4 y 6 metros, la cimentación se debe dimensionar según la altura final del poste y la carga prevista de los equipos instalados, en este caso se ha optado por la instalación de un poste de forma troncocónica de 6 metros de altura.
- Una vez realizada la instalación del poste se lleva a cabo la instalación de las cámaras en el poste, es importante llevar a cabo una instalación precisa ya que este equipo necesita una buena visión de los carriles para poder realizar el aforo.
- Se lleva a cabo la configuración de las cámaras para que cada una detecte el carril correspondiente y no lleve a cabo lectura de los vehículos que circulan en el otro sentido.
- Una vez realizadas estas instalaciones se llevan a cabo los mismos pasos que en el caso de los aforadores con espiras, estos son:
 - Ejecución de la canalización mediante topo para evitar la afeción de la vía y realización de las arquetas para el paso del cableado que conecta los diferentes equipos.
 - Instalación de la caseta metálica y los diferentes componentes que se instalan en ella como las borneras de conexión.
 - Instalación y conexión de los equipos de alimentación fotovoltaica, así como la electrónica asociada para su funcionamiento, incluyendo baterías para la alimentación en condiciones de baja luminosidad.
 - Instalación y conexión de equipos de telecomunicaciones.
 - Tendido del cableado de conexión de los equipos aforadores al sistema de alimentación y equipo de comunicaciones.
 - Conexión y configuración de los equipos comprobando su funcionamiento.

Descripción de la instalación

Teniendo en cuenta todo lo comentado la instalación quedaría con el siguiente esquema.

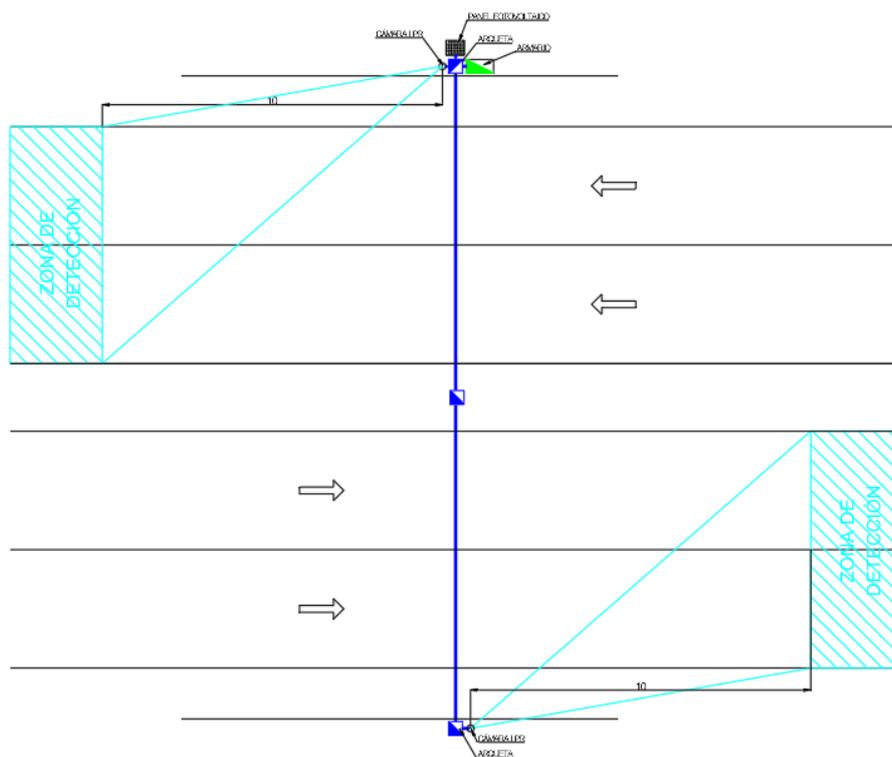


Ilustración 57: Instalación planta lectura de matrículas (4 carriles). Fuente: Elaboración propia.

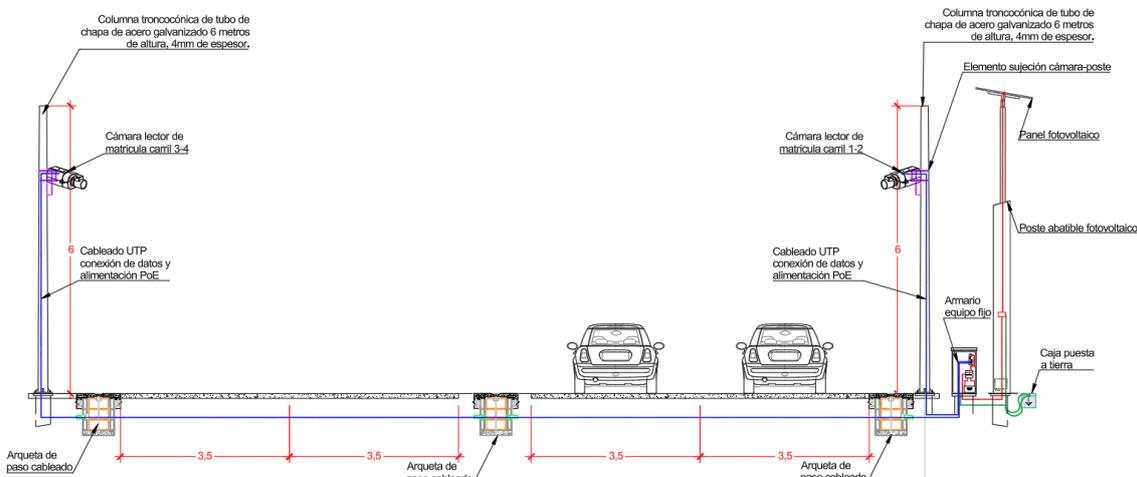


Ilustración 58: Instalación alzado lectura de matrículas (4 carriles). Fuente: Elaboración propia.

