

TEMA 82

LA GESTIÓN DEL TRÁFICO III. MEDIDAS PARA ACTUAR SOBRE LA OFERTA Y LA DEMANDA. ESTABLECIMIENTO DE CARRILES REVERSIBLES, VAO, A CONTRAFLUJO Y USO DE ARCENES EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA. ITINERARIOS ALTERNATIVOS. SISTEMAS DE CONTROL LINEAL. CONTROL DE RAMPAS.

1. CONTROL DE LA CIRCULACIÓN EN ACCESOS A CIUDADES.
 - 1.1. Introducción. Competencias.
 - 1.2. Necesidad de controlar la circulación en los accesos a ciudades.
 - 1.3. Sistemas de Control existentes en España. Sistemas existentes en ciudades europeas y americanas.
2. SISTEMAS DE DETECCIÓN.
 - 2.1. Tubos neumáticos.
 - 2.2. Sistemas electromagnéticos de detección.
 - 2.3. Estaciones de visión artificial (EVA's) para medidas de tráfico.
 - 2.4. Lectores de Matrícula.
 - 2.5. Sensor de Captación de Variables Meteorológicas en Carretera.
3. ESTABLECIMIENTO DE CARRILES A CONTRACORRIENTE EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA.
 - 3.1. Introducción.
 - 3.2. Carriles a contracorriente mediante conos.
 - 3.3. Carriles Reversibles.
 - 3.3.1. Carril BUS-VAO en la carretera A-6 (Madrid).
 - 3.3.2. Carril Reversible del Puente del Centenario (Sevilla).
 - 3.3.3. Carril reversible en el puente José León de Carranza en Cádiz.
 - 3.3.4. Carril Reversible de acceso a Sierra Nevada.
 - 3.3.5. Carril BUS-VAO en la A-2 (Madrid) : en ejecución.
4. SISTEMAS DE CONTROL Y SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN VARIABLE.
5. ITINERARIOS ALTERNATIVOS.
6. CONTROL DE RAMPAS.
 - 6.1. Descripción y justificación.
 - 6.2. Funcionamiento.

1. CONTROL DE LA CIRCULACIÓN EN ACCESOS A CIUDADES.

1.1. Introducción. Competencias.

La problemática de la demanda creciente de la movilidad es común a todos los países industrializados del mundo. El coste de la congestión, los accidentes y el deterioro medioambiental consecuencia de la movilidad pueden resumirse en que los accidentes de tráfico en la Unión Europea provocan, cada año la muerte de 30.000 ciudadanos y son la causa principal de muerte e ingreso hospitalario de los ciudadanos menores de 45 años y su coste es superior al de la contaminación, el cáncer y las enfermedades de corazón.

A pesar de que se ha avanzado enormemente en la reducción de la accidentalidad en el decenio 2001-2010, habiendo alcanzado España ya en 2009 el objetivo de reducción de los fallecidos en accidente de circulación al 50%, el reto es alcanzar la "Visión Cero" en 2020, según el Libro Blanco del Transporte 2011-2020: *"Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible"*.

Además, se calcula que el coste de la congestión se acerca a los 150 millones de euros anuales según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. En cuanto a las emisiones de CO₂ derivadas del transporte, la Unión Europea se ha marcado como objetivo, devolver los niveles actuales de emisiones de gases de efecto invernadero a los ratios de 1990, y hacerlo antes de 2050.

El Libro Blanco del Transporte 2011-2020: *"Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible"* establece como una de sus prioridades, continuar con el desarrollo de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS Intelligent Transportation Systems), que permiten realizar una gestión eficaz y eficiente de la circulación. Para ello, se definió una red de carreteras transeuropea como la red oficial de carreteras europeas -TERN-T, Trans-European Road Network for Transport- sobre la que instalar los equipos necesarios para la gestión del tráfico.

La TERN incluye las principales vías de comunicación entre las distintas regiones europeas. El objetivo que se persigue es homogeneizar el sistema europeo de carreteras para mejorar su eficacia y ofrecer servicios continuados y comunes a lo largo de la misma. Con ello, se pretende incrementar el confort y la seguridad del usuario, favoreciendo al tiempo, la comunicación entre las distintas regiones, y con ello su desarrollo. Las **prioridades** para esta red **TEN-T** son:

- El desarrollo de los sistemas de recogida de datos de tráfico.
- La monitorización del tráfico por carretera y de las condiciones meteorológicas en las que se desarrolla la circulación.
- La gestión de tráfico realizada por centros de información y centros de control de tráfico.
- La instalación de servicios de información sobre el estado del tráfico en las carreteras.

Para desarrollar estas recomendaciones, la Comisión formuló la proposición de un plan de acción estratégico para facilitar y acelerar la introducción de telemática en la carretera. Como resultado de este grupo de trabajo se realizó una Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo el 20 de mayo de 1997 (COM 97-223 final), llamada *"Estrategia comunitaria y marco para el desarrollo de la*

telemática aplicada al transporte en carretera y programa de propuestas de acción iniciales”.

En respuesta a esta estrategia, se han definido 6 **euro-regiones** donde la implantación de servicios telemáticos homogéneos es crucial para garantizar una movilidad continua en la red de carreteras. Estas euro-regiones definidas son:

- CENTRICO, agrupa a Bélgica, Alemania, Francia, Luxemburgo, Países Bajos y Reino Unido;
- CORVETTE, que incluye regiones de Austria, Alemania e Italia;
- VIKING, que agrupa a Suecia, Finlandia, Dinamarca y Noruega;
- SERTI, con la participación de Francia, España, Alemania e Italia;
- STREETWISE, con la participación del Reino Unido y finalmente
- ARTS, con la participación de España, Francia y Portugal.

Las euro-regiones se han agrupado en un solo proyecto transeuropeo denominado **EASYWAY**, que se ha convertido en un elemento esencial para desarrollar y aplicar la Directiva 2010/40/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 7 de julio de 2010, por la que se establece el marco para la implantación de los sistemas de transporte inteligentes en el sector del transporte por carretera y para las interfaces con otros modos de transporte, y que ha de ser transpuesta al ordenamiento jurídico español. El Ministerio de la Presidencia publicó, en el BOE, el “Real Decreto 662/2012 por el que se establece el marco para la implantación de los ITS en el sector del transporte por carretera y para las interfaces con otros modos de transporte”, que incorpora la “Directiva 2010/40/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 7 de julio de 2010 por el que se establece el marco para la implantación de los ITS en el sector del transporte por carretera y para las interfaces con otros modos de transporte” al Derecho interno español.

Marco Jurídico.

Hay que recalcar que las competencias en materia de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), las Nuevas Tecnologías (NNTT) aplicables al transporte, están compartidas, entre los siguientes organismos del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana: la Dirección General de Transporte Terrestre (Subdirección General de Gestión, Análisis e Innovación), la Dirección General de Carreteras (Subdirección General de Explotación y Gestión de Red), la División de Estudios y Tecnología del Transporte, y la Subdirección General de Tecnologías de la Información y Administración Electrónica. Todo lo anterior sin perjuicio de las competencias que sobre esta materia tiene el Ministerio del Interior (Dirección General de Tráfico), razón por la cual ambos Ministerios vienen manteniendo los contactos pertinentes. En este tema nos centraremos en las competencias de DGT.

El Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) ha desarrollado **es.movilidad, la Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030** (<https://esmovilidad.mitma.es/>), que guiará las actuaciones del MITMA en materia de movilidad, infraestructuras y transportes en los próximos 10

años. La Estrategia incluye los ITS las NNTT en sus tres pilares básicos, la seguridad, la sostenibilidad y la conectividad.

En el ordenamiento jurídico español, y en relación a DGT, se hace referencia a la gestión del tráfico interurbano en la siguiente legislación:

- **Real Decreto Legislativo 6/2015, de 30 de octubre, que aprueba el texto refundido de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial (texto consolidado tras modificación por Ley 18/2021).**

En su artículo 4 desarrolla las competencias de la Administración del Estado en materia de Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial.

En el artículo 5, apartados i, k, l, m y n quedan recogidas las competencias correspondientes al Ministerio del Interior, en esta materia:

- i) La vigilancia y disciplina del tráfico en toda clase de vías interurbanas y en travesías cuando no exista policía local, así como la denuncia y sanción de las infracciones a las normas de circulación y de seguridad en dichas vías.*
- k) La regulación, gestión y control del tráfico en vías interurbanas y en travesías, estableciendo para estas últimas fórmulas de cooperación o delegación con las entidades locales y sin perjuicio de lo establecido en otras disposiciones y de las facultades de otros departamentos ministeriales.*
- l) Establecer las directrices básicas y esenciales para la formación y actuación de los agentes de la autoridad en materia de tráfico y circulación de vehículos a motor, sin perjuicio de las atribuciones de las corporaciones locales, con cuyos órganos se instrumentará, de común acuerdo, la colaboración necesaria.*
- m) La autorización de pruebas deportivas que hayan de celebrarse utilizando en todo o parte del recorrido carreteras estatales, previo informe de las Administraciones titulares de las vías públicas afectadas, e informar, con carácter vinculante, las que se vayan a conceder por otros órganos autonómicos o municipales, cuando hayan de circular por vías públicas o de uso público en que la Administración General del Estado tiene atribuida la vigilancia y regulación del tráfico.*
- n) Cerrar a la circulación carreteras o tramos de ellas por razones de seguridad o fluidez del tráfico o restringir en ellas el acceso de determinados vehículos por motivos medioambientales, en la forma que se determine reglamentariamente.*
- u) De conformidad con lo dispuesto en la Ley, las normas en materia de tráfico y seguridad vial que deberán cumplir los vehículos dotados de un sistema de conducción automatizado para su circulación, a excepción de los requisitos técnicos para la homologación de los vehículos cuyo desarrollo corresponde al Ministerio competente en materia de industria.»*