Presupuesto

Quedando el presupuesto de la estación de la siguiente forma.

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Aparato aforador lectura de matrículas tipo	2	5.000,00 €	10.000,00 €
Arqueta	3	149,58 €	448,74 €
Suministro Armario Intemperie	1	1.100,00 €	1.100,00 €

Cimentación armario	1	257,00 €	257,00 €
Suministro columna troncocónica	2	108,00 €	216,00 €
Cimentación columna	2	308,00 €	616,00 €
Terminal equipo telefonía (modem)	1	250,00 €	250,00 €
Antena para modem de alta ganancia	1	114,77 €	114,77 €
Suministro Conjunto fotovoltaico LPR	2	489,00 €	978,00 €
Suministro Batería para aforador lectura de matrículas tipo 12V 288Ah	4	400,00 €	1.600,00 €
Instalación LPR	2	224,75 €	449,50 €
TOTAL			16.030 €

Tabla 27: Precio descompuesto de Estación de aforo con Lectura de matrícula (4 Carriles 2 carriles por sentido). Fuente: Elaboración propia.

5.3.2.3 Radar

Elementos de la instalación

En este punto de la instalación al contar con dos sentidos de la circulación si se requiere la detección de motos, se va a suponer que este es el caso, es necesaria la instalación de dos equipos de lectura de matrículas.

Por tanto, los elementos que componen la instalación serán los siguientes.

- Una columna en la que se instalará el equipo aforador, el armario que contiene el sistema de comunicaciones y el sistema de alimentación fotovoltaica.
- Un equipo aforador microondas, modelo ejemplo RTMS Sx-300 o ECHO, se elige este equipo ya que cuenta con capacidad de dos carriles y se adapta a las necesidades de la vía.



Ilustración 59: Aforador radar RTMS-Sx300. Fuente: Image Sensing.

- Caseta o armario, este armario sirve para el alojamiento de los diferentes equipos necesarios para el funcionamiento de la estación, esta suele contar con una base de

hormigón y una cerradura de seguridad para evitar robos o actos vandálicos, este tipo de casetas suelen contar con unas dimensiones de 700x798x500 (ancho x altura x profundidad).

- Carriles DIN para la sujeción de equipos a la pared del armario, instalado en armario.
- Equipo de comunicaciones, en el punto de la instalación no se cuenta con una red de telecomunicaciones fijas por lo que se requiere la instalación de un equipo de comunicaciones a través de la red de telefonía, este tipo de equipos cuentan con una ranura SIM para la instalación de una tarjeta y suelen funcionar en las bandas habituales, un ejemplo de equipo de referencia utilizado en estos casos es el RUT 956, estos equipos son industriales lo que significa que están preparados para soportar condiciones de trabajo más extremas, temperatura y humedades, que los equipos no industriales.
- Modulo fotovoltaico con sujeción para la instalación en columna, se aprovecha la misma columna para la instalación de las cámaras, estos equipos se deben dimensionar para las necesidades del punto, en este caso se trata de dos cámaras y la electrónica de comunicaciones asociada.
- Baterías para la alimentación en horario nocturno o en condiciones de baja luminosidad.

Siendo el listado de los diferentes equipos a instalar el siguiente.

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES
Aparato aforador microondas	1
Arqueta	1
Suministro Armario Intemperie	1
Cimentación armario	1
Suministro columna troncocónica	1
Cimentación columna	1
Terminal equipo telefonía (modem)	1
Antena para modem de alta ganancia	1
Suministro Conjunto fotovoltaico LPR	1
Suministro Batería para aforador lectura de matrículas tipo 12V 288Ah	2

Tabla 28: Mediciones estación aforo microondas (4 carriles). Fuente: Elaboración propia.

Proceso de instalación

- Primero se debe llevar a cabo la realización de la cimentación del poste y la instalación de estos, estos se instalan en la berma y deben contar con una altura suficiente según las

especificaciones del fabricante, en este caso el equipo puede operar con un poste de 6 metros de altura.

- Instalación del equipo aforador y su configuración para que se realicen aforos en los dos carriles existentes.
- Una vez realizadas estas instalaciones se llevan a cabo los mismos pasos que en el caso de los aforadores con espiras, estos son:
 - Ejecución de la canalización y arqueta que conecta los diferentes elementos.
 - Suministro y ensamblaje de la caseta metálica y los diferentes componentes que se instalan en ella como las borneras de conexión.
 - Instalación y conexión de los equipos de alimentación fotovoltaica, así como la electrónica asociada para su funcionamiento, incluyendo baterías para la alimentación en condiciones de baja luminosidad.
 - Instalación y conexión de equipos de telecomunicaciones.
 - Tendido del cableado de conexión de los equipos aforadores al sistema de alimentación y equipo de comunicaciones.
 - Conexión y configuración de los equipos comprobando su funcionamiento.

Como se puede observar este equipo cuenta con menos equipos a la hora de realizar la instalación que el resto ya que solo se cuenta con un equipo para el aforo.

Descripción de la instalación

Teniendo en cuenta todo lo comentado la instalación quedaría con el siguiente esquema.

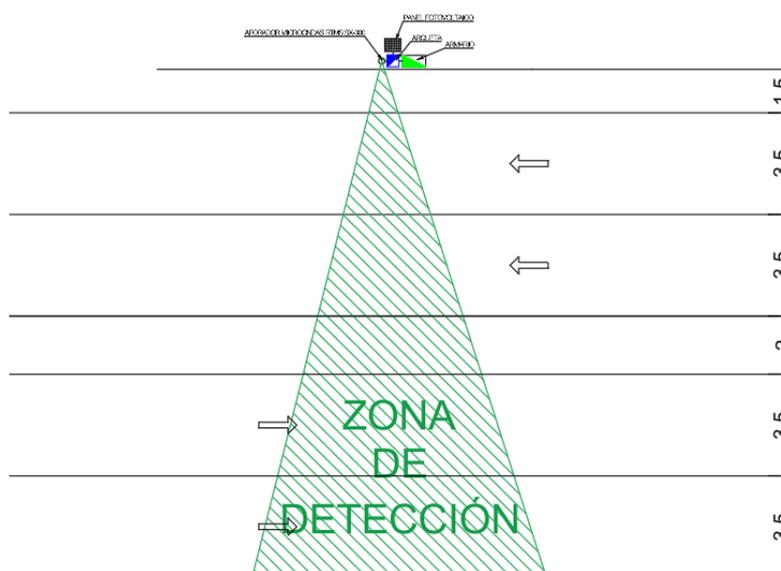


Ilustración 60: Instalación aforador microondas (4 carriles). Fuente: Elaboración propia.

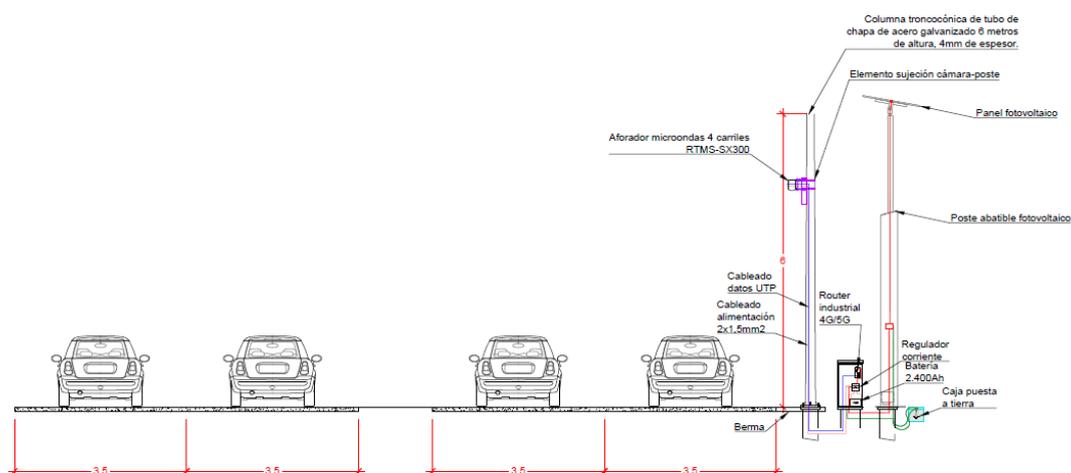


Ilustración 61: Instalación alzado aforador microondas (4 carriles). Fuente: Elaboración propia.

Presupuesto

Quedando el presupuesto de la estación de la siguiente forma.

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Aparato aforador microondas tipo	1	6.500 €	6.500,00 €
Suministro Armario Intemperie	1	1.100 €	1.100,00 €
Cimentación armario	1	257 €	257,00 €
Suministro columna troncocónica	1	108 €	108,00 €
Cimentación columna	1	308,40 €	308,40 €
Terminal equipo telefonía (modem)	1	250 €	250,00 €
Antena para modem de alta ganancia	1	114,77 €	114,77 €
Suministro Conjunto fotovoltaico microondas	1	489,71 €	489,71 €
Suministro Batería 12V 288Ah	2	400 €	800,00 €
Instalación	1	224,75 €	224,75 €
TOTAL			10.152,63 €

Tabla 29: Precio descompuerto de Estación de aforo con microondas (4 carriles). Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 6. Conclusiones

Tal y como se ha podido observar existen diferentes tipos de aforos, destacando los aforos permanentes y los temporales. También se ha podido ver como existen diferentes normativas a la hora de realizar la clasificación de los vehículos y como estos giran alrededor del tamaño de los vehículos.