En el artículo 6 se recoge que:

1. *El Ministerio del Interior ejerce las competencias relacionadas en el artículo anterior a través del Organismo Autónomo Jefatura Central de Tráfico.*
 2. *Para el ejercicio de las competencias atribuidas al Ministerio del Interior en materia de vigilancia, regulación y control del tráfico y de la seguridad vial, así como para la denuncia de las infracciones a las normas contenidas en esta Ley, y para las labores de protección y auxilio en las vías públicas o de uso público, actuarán, de acuerdo con lo que reglamentariamente se determine, las Fuerzas de la Guardia Civil, especialmente su Agrupación de Tráfico, que a estos efectos depende específicamente de la Jefatura Central de Tráfico.*
- **Real Decreto 734/2020, de 4 de agosto, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio del Interior**

El artículo 11 .1 establece que a la DGT, a través de la cual el Ministerio del Interior ejerce sus competencias sobre el Organismo Autónomo Jefatura Central de Tráfico, le corresponden, entre otras, las siguientes funciones:

- j) La elaboración de instrucciones sobre vehículos y los procedimientos administrativos relacionados con el Registro de Vehículos, así como facilitar la implantación del vehículo conectado, el desarrollo de la conducción autónoma y el impulso de plataformas tecnológicas para su gestión en el ámbito de las competencias del organismo.*
- k) La regulación, ordenación, gestión, vigilancia y disciplina del tráfico en vías interurbanas y travesías; la implantación, mantenimiento y explotación de los medios y sistemas inteligentes de transporte necesarios, así como propuestas de mejora de la seguridad vial en las vías para reducir la accidentalidad, sin perjuicio de las competencias del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.*
- l) La dirección de los Centros de Gestión de Tráfico y del Centro de Tratamiento de Denuncias Automatizadas, así como la resolución sobre la instalación de videocámaras y dispositivos para el control, regulación, vigilancia y disciplina del tráfico en el ámbito de la Administración General del Estado.*
- m) El suministro de información sobre el estado del tráfico en tiempo real e incidencias.*
- n) El establecimiento de las directrices para la formación y actuación de los agentes de la autoridad en materia de tráfico y circulación de vehículos, sin perjuicio de las atribuciones de las Corporaciones Locales, con cuyos órganos se instrumentará la colaboración necesaria*

El artículo 11.2 establece que la DGT está integrada por los siguientes órganos, con rango de subdirección general, en particular:

b) La Subdirección General de Gestión de la Movilidad y Tecnología a la que corresponde la realización de las actuaciones y gestiones necesarias para el ejercicio de las funciones atribuidas al órgano directivo en los párrafos j), k), l), m) y n) del apartado 1.

Por tanto, corresponde a la DGT realizar la gestión del tráfico interurbano en España y en particular, en los accesos a las grandes áreas metropolitanas, ejecutando estas tareas desde los distintos Centros de Gestión del Tráfico de la DGT.

1.2 Necesidad de controlar la circulación en los accesos a ciudades.

El modo de vida actual tiene como consecuencia que las ciudades se constituyen en focos de continua atracción y generación de viajes.

Asimismo, los **nuevos modelos de urbanización extensiva** que se han desarrollado en los últimos años suponen que se haya creado alrededor de la ciudad original una corona de residencias en las que los precios del suelo son más asequibles. Esta configuración implica que los ciudadanos deban desplazarse a su lugar de trabajo y a los centros educativos diariamente. Este cambio social está acompañado por un cambio en los hábitos laborales: se incrementa la movilidad laboral y se reduce la jornada semanal de trabajo, permitiendo a los ciudadanos disfrutar de más tiempo de ocio, lo que supone un incremento en los desplazamientos debidos a movilidad no obligada.

De esta manera, se produce un gran número de desplazamientos diarios de entrada y salida a las grandes ciudades, y un gran número de desplazamientos de salida y retorno los fines de semana y vacaciones. A esta enorme demanda de movilidad concentrada en un corto período de tiempo no puede darse respuesta de manera exclusiva construyendo nuevas infraestructuras, por el elevado coste y el impacto medioambiental que éstas tienen.

Para hacer frente a estas puntas de demanda se realiza la **gestión del tráfico**, que implica en primer lugar, la necesidad de realizar el control del tráfico en los accesos para conocer cómo se desarrolla la circulación, mediante la **monitorización y supervisión**, para, a continuación, **acomodar la oferta disponible a la demanda**, mediante las técnicas de control y señalización. Finalmente, se trata de modular la demanda para que no exceda la máxima capacidad ofertada, a través de la **información y reglamentación**.

1.3 Sistemas de Control existentes en España. Sistemas existentes en ciudades europeas y americanas.

En España se han instalado sistemas de control de accesos en las grandes áreas metropolitanas donde resulta necesario acomodar la oferta y la demanda de movilidad existente. Para realizar este control, se encuentran en funcionamiento, en la actualidad los Centros Territoriales de Gestión del Tráfico con sede en Madrid, Valencia, Sevilla, Málaga, Zaragoza, Valladolid y La Coruña, dependientes de la DGT, así como Nodos Locales de Gestión de ámbito geográfico más reducido, como en Asturias, Albacete o Santander.

En Europa, las ciudades que cuentan con un sistema de control de accesos presentan características muy semejantes a las españolas, destacando, entre otros, París, Ámsterdam, Roma, Berlín, Lisboa, Londres, Burdeos o Toulouse.

En el resto del mundo, hay que destacar las ciudades norteamericanas donde se realiza de manera casi generalizada el control de accesos: Denver, Seattle, Nueva York, y en el resto de países del mundo, Buenos Aires, Santiago de Chile, Colombia, Medellín, Tokio, Yokohama, etc.

2.SISTEMAS DE DETECCIÓN.

Al hablar de **monitorización** se incluye todas las modalidades de recogida de datos de tráfico y de los factores que puedan afectar a éste, tanto las realizadas por personas como las realizadas de modo automático.

Entre los factores que pueden afectar al tráfico se incluyen incidentes tales como accidentes, retenciones, problemas meteorológicos y averías, y eventos como obras o manifestaciones. Su misión es recopilar datos y vigilar el desarrollo de la circulación. Esta monitorización puede realizarse también a través de la información de los usuarios en carretera, utilizando el teléfono, o el correo electrónico, para comunicar cualquier incidente que se observe en la carretera.

Se realiza el control y seguimiento de los siguientes aspectos:

- Monitorización del flujo circulatorio: intensidad, velocidad, etc., que proporciona datos objetivos.
- Monitorización meteorológica: temperatura, humedad, nieve, hielo en la calzada, viento, lluvia, etc., que proporciona datos objetivos.
- Monitorización mediante circuito cerrado de televisión, que proporciona datos subjetivos, incorporados por los Operadores de Centro de Gestión a la Base de datos de Incidencias en carretera de la DGT.
- Vigilancia mediante patrullas de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil, que proporciona datos subjetivos, incorporados por las centrales de comunicaciones COTA de la Guardia Civil a la Base de datos de Incidencias en carretera de la DGT.
- Vigilancia mediante Patrullas de Helicópteros, que proporciona datos subjetivos, incorporados por los Operadores de Centro de Gestión a la Base de datos de Incidencias en carretera de la DGT.

A continuación se analizan los distintos sistemas instalados en las áreas metropolitanas para poder cuantificar la circulación, obteniendo los parámetros característicos del tráfico -intensidad, velocidad, ocupación, clasificación, etc.- de manera que se pueden establecer modelos predictivos de comportamiento del tráfico y, por tanto, paliar los problemas derivados de la congestión circulatoria y otros incidentes en el tráfico.

A .Tubos neumáticos.

Se trata de un sistema constituido por un detector de goma, en forma de tubo cerrado, que se coloca transversalmente a la calzada. En el otro extremo, el tubo termina en una membrana metálica flexible. Cuando pasan sobre él las ruedas de

los vehículos aumenta la presión del aire en su interior, moviendo la membrana metálica, que cierra un contacto eléctrico. El dispositivo contador se acciona por medio de este impulso eléctrico, y contabiliza el paso de un vehículo al recibir dos impulsos, correspondientes al paso de las ruedas delanteras y traseras del vehículo.

Como existen vehículos de más de 2 ejes, se introduce un pequeño error, que puede corregirse realizando aforos manuales -contando en carretera todos los vehículos que pasan por una determinada sección- extrapolando los resultados recogidos en campo a los obtenidos con los aforadores móviles.

Suelen incorporar un aparato registrador, que cada hora aproximadamente, descargan en una cinta magnética o en papel, la información recogida en ese intervalo de tiempo, volviendo el contador a cero para iniciar un nuevo período de medición.

Este tipo de detectores es muy útil en instalaciones provisionales o de corta duración, ya que los tubos de goma se colocan fácilmente sobre la calzada y el contador se alimenta de una batería. Las averías que se presentan de manera más frecuente son los fallos eléctricos del contador, y las roturas de los tubos de goma, que deben soportar el impacto de las ruedas de los vehículos.

b. Sistemas electromagnéticos de detección.

En instalaciones donde se pretenda obtener datos de manera permanente, resulta más adecuado utilizar otro tipo de detectores que presenten menor frecuencia de averías. Los más utilizados son los detectores de lazo, o bucles de inducción magnética.