A la hora de realizar estos aforos se ha podido observar las diferentes tecnologías y las posibles soluciones que ofrecen diferentes empresas como equipos para realizar los aforos. A partir de este análisis se ha podido observar como el funcionamiento de las tecnologías afecta a como se realiza la instalación de los equipos y que tipo de clasificaciones pueden llevar a cabo. Como parte del análisis técnico se ha visto como algunas tecnologías cuentan con clasificaciones más precisas de los vehículos, esto no tiene por qué ser mejor en principio ya que lo importante es ver como la tecnología se adapta a cada escenario.

A nivel económico se ha señalado como las tecnologías no intrusivas se adaptan mejor a la hora de realizar aforos temporales debido a que no se lleva a cabo la afección de la carretera a la hora de realizar la instalación.

A la hora de realizar estaciones permanentes en los casos planteados las tecnologías presentan diferentes niveles de adaptación:

- Las espiras presentan un buen nivel de adaptación al ser escalables según el número de carriles, siendo la diferencia entre una estación y otra el tener que instalar más espiras.
- Las cámaras de lectura de matrícula presentan el problema de la detección de motos, esto exige que si se deben de detectar se necesitan dos cámaras una para cada carril en el caso de dos carriles, necesitando la misma cantidad para realizar el aforo en cuatro carriles (2 en cada sentido).
- Los aforadores microondas es necesario adaptar el modelo que se utiliza a cada uno de los escenarios, necesitando en los dos casos un único aforador.

Parte de las limitaciones encontradas durante el proyecto es la dificultad de realizar una instalación de los aforadores en estructuras existentes. Tal y como ya se ha dicho una instalación no optima lleva a una baja en la calidad de datos de clasificación como en el caso expuesto.

Por otra parte, hay que destacar la dificultad de realizar un presupuesto preciso para este tipo de instalaciones, en este caso los precios salen de muchas fuentes diferentes y se pueden encontrar los mismos elementos con precios diferentes.



Como se ha podido observar a lo largo del documento el mundo de aforos vehiculares presenta una gran cantidad de alternativas a la hora de realizar los mismos aforos, no existen una solución óptima para todos los escenarios.

Como conclusión hay que destacar las tecnologías de aforo de microondas y LPR presentan una gran movilidad lo que permite realizar aforos en diferentes puntos a lo largo del tiempo.

Dentro del análisis de las diferentes soluciones de mercado y las utilizadas para plantear sistemas se ha intentado mantener soluciones disponibles dentro del mercado nacional, existen muchas otras soluciones que se implementan con estas tecnologías fuera de estos mercados.

Hay que destacar a la hora de realizar los presupuestos que debido a la naturaleza de estas instalaciones son precios orientativos con la finalidad de tener un orden de magnitud actualmente.

Los precios de los equipos pueden variar rápidamente en los próximos años, por ejemplo, si se empieza a extender el uso de tecnología radar los costes de los equipos se verían reducidos.

De la misma forma el precio considerado para las instalaciones complementarias también puede presentar grandes variaciones en algunos conceptos como las baterías o el coste de los postes y obra civil.

En este trabajo se ha podido observar cómo varias de las asignaturas del máster tienen una gran relación entre sí.

Algunas de las asignaturas como la de sistemas de adquisición y respuesta para sistema inteligentes de transporte en la que se tratan las diferentes tecnologías existentes para los sistemas inteligentes de transporte.

Por otra parte, las asignaturas de gestión inteligente de infraestructuras viarias y del tráfico y redes viarias, tráfico y seguridad vial introducían conceptos como los tipos de aforos existentes y para qué sirven estos.

Tal y como se ha podido observar a lo largo del documento se abordan conceptos de estas dos asignaturas y se intenta relacionar ambos campos en el mundo de los aforos interurbanos.

Capítulo 7. Presupuesto

Como parte del análisis económico realizado se han obtenido diferentes precios de varias fuentes como bases de datos de la dirección general de carreteras y de varios suministradores de los diferentes equipos principales.

TABLA DE PRECIOS

UNIDAD	PRECIO
Aparato aforador Hitrac UTCL	2.182€
Aparato aforador Hitrac EMU3 4 carriles	3.100€
Aparato aforador Hitrac EMU3 8 carriles	3.895€
Aforador lectura de matrículas tipo	5.000€
Aforador microondas oblicuo tipo	2.000€
Aforador microondas lateral tipo	6.500€
Suministro Armario Intemperie	1.100€
Cimentación armario	257€
Instalación lazo de inducción magnética	520€
Instalación sensor piezoeléctrico	460€
Suministro Bornera conexión de espira	77,20€
Suministro Conectores	58,33€
Suministro columna troncocónica	108€
Cimentación columna	308,40€
Suministro Poste móvil tipo semáforo	1.000€
Suministro Poste telescópico móvil remolque	7.000€
Suministro Conjunto fotovoltaico LPR	489,71€
Suministro Panel fotovoltaico 50W	150€
Suministro Soporte panel fotovoltaico	112,2€
Suministro Regulador de corriente	114,5€
Suministro Batería aforador de lazo inductivo 12V 60A	205,56€
Suministro Batería para aforador lectura de matrículas tipo 24V 254Ah	400€
Suministro Terminal equipo telefonía (modem)	250€
Suministro Antena para modem de alta ganancia	144,77€
Arqueta	149,58€

Tabla 30: Precios unitarios de equipos aforadores y elementos auxiliares. Fuente: Elaboración propia.