Se basan en la detección de los cambios que se producen en un campo electromagnético cuando circula un vehículo (masa metálica) sobre un punto determinado de la calzada.

Consisten en una espira electromagnética o cable enterrado en el pavimento, dispuesto formando un cuadrado, por el que circula una corriente eléctrica que genera el correspondiente campo electromagnético. Al pasar por este lazo la masa metálica del vehículo produce un cambio en las características del campo electromagnético generado que se registra por el contador. Este tipo de dispositivos registran el número total de vehículos que pasan y pueden clasificarlos por su longitud, número de ejes y masas. Son los detectores más instalados en los accesos a las áreas metropolitanas españolas. Permiten conocer la velocidad de circulación de los vehículos, ya que se suelen colocar dos espiras por carril, separadas una cierta distancia que conocemos.

El paso del vehículo por la espira número 1 queda recogido en el detector. Pasado un pequeño intervalo de tiempo, pasa por la espira número 2 y también se recoge en el detector. Como se conoce la distancia que separa las espiras y el detector determina el tiempo que ha empleado el vehículo en pasar de una espira a otra, se puede conocer la velocidad, calculándola como el cociente entre esta distancia y el tiempo empleado. Asimismo, también se registra el tiempo de ocupación de la espira, se realiza la clasificación de los vehículos, según su longitud, y se calcula la distancia intervehicular.

Como inconveniente, presentan la necesidad de cortar el tráfico en el carril en el que están instaladas para realizar cualquier reparación, por lo que este tipo de

actuaciones deben realizarse en horas de poco tráfico -horas valle u horario nocturno-. Asimismo, si se realiza alguna modificación en el pavimento (refuerzos de firme, etc.) se han de adaptar a la nueva configuración.

c. Estaciones de visión artificial (EVA's) para medidas de tráfico.

Estos sistemas utilizados por la DGT permiten medir los parámetros característicos del tráfico utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes, con un comportamiento similar al del ojo humano. Permiten realizar la detección y seguimiento de todos los vehículos dentro de un área determinada, aparte de tomar medidas localizadas en puntos concretos.

Se trata de un sistema no invasivo (no es necesario instalarlo en el pavimento de la calzada), que permite un tratamiento versátil de los datos de tráfico, ya que se puede reconfigurar la zona de medida y modificar el campo de visión con facilidad. Con este sistema se evitan las interferencias de las obras que se ejecutan en la carretera con el elemento de medida.

Este sistema se encuentra instalado en distintos tramos de carretera, entre ellos el tramo desde la A-4 hasta la A-2, enlazados a través de la M-40, con una longitud total de 100 km, tanto en la vía principal como en los accesos.

Este sistema de visión artificial consiste en una cámara de video orientada de manera fija a una parte de la vía. Dentro de este campo de visión, se define un área de análisis que se puede variar, mediante un proceso de configuración. El proceso consta de las siguientes etapas: primero, captación de imágenes, segundo la digitalización y finalmente, el proceso de estas imágenes mediante algoritmos matemáticos.

Las variables que podemos obtener son: Intensidad circulatoria, velocidad media, ocupación y composición del tráfico (vehículos ligeros y pesados).

Las estaciones de visión artificial permiten almacenar una base histórica de sucesos durante un cierto tiempo, que pueden servir para analizar la evolución de la circulación, para el análisis de la eficacia de las medidas de gestión que se han instalado -por ejemplo, un carril adicional circunstancial de circulación mediante conos- etc.

El sistema permite, asimismo, el envío de imágenes en movimiento, digitalizadas y comprimidas, a través de las líneas de comunicación de datos. Los datos sobre tráfico se procesan y se muestran en distintas ventanas gráficas, donde podemos ver el número de vehículos que han circulado en esta zona en las últimas 24 horas, su velocidad media de circulación, etc.

Las estaciones de visión artificial pueden equiparse también con un módulo de detección automática de incidentes en tiempo real. Este módulo puede programarse según el objetivo que se persiga: por ejemplo, puede establecerse que se active una alarma cuando un vehículo pare en el arcén o cuando un vehículo circule en sentido contrario al establecido. Esta detección se realiza por comparación de los píxeles de las imágenes digitalizadas, ya que cuando no hay ningún vehículo parado estos píxeles tienen un color claro, y este valor varía cuando un se capta la imagen de un vehículo. Estos sistemas de detección automática suelen instalarse en secciones críticas, por ejemplo túneles, puentes, etc. Estas estaciones se diseñaron y

desarrollaron íntegramente en España, a partir de un proyecto de investigación subvencionado por la DGT y el Ministerio de Industria, y constituyeron un producto de tecnología puntera a nivel mundial.

d. Lectores de Matrícula.

Otro elemento que se utiliza para monitorizar el tráfico son los lectores de matrícula. Se trata de una cámara de televisión que capta un fotograma de cada uno de los vehículos que circulan por el carril que está monitorizando, al que se le aplica un OCR que permite identificar los caracteres que componen la matrícula.

Se delimitan distintos tramos de control, y se coloca un lector de matrícula en cada carril de la sección inicial de entrada y otro lector de matrícula en cada carril de la sección de salida, normalmente sobre pórtico de aluminio visitable o sobre poste metálico.

Se obtienen porcentajes de reconocimiento del más del 95% de las matrículas de los vehículos que circulan por esa sección, en distintas condiciones ambientales de iluminación y de estado de conservación de la placa de matrícula.

Al poder identificar un mismo vehículo en la sección de entrada y en la de salida, se puede calcular el tiempo medio de recorrido de los vehículos en ese tramo, información que resulta muy valiosa desde el punto de vista de la gestión del tráfico, ya que es una medición objetiva del estado de la circulación.

e. Sensor de Captación de Variables Meteorológicas en Carretera.

Se trata de unidades que permiten cuantificar las variables meteorológicas que pueden afectar a la circulación: niebla, viento, nieve, hielo, lluvia, viento, etc.

Se instalan en aquellos puntos de carretera con especial frecuencia de incidencias meteorológicas, como un puerto de montaña, con hielo frecuente, un valle, con nieblas frecuentes, una zona de vientos continuados, etc., para detectar su presencia y tomar las medidas de gestión de tráfico adecuadas a cada situación: información a los usuarios para que extremen la precaución, establecimiento de itinerarios de desvío, alternativos, etc.

Constan de un anemómetro para medir intensidad y dirección del viento, un visibilímetro, para determinar la visibilidad existente (utilizado en casos de niebla), termómetro para determinar la temperatura exterior y temperatura del pavimento, se realiza la medida del punto de rocío, medida de la precipitación, formación de hielo sobre la calzada, etc. cuyo resultado se visualiza en una pantalla gráfica en el Centro de Gestión correspondiente, que tomará las medidas oportunas de acuerdo con los resultados obtenidos.

En zonas de especial conflictividad en época invernal se dispone de software de control que, en base a las mediciones de distintos parámetros -presión, humedad, temperatura de la calzada, etc.- pueden realizar la predicción de formación de hielo con unos 20 ó 30 minutos de antelación, por lo que se puede alertar a los servicios

de conservación correspondientes para el extendido de sal o arena y evitar así la aparición de placas de hielo en la calzada.

3. ESTABLECIMIENTO DE CARRILES A CONTRACORRIENTE EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA.

3.1 Introducción.

La **utilización de carriles de circulación a contracorriente** en función de la demanda se encuentra regulada en los artículos 40, 41 y 42 del Reglamento General de Circulación, donde se establecen las directrices para la circulación en estas ordenaciones especiales:

Artículo 40. Carriles Reversibles.

- 1. En las calzadas con doble sentido de la circulación, cuando las marcas dobles discontinuas delimiten un carril por ambos lados, indican que éste es reversible, es decir, que en él la circulación puede estar regulada en uno u otro sentido mediante semáforos de carril u otros medios. Los conductores que circulen por dicho carril deberán llevar encendida la luz de corto alcance o de cruce en sus vehículos tanto de día como de noche, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 104 de este Reglamento.*
- 2. Los supuestos de circulación en sentido contrario al estipulado tendrán la consideración de infracciones muy graves, conforme se prevé en el artículo 65.5.f) del texto articulado.*

Artículo 41. Carriles de utilización en sentido contrario al habitual.

- 1. Cuando las calzadas dispongan de más de un carril de circulación en cada sentido de marcha, la autoridad encargada de la regulación del tráfico podrá habilitar, por razones de fluidez de la circulación, carriles para utilización en sentido contrario al habitual, debidamente señalizados con arreglo a lo dispuesto en el artículo 144.*

La utilización de los carriles habilitados para la conducción en sentido contrario al habitual queda limitada a las motocicletas y turismos, estando prohibida, por lo tanto, al resto de los vehículos, incluidos los turismos con remolque. Los usuarios de este tipo de carriles circularán siempre, al menos, con la luz de corto alcance o cruce encendida, tanto de día como de noche, a una velocidad máxima de 80 km/h y una mínima de 60, o inferiores si así estuviera establecido o específicamente señalado, y no podrán desplazarse lateralmente invadiendo el carril o carriles destinados al sentido normal de la circulación, ni siquiera para adelantar.