ESTACIÓN DE AFORO FIJA EN CALZADA ÚNICA CON DOS CARRILES

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Instalación lazo de inducción magnética	4	520 €	2.080,00 €
Aparato aforador Hitrac EMU3 4 carriles	1	3.100 €	3.100,00 €
Suministro Bornera conexión de espira	1	77,20 €	77,20 €
Suministro Conectores	1	58,33 €	58,33 €
Suministro Armario Intemperie	1	1.100 €	1.100,00 €
Cimentación armario	1	257 €	257,00 €
Suministro columna troncocónica	1	108 €	108,00 €
Cimentación columna	1	308,40 €	308,40 €
Suministro Antena alta ganancia	1	144,70 €	144,70 €
Suministro Panel fotovoltaico	1	150 €	150,00 €
Suministro Soporte panel fotovoltaico	1	112,20 €	112,20 €
Suministro Regulador de corriente	1	114,50 €	114,50 €
Suministro Batería aforador de lazo inductivo 12V 60A	1	205,56 €	205,56 €
Horas Técnico de Aforos	15	45,24 €	678,60 €
Horas Furgón	3,75	13,82 €	51,83 €
Horas Varios	3,75	5,00 €	18,76 €
TOTAL			8.565,08 €

Tabla 31: Precio descompuesto de ETD fija en calzada única con dos carriles. Fuente: Elaboración propia.

ESTACIÓN DE AFORO FIJA EN CALZADA ÚNICA CON CUATRO CARRILES

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Instalación lazo de inducción magnética	8	520 €	4.160,00 €
Aparato aforador Hitrac EMU 4 carriles	1	3.100 €	3.100,00 €
Suministro Bornera conexión de espira	1	77,20 €	77,20 €
Suministro Conectores	2	58,33 €	116,66 €
Suministro Armario Intemperie	1	1.100 €	1.100,00 €
Cimentación armario	1	257 €	257,00 €
Suministro columna troncocónica	1	108 €	108,00 €
Cimentación columna	1	308,40 €	308,40 €
Suministro Antena alta ganancia	1	144,70 €	144,70 €
Suministro Panel fotovoltaico	1	150 €	150,00 €
Suministro Soporte panel fotovoltaico	1	112,20 €	112,20 €
Suministro Regulador de corriente	1	114,50 €	114,50 €
Suministro Batería aforador de lazo inductivo 12V 60A	1	205,56 €	205,56 €
Horas Técnico de Aforos	21	45,24 €	950,04 €
Horas Furgón	5,25	13,82 €	72,56 €
Horas Varios	5,25	5,00 €	26,27 €
TOTAL			11.003,08 €

Tabla 32: Precio descompuesto de ETD fija en calzada única con cuatro carriles. Fuente: Elaboración propia.

ESTACIÓN DE AFORO CON LPR (2 CARRILES EN DISTINTOS SENTIDOS)

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Aparato aforador lectura de matrículas tipo	2	5.000 €	10.000,00 €
Arqueta	1	149,58 €	149,58 €
Suministro Armario Intemperie	1	1.100 €	1.100,00 €
Cimentación armario	1	257 €	257,00 €
Suministro columna troncocónica	1	108 €	108,00 €
Cimentación columna	1	308,40 €	308,40 €
Terminal equipo telefonía (modem)	1	250 €	250 €
Antena para modem de alta ganancia	1	114,77 €	114,77 €
Suministro Conjunto fotovoltaico LPR	2	489,71 €	979,42 €
Suministro Batería para aforador lectura de matrículas tipo 12V 288Ah	4	400 €	1.600,00 €
Instalación LPR	2	224,75 €	449,50 €
TOTAL			15.316,67 €

Tabla 33: Precio descompuesto de Estación de aforo con Lectura de matrícula (2 Carriles en varios sentidos).
Fuente: Elaboración propia.

ESTACIÓN DE AFORO CON LPR (4 CARRILES 2 CARRILES POR SENTIDO)

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Aparato aforador lectura de matrículas tipo	2	5.000,00 €	10.000,00 €
Arqueta	3	149,58 €	448,74 €
Suministro Armario Intemperie	1	1.100,00 €	1.100,00 €
Cimentación armario	1	257,00 €	257,00 €
Suministro columna troncocónica	2	108,00 €	216,00 €
Cimentación columna	2	308,00 €	616,00 €
Terminal equipo telefonía (modem)	1	250,00 €	250,00 €
Antena para modem de alta ganancia	1	114,77 €	114,77 €
Suministro Conjunto fotovoltaico LPR	2	489,00 €	978,00 €
Suministro Batería para aforador lectura de matrículas tipo 12V 288Ah	4	400,00 €	1.600,00 €
Instalación LPR	2	224,75 €	449,50 €
TOTAL			16.030 €

Tabla 34: Precio descompuesto de Estación de aforo con Lectura de matrícula (4 Carriles 2 carriles por sentido). Fuente: Elaboración propia.

ESTACIÓN DE AFORADOR CON MICROONDAS (2 CARRILES)

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Aparato aforador microondas tipo	1	2.000 €	2.000 €
Suministro Armario Intemperie	1	1.100 €	1.100 €
Cimentación armario	1	257 €	257 €
Suministro columna troncocónica	1	108 €	108 €
Cimentación columna	1	308,40 €	308,40 €
Terminal equipo telefonía (modem)	1	250 €	250 €
Antena para modem de alta ganancia	1	114,77 €	114,77 €
Suministro Conjunto fotovoltaico microondas	1	489,71 €	489,71 €
Suministro Batería 12V 288Ah	2	400 €	800 €
Instalación LPR	1	224,75 €	224,75 €
TOTAL			5.652,63 €

Tabla 35: Precio descompuesto de Estación de aforo con microondas (2 carriles). Fuente: Elaboración propia.

ESTACIÓN DE AFORO CON MICROONDAS (4 CARRILES)

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Aparato aforador microondas tipo	1	6.500 €	6.500,00 €
Suministro Armario Intemperie	1	1.100 €	1.100,00 €
Cimentación armario	1	257 €	257,00 €
Suministro columna troncocónica	1	108 €	108,00 €
Cimentación columna	1	308,40 €	308,40 €
Terminal equipo telefonía (modem)	1	250 €	250,00 €
Antena para modem de alta ganancia	1	114,77 €	114,77 €
Suministro Conjunto fotovoltaico microondas	1	489,71 €	489,71 €
Suministro Batería 12V 288Ah	2	400 €	800,00 €
Instalación	1	224,75 €	224,75 €
TOTAL			10.152,63 €

Tabla 36: Precio descompuesto de Estación de aforo con microondas (4 carriles). Fuente: Elaboración propia.

HORAS DE INGENIERIA

DESCRIPCIÓN	N.º UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Diseño instalaciones	40	30€	1.200€
Búsqueda de tecnologías	50	30€	1.500€
Búsqueda de precios	40	30€	1.200€
Análisis de documentación	50	30€	1.500€
Desarrollo del documento	120	30€	3.600€
Supervisión	20	40€	800€
Prueba campo	20	30€	600€
TOTAL			10.400,00 €

Tabla 37: Horas ingeniería. Fuente: Elaboración propia.

TABLA RESUMEN

DESCRIPCIÓN	TOTAL
ESTACIÓN DE AFORO FIJA EN CALZADA ÚNICA CON DOS CARRILES	8.565,08 €
ESTACIÓN DE AFORO FIJA EN CALZADA ÚNICA CON CUATRO CARRILES	11.003,08 €
ESTACIÓN DE AFORO CON LPR (2 CARRILES EN DISTINTOS SENTIDOS)	15.316,67 €
ESTACIÓN DE AFORO CON LPR (4 CARRILES 2 CARRILES POR SENTIDO)	16.030 €
ESTACIÓN DE AFORADOR CON MICROONDAS (2 CARRILES)	5.652,63 €
ESTACIÓN DE AFORO CON MICROONDAS (4 CARRILES)	10.152,63 €
HORAS DE INGENIERIA	10.400,00 €

Tabla 38: Tabla resumen. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 8. Bibliografía

- [1] U.S. Department of Transportation. *Federal Highway Administration*.
<<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/13091/index.cfm>>
- [2] Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen (Agosto 2012)
<https://www.bast.de/DE/Publikationen/Regelwerke/Verkehrstechnik/Unterseiten/V5-tls-2012.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (pág. 152)>
- [3] The COBA Manual (Mayo 2004) Vol 13, sección 1.
<https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20090902164826mp_/http://www.dft.gov.uk/pgr/economics/software/coba11usermanual/part4trafinputtocobarevis315.pdf>
- [4] Q-Free. Hi-Trac UTC-L.
<<https://www.q-free.com/product/hi-trac-utc-l-traffic-counter-and-classification-system/>>
- [5] Oriux. ADR-Sabre.
<<https://www.oriux.com/adr-sabre>>
- [6] Quadrex. ADR-5000
<<https://www.quadrex.es/productos/adr-5000-estacion-de-toma-de-datos-para-traffic-etd/>>
- [7] Ayaz S., S. Khattak K., H. Khan Z., Minallah N., A. Khan M., N. Khan A. (2022) SENSING TECHNOLOGIES FOR TRAFFIC FLOW CHARACTERIZATION: FROM HETEROGENEOUS TRAFFIC PERSPECTIVE, Journal of Applied Engineering Science, 20(1), 29 - 40, DOI:10.5937/jaes0-32627
- [8] T. -J. Ho and M. -J. Chung, "An approach to traffic flow detection improvements of non-contact microwave radar detectors," 2016 International Conference on Applied System Innovation (ICASI), Okinawa, Japan, 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICASI.2016.7539785.
- [9] España. Comité de normalización UNE.
<<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/comites-tecnicos-de-normalizacion/comite?c=CTN+199>>
- [10] AENOR (2004). UNE 135421. Equipamiento para la señalización vial. Estaciones de toma de datos



<<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0030827>>

[11] Ministerio de transportes, movilidad y movilidad sostenible. Visor Hermes.

<<https://mapas.fomento.gob.es/VisorHermes/>>

[12] Europa. Reglamento UE (2018). 30 de mayo de 2018/858.