Los conductores de los vehículos que circulen por carriles destinados al sentido normal de circulación, contiguos al habilitado para circulación en sentido contrario al habitual, tampoco podrán desplazarse lateralmente invadiendo los habilitados para ser utilizados en sentido contrario al habitual; llevarán encendida la luz de corto alcance o cruce, al menos, tanto de día como de noche; y, además, si disponen de un solo carril en su sentido de circulación, lo harán a una velocidad máxima de 80 km/h y a una mínima de 60, o inferiores si así estuviera establecido o específicamente señalado, y si disponen de más de

un carril en su sentido de circulación, lo harán a las velocidades que se establecen en los artículos 48.1.a)1.^a y 2.^a, 49 y 50. Dichos usuarios y conductores pondrán especial cuidado en evitar alterar los elementos de balizamiento permanentes o móviles.

Artículo 42- Carriles adicionales circunstanciales de circulación.

En las calzadas con doble sentido de la circulación y arcenes, cuando la anchura de la plataforma lo permita, la autoridad encargada de la regulación del tráfico podrá habilitar un carril adicional de circulación en uno de los sentidos de la marcha, mediante la utilización de elementos provisionales de señalización y balizamiento, que modifiquen la zona de rodadura de los vehículos en el centro de la calzada.

La habilitación de este carril adicional circunstancial supone, mediante la utilización de ambos arcenes, el disponer de dos carriles en un sentido de circulación, y de uno en el otro. En cualquier caso, esta circunstancia estará debidamente señalizada. Los vehículos que circulen por los arcenes y por dicho carril adicional lo harán a una velocidad máxima de 80 km/h y a una mínima de 60, o inferiores si así estuviera establecido o específicamente señalado, y los que circulen por el carril adicional deberán utilizar al menos, el alumbrado de corto alcance o de cruce tanto de día como de noche y deberán observarse, en cuanto sean aplicables, las normas contenidas en el artículo anterior.

La **separación física entre carriles con un uso especial** -reversibles, carriles en sentido contrario al habitual y carriles adicionales- puede realizarse con los dispositivos recogidos en el artículo 144 del Reglamento General de Circulación:

“Artículo 144. Señales circunstanciales y de balizamiento.

1. Los paneles de mensaje variable tienen por objeto regular la circulación adaptándola a las circunstancias cambiantes del tráfico. (...)
2. Las señales de balizamiento podrán ser:
 - a) Dispositivos de barrera: prohíben el paso a la parte de la vía que delimitan y son los siguientes:
 1. **Barrera fija**: prohíbe el paso a la vía o parte de ésta que delimita.
 2. **Barrera o semibarrera móviles**: prohíbe temporalmente el paso, mientras se encuentre en posición transversal a la calzada en un paso a nivel, puesto de peaje o de aduana, acceso a un establecimiento u otros.
 3. **Panel direccional provisional**: prohíbe el paso e informa, además, sobre el sentido de la circulación.
 4. **Banderitas, conos o dispositivos análogos**: prohíben el paso a través de la línea real o imaginaria que los une.
 5. **Luz roja fija**: indica que la calzada está totalmente cerrada al tránsito.
 6. **Luces amarillas fijas o intermitentes**: prohíben el paso a través de la línea imaginaria que las une.

- b) Dispositivos de guía: tienen por finalidad indicar el borde de la calzada, la presencia de una curva y el sentido de circulación, los límites de obras de fábrica u otros obstáculos. Son los siguientes:
1. **Hito de vértice**: elemento de balizamiento en forma semicilíndrica en su cara frontal, provisto de triángulos simétricamente opuestos, de material retrorreflectante, que indica el punto en el que se separan dos corrientes de tráfico.
 2. **Hito de arista**: elemento cuya finalidad primordial es balizar los bordes de las carreteras principalmente durante las horas nocturnas o de baja visibilidad.
 3. **Paneles direccionales permanentes**: dispositivos de balizamiento implantados con vistas a guiar y señalar a los usuarios un peligro puntual, mediante el cual se informa sobre el sentido de circulación.
 4. **Captafaros horizontales (ojos de gato)**.
 5. **Captafaros de barrera**.
 6. **Balizas planas**: indican el borde de la calzada, los límites de obras de fábrica u otros obstáculos en la vía.
 7. **Balizas cilíndricas**: refuerzan cualquier medida de seguridad, y no puede franquearse la línea, imaginaria o no, que las une.
 8. **Barreras laterales**: rígidas, semirrígidas y desplazables. Indican el borde de la plataforma y protegen frente a salidas de la vía.
3. La forma, color, diseño, símbolos, significado y dimensiones de las señales de balizamiento se ajustarán a lo que se establece en el Catálogo oficial de señales de circulación.

Con este tipo de medidas se realiza una utilización más eficiente de la infraestructura, ya que permite gestionar la capacidad de la misma según la demanda de paso, en cada momento y para cada sentido. Por este motivo, se constituye en una herramienta fundamental para mejorar los tiempos de recorrido y disminuir, de modo muy importante, la longitud y la duración de la congestión, con la mejora consiguiente en los niveles de servicio y la reducción de la contaminación ambiental derivada de la congestión.

Instalando medidas especiales de regulación mediante conos, que habilitan carriles adicionales, se puede evitar afectar al flujo principal de una carretera, cuando la intensidad de circulación de los vehículos que transitan por ella se acerca a la congestión, por la incorporación de vehículos procedentes de los distintos accesos, evitando los tramos de trenzado. La intensidad horaria media alcanzada en este tipo de carriles puede llegar a los 1.200-1.800 vehículos/hora.

3.2 Carriles a contracorriente mediante conos.

Constituye una de las medidas de ordenación más populares en España, ya que encontramos carreteras en las que esta ordenación se ha estado instalando desde hace más de 25 años.

Resulta muy útil en el caso de condiciones previsibles de congestión -fines de semana, operaciones especiales, etc.- la colocación de conos para adecuar la oferta y la demanda de movilidad.

Se realizan 3 tipos principales de ordenaciones:

- **Colocación de un carril de utilización en sentido contrario al habitual.**

Este carril se coloca en el sentido opuesto a la circulación que presenta exceso de demanda, separando físicamente los dos sentidos mediante conos cada pocos metros.

Tal y como se recoge en el Reglamento General de Circulación, los vehículos que circulan por este carril habilitado deben hacerlo con la luz de cruce encendida, y a una velocidad entre 60 y 80 km/h. De igual modo, deberán llevar encendida la luz de cruce los vehículos que circulan por el sentido de utilización normal de la vía. Se trata de una medida de gestión económica y versátil, que se instala en carretera con la presencia y apoyo de los miembros de la Agrupación de Tráfico en carretera.

- **Carriles adicionales circunstanciales.**

Para facilitar la incorporación de los vehículos que acceden a la vía principal, con el objeto de evitar interferencias entre el tráfico principal y el de acceso hasta que, separándolo físicamente con conos, también llamadas cuñas de incorporación.

- **Cancelación de carril lento.**

Se cierra a la circulación el carril reservado a vehículos lentos mediante la colocación de conos, para evitar que los vehículos que han entrado provoquen frenazos al tratar de incorporarse al carril normal de circulación.

Estas regulaciones requieren que los conos se dispongan con una separación en recta o curva con visibilidad en torno a los 10 a 15 m, disminuyendo esta distancia hasta 5 ó 10 m en curva. En ocasiones se refuerzan mediante la utilización de cascadas luminosas, en especial, durante la noche y en aquellos puntos más problemáticos: pasos de calzada de las autovías cuando se habilita un carril en sentido contrario al habitual, en curvas peligrosas, etc. y, en general, donde pueda existir un obstáculo para el usuario que se encuentra circulando en sentido contrario al habitual. Asimismo, la longitud mínima de las cuñas de transición de entrada y de salida de carril adicional será de 200 m, y en ellas, los conos se dispondrán cada 5 m.

En España, se colocan más de 750 km de conos para facilitar la circulación los fines de semana y operaciones especiales, fundamentalmente en Semana Santa y período estival.

3.3 Carriles Reversibles.

- i. Carril BUS-VAO en la carretera A-6 (Madrid).

En los accesos a Madrid por la carretera A-6 se venían produciendo retenciones importantes en sentido Madrid a primera hora de la mañana, y en sentido salida a última hora de la tarde. En estas condiciones, el nivel de servicio resultaba muy deficiente para el usuario. Asimismo, esta fuerte demanda de paso en un sentido venía acompañada por una demanda de paso muy débil en el sentido contrario, por tanto, se podía utilizar la capacidad de este sentido habilitando 1 carril en sentido contrario al habitual, sin disminuir el nivel de servicio para los usuarios de esta calzada.

A principio de los 80 se comenzaron a instalar carriles en sentido contrario al habitual mediante conos, para facilitar los movimientos de entrada y salida a la capital. Esta ordenación tenía el inconveniente del tiempo que se empleaba en establecer esta regulación, ya que se aplicaba en una gran longitud, y la constante vigilancia a la que hay que someter los conos, para reponer aquellos conos que han sufrido un desplazamiento o una caída.

Por este motivo, se estableció una ordenación fija que permitiese utilizar la capacidad de la carretera de manera más eficiente creando el **sistema BUS-VAO**.

El **BUS-VAO** es una calzada central formada por carriles reversibles, separados de las calzadas adyacentes mediante barrera de seguridad rígida tipo New Jersey, con un uso exclusivo para autobuses y Vehículos de Alta Ocupación (VAO, 2 ó más ocupantes). Con ello se pretendía, además de una estructura reversible, otros 2 importantes **objetivos**:

- Incentivar el transporte público (BUS), manteniendo unos tiempos de recorrido constantes y unas frecuencias de salida y llegada aceptables.
- Incentivar el uso compartido del automóvil (VAO), ya que en los accesos a Madrid el índice de ocupación de los vehículos resultaba muy bajo (inferior a 1,2).