<<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/TXT/?uri=CELEX%3A32018R0858>>

[13] Europa. Reglamento UE (2018). 30 de mayo de 2018/858

<<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32004R0642>>

[14] European Union. Eurostat

<<https://ec.europa.eu/eurostat/en/>>

[15] Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana (MITMA). Prescripciones y recomendaciones técnicas para la realización de estudios de tráfico.

<https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/pdfhandler.pdf>

[16] Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana (MITMA). Norma 3.1-IC de la Instrucción de carreteras

<https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/ns52014.pdf>

Capítulo 9. ANEXO I: Características técnicas de los equipos.

En este apartado se pasan a enumerar las características técnicas de los diferente equipos y elementos que se han tenido en cuenta para la instalación.

Aforador lazo inductivo Hitrac UTC.

- Capacidad para conexión de hasta 4 lazos inductivos.
- Permite configuración lazo-lazo.
- Precisión de conteo del 99%.
- Clasificación según en EURO 6.
 - Motocicletas.
 - Turismo/Furgonetas.
 - Turismo/Furgonetas + remolque.
 - Camiones.
 - Camiones articulados.
 - Autobuses y autocares.
- Con capacidad para captar vehículos hasta 180Km/h.
- Consumo <0,05W con opción de 6VDC y 12VDC.
- Opción para alimentación con energía solar.
- Capacidad de almacenamiento de 8GB.
- Capacidad de instalar tarjeta SIM para comunicaciones GPRS/3G interna.
- Temperatura operacional -40°C a +85°C.
- Con capacidad como mínimo para obtener los siguientes datos por vehículo.
 - Velocidad del vehículo.
 - Clasificación del vehículo.
 - Conteo de vehículo.
 - Longitud de vehículo
 - Sentido de la circulación.
 - Hora y fecha.



Aforador lazo inductivo 8 carriles modelo Hitrac EMU3 o similar.

- Capacidad para conexión de hasta 16 lazos inductivos.
- Permite configuración lazo-lazo.
- Display para configuración del equipo.
- Precisión de conteo del 99%.
- Clasificación según en EURO 6.
 - Motocicletas.
 - Turismo/Furgonetas.
 - Turismo/Furgonetas + remolque.
 - Camiones.
 - Camiones articulados.
 - Autobuses y autocares.
- Con capacidad para captar vehículos hasta 180Km/h.
- Consumo <0,5W con opción de 6VDC y 12VDC.
- Opción para alimentación con energía solar.
- Capacidad de almacenamiento de 8GB.
- Capacidad de instalar tarjeta SIM para comunicaciones GPRS/3G interna.
- Temperatura operacional -40°C a +85°C.
- Con capacidad como mínimo para obtener los siguientes datos por vehículo.
 - Velocidad del vehículo.
 - Clasificación del vehículo.
 - Conteo de vehículo.
 - Longitud de vehículo
 - Sentido de la circulación.
 - Hora y fecha.

Lazo inducción magnética.

- Formada por cuatro vueltas rectángulo o cuadrado que forma un lazo o bucle.



- Dimensiones de las espiras 1,52 x 2,13 o 2 x 2 (longitud x anchura).
- Cable de 1,5 mm² de sección y doble revestimiento.
- Cable trenzado hasta el aparato aforador.
- Cubiertas con resina de poliuretano.

Aforador lectura de matrículas

- Resolución de 5 Megapíxeles o superior.
- Procesado de imágenes integrado de reconocimiento de matrículas.
- Lentes configurables según punto de instalación.
- IR para toma de datos en condiciones de baja visibilidad.
- Detección de vehículos extranjeros.
- Detección de mercancías peligrosas.
- Fiabilidad de lectura <95%
- Ratio detección < 97%
- Consumo <35W.
- Almacenamiento suficiente para el tiempo de aforo.
- Velocidad máxima de 250km/h.
- Preparado para instalación en intemperie IP67.
- Rango de temperatura operacional -40°C a +60°C.
- Humedad relativa de operación 10-90% sin condensación.
- Alimentación 24 o 48V.

Aforador microondas TC-Radar

- Radar Doppler 24,125GHz.
- Recolección de datos de velocidad, número de vehículos, dirección y distancia entre vehículos.
- Clasificación de 4 clases diferentes de vehículos según longitud.
- Rango de velocidad de 10 a 255 km/h.
- Almacenaje de más de 1.000.000 vehículos.



- Altura de montaje entre 0,5 y 4 metros.
- Interfaz para conexión de PC para configuración.
- Potencia de emisión de 5mW.

Aforador microondas RTMS-Sx300

- Aforador microondas tipo radar, banda de frecuencia K 24GHz.
- Recolección de datos de volumen de tráfico, ocupación, velocidad, distancia entre vehículos.
- Clasificación de hasta 6 clases de vehículos según longitud.
- 12 zonas de detección de los vehículos (carriles), hasta 76 metros de distancia.
- Memoria interna de 8MB para almacenamiento de datos.
- Tiempo entre fallos MTBF 90.000 horas.
- Carcasa de protección IP 67.

Aforador infrarrojo TDC-1

- Aforador de tecnología de infrarrojo pasivo.
- Recolección de datos de recuenta de vehículos, velocidad individual de cada vehículo, clasificación de vehículos y presencia.
- Hasta 5 clases por longitud de vehículos.
- Altura de montaje entre 5,5 y 18 metros.
- Capacidad de aforo de 1 carril.