El sistema BUS-VAO se divide en **3 zonas** fundamentales:

1. *De 6 km de longitud que discurre entre el núcleo urbano de Madrid y el p.k. 7 por el centro de la calzada.* Su uso se reserva exclusivamente a autobuses y en Madrid tiene acceso directo a un intercambiador de transportes subterráneo. Su funcionamiento comenzó en mayo de 1993.
2. *De 12 km de longitud que discurre entre el p.k. 7 y el p.k. 19 por el centro de la calzada.* Su uso lo comparten los autobuses y los VAO. Se entiende como VAO a todo vehículo con dos o más ocupantes, impidiéndose el paso a camiones. Se puso en funcionamiento en mayo de 1994.
3. *De 17 km de longitud que discurre entre el p.k. 19 y el p.k. 38.* En este tramo se utilizan las vías de servicio laterales de dos carriles por sentido. La circulación no está restringida para ningún tipo de vehículo. Comenzó a funcionar en marzo de 1995.

Gestión del carril BUS-VAO.

El **sistema BUS-VAO** constituye una infraestructura de **acceso a Madrid** completamente integrada y a pleno funcionamiento, habiendo pasado ya el período

de información a los usuarios de la A-6 acerca de los usuarios permitidos y las horas de funcionamiento, que no varían salvo en Operaciones Especiales.

Los horarios de apertura y cierre en los días laborables suele ser de 6 a 11:30 ó 12:30 en sentido entrada a Madrid, y de 13:30 a 22:00 en sentido salida. Estos horarios se ajustan los fines de semana a la demanda de paso existente.

La calzada BUS-VAO ha demostrado un rendimiento muy superior a los carriles convencionales, más del 64% de los usuarios de la A-6 viajan en la punta de mañana por la calzada BUS-VAO y menos del 36% por la calzada general. Al analizar estas cifras se ha de considerar que el nº de carriles de la calzada BUS-VAO es de 2 y el de la calzada general es de 4, dedicando tres para circulación de frente y el carril derecho para las operaciones de salida y acceso.

En el período punta de la mañana de 7.00 a 10.00 horas, por cada carril han circulado 13.131 personas/carril en la calzada BUS-VAO y 4.285 personas/carril en la calzada general considerando los cuatro carriles existentes, y de 5.713 personas/carril, si se considera que el tráfico se concentra en tres carriles, dejando el cuarto para accesos. Por tanto, el rendimiento por carril es del 33% en la calzada general respecto a la calzada BUS-VAO en este segundo caso, que es la estimación más conservadora.

Si esta demanda de movilidad hubiese dispuesto únicamente de los tres carriles de 1991, fecha en que comenzó la construcción del BUS-VAO, se habría llegado, sin ninguna medida de gestión del tráfico, a unos valores de 4.694 personas/hora y carril, lo que hubiera provocado el colapso de la vía. Por tanto, se ha producido un considerable aumento en el flujo de personas que se han desplazado por este corredor, pasando de 28.032 personas a 44.413, un aumento del 33%. Este aumento se ha asumido por los carriles BUS-VAO, descargando el tronco de la carretera principal, lo que tiene como consecuencia que las personas que entran a Madrid en días laborables por esta carretera lo hagan en un 60 % en autobuses y vehículos de alta ocupación.

ii. Carril Reversible del Puente del Centenario (Sevilla).

El **Puente del Centenario** se encuentra situado en la Ronda de Circunvalación de Sevilla SE-30, para salvar la dársena del río Guadalquivir, entre los pp.kk. 9 y 11. La SE-30 se construyó con calzadas separadas y 3 carriles por sentido de circulación, para evitar el colapso del tráfico en la ciudad de Sevilla.

Sin embargo, el Puente del Centenario se proyectó con 2 carriles por sentido de circulación. Tras su puesta en funcionamiento se constató la insuficiencia de capacidad existente, creándose un cuello de botella en su acceso. Ante esta situación se decidió instalar un carril reversible en el centro de la calzada sobre el tablero, disminuyendo los arcones y la anchura de los carriles, delimitado por balizas empotradas en el pavimento, y gestionado desde el Centro de Gestión del Tráfico de Sevilla.

El puente presenta unas **pendientes** de acceso en sus estribos que rondan el 5% y unas características geométricas estrictas en la zona del tablero. Para su control y gestión se utilizan once cámaras en circuito cerrado de televisión, dentro de los sistemas de control a los accesos a Sevilla, desde las que se controla el puente en toda su longitud. Asimismo, el sistema se apoya con la información que se muestra en los paneles de mensaje variable del control de accesos a Sevilla, dedicando exclusivamente a la información sobre el estado del carril reversible, los cuatro paneles situados al comienzo de dicho puente en ambos sentidos.

Asimismo, se han instalado 8 **pórticos con semáforos** de carril (aspaflechas) en sentido Cádiz, y 7 en sentido Huelva, lo que totaliza 96 semáforos de carril y señales de regulación.

La circulación de **vehículos pesados** -por sus dimensiones- se encuentra normalmente prohibida por el carril reversible y el carril situado más a la izquierda de cada sentido, quedando restringida al carril derecho, que es el de mayor anchura.

El **funcionamiento del carril reversible**, dado el control total por cámara de toda su longitud, y presenta una enorme versatilidad. Puede cambiarse el sentido de circulación en el carril reversible en cuestión de poco más de 2 minutos, constituyendo una herramienta muy potente para gestionar la demanda de paso en una sección tan crítica como esta.

En el Centro de Gestión existe una aplicación informática en la que, a través de la monitorización de la circulación en este puente, se conoce de manera instantánea la intensidad y velocidad de circulación en cada sentido, mediante un código de colores, de manera que el carril reversible se abre en el sentido que demanda mayor intensidad de tráfico, aunque para su gestión se ha de tener en cuenta el estado del resto de la Ronda de Circunvalación SE-30.

El carril reversible se opera normalmente de 7 a 10 de la mañana, de 1 a 5 de la tarde, y de 6 a 9 de la noche. La intensidad media diaria en este tramo supera los 110.000 vehículos, y como media, en un día laborable, se cambia el sentido de circulación en el reversible unas 45 veces al día.

El puente está dotado de **sistemas de alimentación eléctrica ininterrumpida** para evitar cualquier incidencia por un fallo en la corriente eléctrica, así como de

redundancia en las comunicaciones y sistemas de control, para hacer frente, en condiciones de seguridad a cualquier contingencia.

iii. Carril reversible en el puente José León de Carranza en Cádiz.

El **Puente José León de Carranza** se configura como uno de los principales accesos a la ciudad de Cádiz, a través de la N-443, y es además el acceso directo desde la AP-4, que conecta Cádiz con Sevilla.

Este puente, se construyó en el año 1969 y, hasta el año 2007, la calzada de circulación estaba configurada por 2 carriles, uno para cada sentido de circulación, lo que daba lugar a continuas retenciones consecuencia de la poca capacidad ofrecida por esta vía.

Para paliar esta falta de capacidad de la infraestructura en las horas de mayor demanda de paso, se instalaba los días laborables, un carril adicional circunstancial con conos, que mejoraba el acceso, pero planteaba problemas por el tiempo que se tardaba en instalar y recoger los conos, y porque no se tenía rapidez para cambiar el sentido en el que se colocaba el carril adicional circunstancial.

En julio del año 2007, y en coordinación con el titular de la vía –Ministerio de Fomento- se abrió al tráfico un carril reversible de 1450 metros de longitud, operado desde el CGT del Suroeste, con el objetivo de:

- Evitar las retenciones.
- Disminuir su longitud en caso de producirse.
- Tener un mayor control de los accesos a Cádiz.
- Aumentar la capacidad del puente José León de Carranza.
- Mejorar la eficiencia del tráfico.
- Aumentar la seguridad de los usuarios de este acceso.
- Disminución del volumen de contaminación que se produce durante la circulación y retención de vehículos.

Este carril reversible permite una gestión de la capacidad de la infraestructura más dinámica y flexible, adaptado a las necesidades de la circulación de forma casi inmediata, y resulta el fruto de la evolución lógica de la infraestructura, cuya capacidad se optimiza y se aprovecha de manera mucho más eficiente.

El **equipamiento** que forma parte del Puente Carranza, está dividido en dos partes debido a la particularidad de que el Puente Carranza es además un puente móvil, para permitir el paso de los barcos al muelle de Cortadura.

El equipamiento que instalado para la gestión del carril reversible del puente es el siguiente:

- 4 paneles de mensaje variable (P.M.V.): dos sentido Cádiz y 2 sentido Puerto Real.

- 16 señales aspa-flecha: 4 sentido Cádiz, 4 sentido Puerto Real y 8 en el carril reversible.
- 562 balizas luminosas de tecnología led empotradas en el pavimento formando 2 líneas y divididas en 4 circuitos.
- 6 estaciones remotas universales (ERU).
- 4 equipos de control de balizas.
- 6 cámaras de televisión, en los pórticos del puente y 3 en los accesos al mismo que permiten la visión de las entradas al puente en los 2 sentidos de circulación.
- 6 Pórticos de aluminio, visitables.
- 2 Banderolas de aluminio, visitables.
- 2 ETD en carril reversible.
- 2 Grupos electrógenos.
- 2 Sistemas de alimentación ininterrumpida.
- Comunicaciones por radioenlace.

Este equipamiento, para mantener las velocidades de circulación dentro del rango permitido, fue completado en marzo del 2008 con la puesta en funcionamiento de un punto de control de velocidad, ubicado en el pórtico del p.k. 3+850 en sentido creciente.