Aforador infrarrojo TDC-3

- Aforador de tecnología de múltiple tecnología, ultrasonido, infrarrojo y microondas.
- Recolección de datos de recuenta de vehículos, velocidad individual de cada vehículo, clasificación de vehículos y presencia.
- Hasta 8 clases por longitud de vehículos.
- Capacidad de aforo de 1 carril.
- Conteo > 99,5%.
- Clasificación 85-99,5%.

Armario de intemperie



- Casa metálica con cerradura de seguridad.
- Dimensiones mínimas 700 x 798 x 500 (ancho x altura x profundidad)
- Chapa de 3 mm galvanizada.
- Puerto de cerramiento hermético.
- Contará con perforaciones para ventilación en la parte baja lateral de la caseta.

Cimentación de armario de intemperie

- Base de hormigón en masa para armario.
- Dimensiones mínimas de 840 x 640 x 400 (ancho x altura x profundidad)
- Acometida de cables con tubo corrugado de al menos 5 centímetros de diámetro.

Columna troncocónica

- Columna metálica troncocónica.
- Altura mínima de 6,5 metros.
- Diámetro de base inferior de 125 milímetros.
- Soldado a base de 300 milímetros.
- Grosor de 8 milímetros.

Cimentación de columna.

- Base de hormigón en masa para columna.
- Dimensiones mínimas 1800 x 1000 x 600 según necesidades del punto de instalación.
- Acometida de cables con tubo corrugado de al menos 5 centímetros de diámetro.

Conjunto alimentación fotovoltaico LPR

- Panel solar Monocristalino PERC.
 - Características físicas
 - Dimensiones aproximadas (2278x1134x30)
 - Peso 27,8 kg
 - Numero de celdas 144
 - Características eléctricas
 - Tensión normal



- Potencia máxima 550W
 - Corriente cortocircuito: 14A
 - Tensión circuito abierto: 49,90V
 - Corriente máxima potencia (I máx.): 13,11A
 - Tensión máxima potencia (V máx.): 41,96V
- Regulador de corriente MPPT.
 - Soporte para instalación de panel solar en poste.

Panel fotovoltaico 50W

- Panel solar monocristalino
- Características físicas:
 - Dimensiones aproximadas (mm): 540x440
 - Peso aproximado (kg): 3
 - N.º de células en serie: 36
 - N.º de células en paralelo: 1
 - TONC (800 W/m²; AM 1,5; 1m/s): 46°C.
- Características eléctricas:
 - Tensión normal (V_n): 12 V
 - Potencia máxima (P_{max}): 22 Wp +- 10%
 - Corriente de cortocircuito (I_{sc}): 1,64 A
 - Tensión de circuito abierto (V_{oc}): 21,6 V
 - Corriente de máxima potencia (I_{max}): 2,75 A
 - Tensión de máxima potencia (V_{max}): 18,2 V
- Con soporte para instalación en poste.

Batería estacionaria de 12 V 60Ah

- Voltaje Nominal 12V
- Capacidad Nominal 60 Ah.
- Dimensiones 229x138x208 mm (213/227 hasta terminal)



- Temperatura operacional -15°C – 50°C.
- Temperatura de carga 0°C-40°C.
- Peso 18 Kg.
- Sin mantenimiento.

Batería recargable 12V 288Ah

- Voltaje nominal 12V
- Capacidad nominal 288Ah C100.
- 600 ciclos de carga/descarga de vida según normativa IEC 896-2.
- Temperatura operacional -15°C – 50°C.
- Temperatura de carga 0°C-40°C.
- Peso aproximadamente 70 Kg.
- Sin mantenimiento.

Regulador de corriente MPPT

- Tensión de trabajo 12/24/48V.
- Corriente nominal 10/15/20 A.
- Tensión máxima de circuito abierto 100V.
- Protección de cortocircuito de salida y sobre temperatura.
- Desconexión automática de la carga.
- Temperatura operacional -30 a +60°C.
- Humedad operacional 95% sin condensación.

Antena alta ganancia

- Antena alta ganancia para instalación en exteriores.
- Frecuencias 850/900 MHz -1800/1900MHz- 2100MHz.
- Ganancia
 - 850-900 MHz 5dBi
 - 1800-1900 MHz 3dBi
 - 2100 MHz 1 dBi



- Polarización: Omnidireccional.
- Rango de temperatura operacional -40°C a 85°C
- IP68
- Montaje sobre armario

Rúter comunicaciones

- Rúter comunicaciones 3G/4G/5G industrial.
- Comunicaciones 3G/4G/5G.
- Ranura para tarjeta SIM.
- 4 puertos RJ-45.
- Antena incorporada omnidireccional.
- Instalación en carril DIN.
- Alimentación 9-30VDC.
- Consumo normal 2W.
- Consumo máximo 7W.
- Temperatura operacional -40°C a 75°C.
- Humedad operacional 10-90% sin condensación.

Arqueta

- Arqueta.
- Dimensiones mínimas 40x40x60.
- Tapa metálica.

Bornera conexión de espira

- Bornera tipo industrial para conexión de espiras.
- Instalación en carril DIN.



Capítulo 10. ANEXO II: Planos