Desde la puesta en servicio del carril reversible en el Puente José León de Carranza, las retenciones circulatorias se han visto prácticamente reducidas a cero, y su operación, junto con el sistema de control de accesos a Cádiz establecido, permiten gestionar de manera segura, cómoda y ágil, cualquier incidencia que se registre en la circulación, estableciendo itinerarios alternativos y de desvío por la CA-33 y A-4 en caso necesario, mejorando los niveles de servicio en el acceso a Cádiz.

iv. Carril Reversible de acceso a Sierra Nevada.

Con motivo de los Mundiales de esquí celebrados en Granada en 1996 la DGT habilitó un carril reversible dentro del sistema de control, regulación e información en los accesos a Sierra Nevada.

Se instalaron paneles de mensaje variable, controles de velocidad en la zona, circuito cerrado de televisión y estaciones meteorológicas, así como los elementos correspondientes al carril reversible desde el p.k. 4 al 16 de la carretera GR-420, ampliable hasta el p.k. 23.

De esta manera se daba respuesta al gran número de usuarios que desean acceder a la estación de esquí, y que se concentraban a primera y última hora del día, permitiendo un uso más eficiente de la capacidad de la vía en un acontecimiento de esas características.

v. Carril BUS-VAO en la A-2 (Madrid) : en ejecución..

El 21 de octubre de 2019, se suscribió un Convenio para la adaptación del carril izquierdo de la autovía A-2 como carril BUS-VAO, en ambos sentidos, que estableció las condiciones de ejecución y financiación de las actuaciones objeto del mismo. El 23 de septiembre de 2021 se firmó una Adenda a dicho Convenio.

Esta acción, enmarcada en el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, contribuirá a alcanzar el objetivo de reducción de emisiones que Mitma se ha fijado para 2030, así como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

- Características de la actuación

La actuación consiste en dotar a la autovía A-2 de la infraestructura necesaria para permitir el uso exclusivo del carril izquierdo, en ambos sentidos de circulación en horas punta, para autobuses y vehículos con alta ocupación, mediante una gestión inteligente de la carretera basada en sistemas ITS.

Para ello, no se prevé una separación física entre el carril reservado y el resto de los carriles de la calzada, sino que se proyecta un sistema de información al usuario mediante señalización luminosa variable, apoyada por una señalización fija horizontal y vertical previa, con el objetivo de indicarles el estado y situación del carril reservado y su uso con la máxima cobertura.

A lo largo de la línea de separación de carriles central e izquierdo se colocarán además balizas luminosas embebidas y enrasadas en el firme, que indicarán, en color rojo, los tramos en los que no es posible acceder al carril reservado, y en color verde, los tramos habilitados para ello.

Asimismo, para paliar las posibles perturbaciones en el tráfico producidas por la implantación del carril Bus-VAO, los proyectos incluyen actuaciones puntuales de mejora en la infraestructura existente.

La actuación se desarrolla en tres fases, cuya ejecución se realizará simultáneamente en un único contrato de obras. Los proyectos de las fases I y II se corresponden con el sentido de entrada a Madrid y el proyecto de la fase III con el de salida de Madrid.

Entrada a Madrid:

El acceso al carril reservado sólo podrá realizarse por unos puntos determinados, que serán los puntos de embarque, y, una vez en el carril, sólo se podrá salir de él en el desembarque previsto en Avenida de América.

En sentido de entrada a Madrid, el acceso al carril Bus-VAO se podrá realizar desde Alcalá de Henares, Torrejón de Ardoz, San Fernando de Henares y Canillejas.

Contempla dos fases de puesta en funcionamiento, aunque las obras necesarias para la adaptación del carril se realicen de forma simultánea.

Fase I:

14,3 km de carril reservado, entre Torrejón de Ardoz y Avenida de América.

Actuaciones puntuales de mejora en el nudo de Eisenhower (p.k. 10+800 de la A-2), en el enlace de Rejas (Coslada/San Fernando) y en la salida 5 de la A-2.

3 puntos de embarque (accesos al carril reservado): Torrejón de Ardoz (p.k. 18+600), San Fernando de Henares (p.k. 13+600) y Canillejas (p.k. 7+700).

Desembarque único hacia Avenida de América, pasado el enlace de la A-2 con la M-30 (p.k. 4+300).

- Fase II

5 km de carril reservado, entre Alcalá de Henares y Torrejón de Ardoz.

1 punto de embarque al comienzo del carril reservado, a la altura del nudo con la M-300 (p.k. 23+500).

Salida de Madrid:

Contempla la denominada Fase III:

En sentido salida de Madrid, el acceso se podrá realizar desde Avda. de América y la M-40 y se podrá salir en Coslada/San Fernando de Henares y Torrejón de Ardoz.

9,4 km de carril reservado entre el p.k. 6+100 y el 14+900.

1 punto de embarque al comienzo del carril reservado, pasada la salida 5 hacia Josefa Valcárcel (p.k. 6+100).

1 punto de embarque pasada la incorporación de la Avenida Hispanidad Sur (p.k. 11+400).

1 punto de desembarque entre los p.k. 9+100 y 9+800.

1 punto de desembarque entre los p.k. 14+900 y 15+200.

4. SISTEMAS DE CONTROL Y SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN VARIABLE.

Su misión es dirigir y controlar los flujos del tráfico. Una vez que se ha determinado la cantidad de vehículos que demandan movilidad en una zona, y al conocer la capacidad de la misma, se articulan una serie de estrategias tendentes a hacerlas coincidir de la mejor manera posible en cada momento. Entre estos, se encuentran:

- **Sistemas de señalización variable mediante semáforos aspaflechas, reguladores de carril.**

Como los que se muestran en el gráfico adjunto, en el carril reversible del Puente del Centenario en la Ronda de Circunvalación SE-30 de Sevilla.

- **Sistemas de paneles de mensaje variable**

Se trata de paneles electrónicos instalados en pórticos sobre la carretera o junto a ella que muestran mensajes y pictogramas variables para controlar,

advertir, aconsejar o informar a todos los conductores que circulan por una carretera, sobre el desarrollo de la circulación en todo momento.

Los paneles de mensajes variables son los únicos dispositivos que permiten regular el tráfico a distancia, enviando las instrucciones correspondientes mediante telecomando desde los Centros de Gestión del Tráfico. Las instrucciones mostradas en un panel de mensaje variable son de obligado cumplimiento.

El Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobado por el Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo, establece en el artículo 144 y en su Anexo 1, por primera vez en la normativa española, la regulación de los distintos tipos de mensajes mostrados en los paneles de mensaje variable, lo que constituye una reglamentación pionera en el mundo.

Por otro lado, la Resolución de 1 de junio de 2009, de la DGT, por la que se aprueba el Manual de Señalización Variable, ha establecido los usos y formatos de la señalización que se muestra en estos dispositivos.

Asimismo, la DGT lidera el proyecto europeo MARE NOSTRUM, que trata de armonizar los modos de señalización en paneles de mensaje variable en distintos países europeos, de manera que, aunque un conductor extranjero no conozca el idioma del país por el que circula, las normas y pautas de señalización sean comunes y pueda identificar y reconocer el mensaje que le muestran los paneles.

- **Sistemas de control de accesos, a través del control de la velocidad en cada una de las vías de incorporación, para armonizar las velocidades de circulación en el área y evitar perturbaciones en el tráfico por acelerones o frenazos bruscos.**

Estos sistemas de control, junto con la monitorización y la información y regulación tienen como finalidad:

1. **Asegurar la vialidad en las carreteras** en todo momento y en todas las circunstancias.
2. **Incrementar la capacidad** de las infraestructuras existentes, en especial en las zonas congestionadas de los accesos a las grandes ciudades y sus áreas metropolitanas, optimizando el uso de la red de carreteras, adecuando la demanda y la oferta vial.
3. **Aumentar la eficiencia del tráfico en su conjunto** y, en consecuencia, en el sector del transporte, tanto en las áreas urbanas

como en zonas geográficas más amplias que incluyen el tráfico de media y larga distancia.

4. **Prevenir la congestión** y reducir su duración y longitud una vez que se ha producido.
5. **Aumentar la seguridad vial** y disminuir la contaminación producida por el tráfico, en lo referente a las emisiones de gases a la atmósfera, ruidos, efecto barrera para la flora y fauna, etc.
6. **Aumentar el confort** de los usuarios en su circulación por las carreteras, proporcionando servicios a los mismos.

Estos objetivos se materializan a través de los **Planes de Gestión de Tráfico**, que permiten elaborar, con antelación, unos protocolos de actuación para implementar ante cualquier incidente, que permiten una respuesta rápida que evite o minimice los problemas derivados de este incidente, garantizando los flujos de tráfico y la seguridad de los usuarios de la carretera. Los **objetivos principales** de estos planes son:

1. Establecer las distintas actuaciones que permitan garantizar la vialidad en el máximo número de tramos de carretera, en todas las condiciones posibles.
2. Reducir al mínimo el número de tramos afectados por restricciones de tráfico o retenciones y su duración.
3. Generar las cadenas operativas destinadas a asegurar la adecuada información a usuarios y organismos involucrados.
4. Garantizar la atención a los conductores y ocupantes de los vehículos en carretera cuando las circunstancias lo hagan necesario.

Para obtener un elemento de juicio fiable que indique cuándo es necesario implementar un plan de gestión determinado, se utiliza el mapa continuo de tráfico, que consiste en una representación gráfica, a través de colores, de la velocidad y el nivel de ocupación, datos que se han obtenido a través de los detectores en campo, y que pueden indicar una alarma cuando el nivel de servicio desciende por debajo de un umbral determinado.

5. ITINERARIOS ALTERNATIVOS.

El Reglamento General de Circulación, establece en su artículo 37 lo siguiente:

Artículo 37. Ordenación especial del tráfico por razones de seguridad o fluidez de la circulación.

1. *Cuando razones de seguridad o fluidez de la circulación lo aconsejen, podrá ordenarse por la autoridad competente otro sentido de circulación, la prohibición total o parcial de acceso a partes de la vía, bien con carácter general, bien para determinados vehículos o usuarios, el cierre de determinadas vías, el seguimiento obligatorio de itinerarios concretos, o la utilización de arcenes o carriles en sentido opuesto al normalmente previsto (artículo 16.1 del texto articulado).*

2. *Para evitar entorpecimiento a la circulación y garantizar la fluidez de la misma, se podrán imponer restricciones o limitaciones a determinados vehículos y para vías concretas, que serán obligatorias para los usuarios afectados (artículo 16.2 del texto articulado).*
3. *El cierre a la circulación de una vía objeto de la legislación sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial sólo se realizará con carácter excepcional y deberá ser expresamente autorizado por el organismo autónomo Jefatura Central de Tráfico o, en su caso, por la autoridad autonómica o local responsable de la regulación del tráfico, salvo que esté motivada por deficiencias físicas de la infraestructura o por la realización de obras en ésta; en tal caso la autorización corresponderá al titular de la vía, y deberá contemplarse, siempre que sea posible, la habilitación de un itinerario alternativo y su señalización. El cierre y la apertura al tráfico habrá de ser ejecutado, en todo caso, por los agentes de la autoridad responsable de la vigilancia y disciplina del tráfico o del personal dependiente del organismo titular de la vía responsable de la explotación de ésta. Las autoridades competentes a que se ha hecho referencia para autorizar el cierre a la circulación de una carretera se comunicarán los cierres que hayan acordado.*
4. *El organismo autónomo Jefatura Central de Tráfico o, en su caso, la autoridad autonómica o local responsable de la regulación del tráfico, así como los organismos titulares de las vías, podrán imponer restricciones o limitaciones a la circulación por razones de seguridad vial o fluidez del tráfico, a petición del titular de la vía o de otras entidades, como las sociedades concesionarias de autopistas de peaje, y quedará obligado el peticionario a la señalización del correspondiente itinerario alternativo fijado por la autoridad de tráfico, en todo su recorrido.*
5. *Los supuestos de circulación en sentido contrario al estipulado tendrán la consideración de falta muy grave conforme a lo establecido en el artículo 65.5.f) del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial.*

La circulación sin la correspondiente autorización por vías sujetas a restricciones o limitaciones impuestas por razones de seguridad vial o fluidez del tráfico será sancionada con arreglo a lo establecido en el artículo 67.2 del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial.

Itinerarios Alternativos.

Se trata de una medida para actuar sobre itinerarios congestionados, mediante el redireccionamiento de los vehículos por otros itinerarios con menor intensidad circulatoria.

Su utilización es voluntaria, y se informa a los usuarios de la posibilidad de su utilización, fundamentalmente, a través de los medios de comunicación, y paneles de mensaje variable. Su uso, en proporción con el tráfico del itinerario principal, es bajo, en general, siendo realizado principalmente por conductores habituales.

Por ejemplo, en el caso de la Operación Especial de Semana Santa, en la que se produce un desplazamiento masivo de vehículos desde Madrid hasta Valencia por la

carretera A-3, si esta vía sufre problemas de congestión por la afluencia masiva de vehículos, se puede recomendar a los usuarios realizar este trayecto por:

- 1^{er} Itinerario: Madrid – Madridejos – Valencia:

Madrid por A-4 (hasta p.k. 120 Madridejos) donde se enlaza con la autovía CM-42 hasta Tomelloso para tomar la A-43 a Atalaya de Cañavate, donde se coge la A-3 hasta Valencia.

- 2^o Itinerario: Madrid – Toledo – Valencia (norte):

Madrid – Toledo, por A-42 / AP-41, para en la circunvalación de Toledo coger la autovía CM-42 a Madridejos – Tomelloso, donde se coge la autovía A-43 a Atalaya de Cañavate y por A-3 a Valencia.

- 3^{er} Itinerario: Madrid – Valencia por autopista de peaje:

Madrid por la autopista de peaje R-4 (hasta el p.k. 51) o por la A-4 (hasta el p.k. 66) ambas en Ocaña, donde se enlaza con la AP-36 hasta el p.k. 122 (cruce de San Clemente) donde se sigue por la autovía A-43 a Atalaya de Cañavate, y desde aquí se toma la A-3 hasta Valencia.

Este tipo de itinerarios se difunden a través de los medios de comunicación, en la atención telefónica personalizada que se realiza desde los Centros de Gestión de Tráfico y a través de los paneles de mensaje variable.

Itinerarios de Desvío.

Los itinerarios de desvío se encuentran recogidos en los artículos 37 y 39 del Reglamento General de Circulación.

Artículo 39. Ordenación especial del tráfico por razones de seguridad o fluidez de la circulación.

- 1. Con sujeción a lo dispuesto en los apartados siguientes, se podrán establecer limitaciones de circulación, temporales o permanentes, en las vías objeto de la legislación sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, cuando así lo exijan las condiciones de seguridad o fluidez de la circulación.*
- 2. En determinados itinerarios, o en partes o tramos de ellos comprendidos dentro de las vías públicas interurbanas, así como en tramos urbanos, incluso travesías, se podrán establecer restricciones temporales o permanentes a la circulación de camiones con masa máxima autorizada superior a 3.500 kilogramos, furgones, conjuntos de vehículos, vehículos articulados y vehículos especiales, así como a vehículos en general que no alcancen o no les esté permitido alcanzar la velocidad mínima que pudiera fijarse, cuando, por razón de festividades, vacaciones estacionales o desplazamientos masivos de vehículos, se prevean elevadas intensidades de tráfico, o cuando las condiciones en que ordinariamente se desarrolle aquél lo hagan necesario o conveniente.*

Asimismo por razones de seguridad podrán establecerse restricciones temporales o permanentes a la circulación de vehículos en los que su propia peligrosidad o la de su carga aconsejen su alejamiento de núcleos urbanos, de

zonas ambientalmente sensibles o de tramos singulares como puentes o túneles, o su tránsito fuera de horas de gran intensidad de circulación.

3. *Corresponde establecer las aludidas restricciones al organismo autónomo Jefatura Central de Tráfico o, en su caso, a la autoridad de tráfico de la comunidad autónoma que tenga transferida la ejecución de la referida competencia.*
4. *Las restricciones serán publicadas, en todo caso, con una antelación mínima de ocho días hábiles en el «Boletín Oficial del Estado» y, facultativamente, en los diarios oficiales de las comunidades autónomas citadas en el apartado anterior.*

En casos imprevistos o por circunstancias excepcionales, cuando se estime necesario para lograr una mayor fluidez o seguridad de la circulación, serán los agentes de la autoridad responsable de la vigilancia y disciplina del tráfico los que, durante el tiempo necesario, determinen las restricciones mediante la adopción de las medidas oportunas.

5. *En caso de reconocida urgencia podrán concederse autorizaciones especiales para la circulación de vehículos dentro de los itinerarios y plazos objeto de las restricciones impuestas conforme a lo establecido en los apartados anteriores, previa justificación de la necesidad ineludible de efectuar el desplazamiento por esos itinerarios y en los períodos objeto de restricción.*

En estas autorizaciones especiales se hará constar la matrícula y características principales del vehículo a que se refieran, mercancía transportada, vías a las que afecta y las condiciones a que en cada caso deben sujetarse.

6. *Corresponde otorgar las autorizaciones a que se refiere el apartado anterior a la autoridad que estableció las restricciones.*
7. *Las restricciones a la circulación reguladas en este artículo son independientes y no excluyen las que establezcan otras autoridades con arreglo a sus específicas competencias.*
8. *Los supuestos de circulación en vías restringidas sin la autorización contemplada en el apartado 5 tendrán la consideración de infracción, que se sancionará conforme prevé el artículo 67.2 del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial.*

Coinciden en la mayoría de los casos con los itinerarios alternativos, pero su utilización se hace obligatoria por las fuerzas de vigilancia de la carretera, cuando se superan ciertos umbrales en la longitud de la congestión existente en la vía principal, en las demoras que padecen los usuarios o cuando se produce un bloqueo de ésta por cualquier causa. Se pueden aplicar a una clase determinada de vehículos, o a todos ellos.

Si por ejemplo, ocurre un accidente en la autovía A-4 y queda cortada en sentido Madrid a la altura del p.k. 355+000, se habilitará un itinerario de desvío (obligatorio), por la salida de la autovía anterior al accidente desviando la circulación por la vía de

servicio adyacente hasta sobrepasar el punto donde ha ocurrido el accidente y retornando a la calzada principal por la salida siguiente a este punto.

6. CONTROL DE RAMPAS.

a. Descripción y justificación.

El “**Ramp Metering**”, en adelante **Control de Accesos a Vías de Alta Capacidad - CAVAC-**, no es una técnica nueva. Ya en los años 60 se instalaron sistemas de este tipo en Estados Unidos, en Chicago, Detroit y Los Ángeles. A principio de los 90, esta modalidad de control de accesos estaba implantada en más de treinta áreas metropolitanas americanas, europeas y asiáticas.

En situaciones de tráfico muy denso en una vía de alta capacidad -autopista, autovía- cualquier incidente producido en la incorporación de los vehículos desde un acceso hasta la vía principal, por mínimo que sea, puede dar lugar, al colapso de ambos. Para evitar estos incidentes aparecen las medidas de control en las incorporaciones a la vía principal, dosificando el número de vehículos que acceden a la misma, conociendo en cada momento la capacidad, la velocidad y la intensidad en la zona.

Las **retenciones en una vía de alta capacidad** se producen, principalmente, por los siguientes motivos: incidentes, accidentes, retenciones debidas a la incorporación de vehículos desde un acceso, cuellos de botella en la infraestructura, exceso de demanda de entrada en la vía principal respecto a la oferta, perturbaciones en el flujo de la vía principal producidos por la demanda de paso de vehículos agrupados en la circulación de los accesos. Al regular los accesos a la vía principal se favorece la eliminación, o al menos la reducción, de los problemas debidos a cuellos de botella existentes, excesos de demanda y problemas por incorporaciones en grupo en los accesos a la vía principal.

Un sistema CAVAC está formado por distintos subsistemas, que, en la mayoría de los casos pertenecen a un sistema de gestión que regula un área más amplia. Entre estos **subsistemas** se encuentra:

- **Señales y Controladores.**

Las señales suelen instalarse a la izquierda de los conductores o en los dos lados del acceso y pueden controlarse desde un puesto de control en las cercanías, hasta donde llegan también los datos de los detectores electromagnéticos.

El controlador de la señal está programado con un algoritmo que controla la frecuencia de entrada y paso al acceso.

- **Señal de aviso previo (Advance Warning Signage).**

Se recomienda instalar dos señales de aviso previos en el acceso que indiquen que el paso a la vía principal se encuentra abierto.

Los mensajes pueden mostrarse de manera destellante para captar la atención del conductor.

- **Detector de entrada (Check-in detector).**

Es el detector que mide la demanda de entrada, y se encuentra situado “aguas arriba” (antes) de la línea de entrada del acceso. Su misión es constatar que un vehículo se aproxima a este punto y activar el ciclo de verde. Con frecuencia se utilizan dos o más detectores por carril para evitar aquellas situaciones en las que un vehículo se queda parado justo antes del detector y no se recoge este incidente en el controlador, que activaría el ciclo verde.

- **Detector de salida (Check-out detector).**

Los detectores de salida o detectores de paso se instalan “aguas abajo” (después) de la entrada del acceso.

Sirve para controlar que un vehículo ya ha pasado por este punto, y que ya puede retornarse al ciclo rojo en el acceso. Con esta configuración, el ciclo verde comprendería el paso de un único vehículo, aunque puede adoptarse un sistema de control de accesos a la vía principal en que se permita la incorporación de dos o más vehículos.

- **Detector de incorporación (Merge detector).**

Se trata de un componente opcional que monitoriza la presencia de vehículos en el área de incorporación primaria del acceso.

Para evitar retenciones en esta área, el controlador mantiene una indicación en rojo si el indicador de incorporación capta un vehículo en esta área. Esto evita que los vehículos tengan que incorporarse a la vía principal desde una situación de reposo, ya que necesitarían una distancia de aceleración adicional en la vía principal, incidiendo negativamente en la velocidad de los vehículos que ya se encuentran en esta vía. Esta situación se produciría cuando un conductor duda, provocando el alcance de los vehículos que le siguen. Si esto ocurre en el caso de una entrada individual al flujo principal, los ciclos de verde siguientes se paralizan hasta que el vehículo se incorpora, dándole prioridad.

- **Detector de cola (Queue detector).**

Se sitúa en el acceso, antes del detector de entrada. Este detector evita que la cola de retención llegue hasta el área de origen de los vehículos, en la mayoría de los casos una retícula urbana.

La detección continuada de vehículos en este punto sin la detección en el detector de entrada, indicará que el primer vehículo retenido ha parado justo después del detector de entrada, y la señal de acceso debería pasar a verde para permitir a este vehículo su incorporación. Una vez que la cola en el acceso alcanza al detector de colas y la retención comienza a extenderse en el área urbana, la duración del tiempo de acceso se reduce o se limita.

- **Detectores principales (Mainline detectors).**

Se localizan en la vía principal, aguas arriba y aguas abajo de la localización del acceso.

Para aplicaciones aisladas de control de acceso, sólo la ocupación/intensidad registrada por los detectores aguas arriba influye en el ratio del CAVAC si el acceso se ajusta, de acuerdo con las condiciones del tráfico. Para los sistemas de CAVAC los datos que proceden de los detectores aguas arriba y aguas abajo influyen en el ratio de acceso.

Para instalar estas medidas de gestión, los **accesos** deben presentar características adecuadas, en cuanto a una capacidad suficiente para el almacenamiento de vehículos, una distancia mínima de aceleración e incorporación aguas abajo. Los condicionantes para el almacenamiento de los vehículos pueden deducirse del tiempo de acceso proyectado (cuántos vehículos pasarán cada vez que se inicie un ciclo verde) y de la demanda de acceso, de manera que se evite la llegada de las colas de retención a la red de las carreteras de la zona de origen de los vehículos.

El **tiempo de acceso del tráfico a la vía principal** depende del objetivo marcado para el sistema de CAVAC. Si se pretende reducir o eliminar la retención en la vía principal, el acceso a la vía principal estará condicionado por la demanda en la vía primaria antes de la incorporación, la capacidad después de la incorporación y la demanda en el ramal de acceso. Si la demanda de paso en la vía principal antes del acceso y la demanda de entrada desde el acceso son superiores a la capacidad de la vía principal, los parámetros del CAVAC se ajustan de manera que se reduce el tráfico desde el acceso y no se sobrepasa la capacidad aguas debajo de esta incorporación. Si el objetivo del sistema CAVAC es facilitar una incorporación suave desde el acceso, los parámetros de control se ajustarán para separar los vehículos que circulan agrupados y se realice una incorporación individualizada.

Cuando una vía de alta capacidad se encuentra operando cerca del nivel de congestión, se pueden incorporar uno o dos vehículos a la vez. Un grupo mayor de vehículos creará una discontinuidad en el acceso, y por tanto contribuirá al colapso de la vía principal. Si se logra dispersar estos grupos de vehículos, su inserción individualizada en el tráfico principal será progresiva y podrá asumirse sin llegar al colapso.

Los sistemas CAVAC más sofisticados introducen los datos recogidos por los detectores en un algoritmo de cálculo que determina la “**frecuencia de acceso**”. Los datos recogidos en la vía principal son la intensidad o el nivel de ocupación. Se suele emplear la ocupación porque su valor se puede determinar directamente por los detectores y porque está directamente relacionada con la densidad de tráfico.

Asimismo, los valores de ocupación son unívocos para un determinado estado del tráfico, mientras que para la intensidad un valor puede corresponder a una situación estable sin congestión o a una inestable, congestionada.

Al calcular los tiempos de paso y operación del sistema se ha de tener en cuenta los tiempos de respuesta del conductor y sus limitaciones, evitando tiempos muy bajos o muy altos, o encendidos y apagados muy bruscos, recomendando tiempos entre 4 y 15 segundos. Menos de 2 segundos no permiten reaccionar de forma adecuada a un conductor medio, y más de 15 segundos de tiempo del ciclo rojo supera el umbral de espera máximo de los conductores y se incrementan las infracciones. Los umbrales mínimos y máximos se encuentran entre los 240 y los 900 vehículos por minuto respectivamente. No debe aplicarse el nivel mínimo para las colas de vehículos que pretenden incorporarse que exceden la capacidad de almacenamiento del acceso.

Los esquemas más convencionales se basan en un conjunto limitado de ciclos, basados en las condiciones del tráfico local.

El tamaño y la complejidad de un sistema CAVAC debe recoger las condiciones de partida del tráfico y las mejoras que se desean introducir. Las estrategias del control de accesos pueden basarse en ciclos fijos, calculados en base a las condiciones recogidas en el pasado -series históricas-, basados en datos obtenidos en tiempo real, o basados en modelos de previsión de demanda.

Estas estrategias pueden aplicarse a las condiciones locales o a la totalidad del sistema, resultando las siguientes **categorías**:

1. Ciclo Fijo.

Se trata del sistema de operación más simple, que disgrega los grupos de vehículos permitiendo la entrada de un único vehículo en cada tiempo de verde. Este planteamiento se utiliza cuando las condiciones del tráfico son predecibles.

El ciclo se fija a partir de los valores medios de los valores históricos almacenados. Esta estrategia puede presentar ventajas en cuanto a la disminución de los accidentes producidos al incorporarse los vehículos, pero es menos efectivo a la hora de regular las condiciones en la vía principal y acceso, ya que al establecer un tiempo de operación fijo, si la retención se disipa antes de lo previsto, se imponen retrasos innecesarios a los vehículos que acceden, porque ya no existe retención.

2. Operativo según las condiciones del tráfico local.

Se basa en las condiciones del tráfico existente en la zona cercana a la incorporación. Los controladores y el algoritmo de cálculo seleccionan los ciclos apropiados a partir de los datos instantáneos de intensidad y ocupación en la vía principal y en el acceso. Se adaptan mejor a las condiciones de tráfico imprevistas. Este sistema requiere la instalación de detectores en la vía principal aguas arriba de la incorporación.

El principal inconveniente de este sistema es que el algoritmo presenta una cierta inercia, y los ajustes de entrada se introducen una vez que ya se ha producido la retención en la vía principal. Para obviar esta dificultad se está trabajando en algoritmos de predicción, que anticipan la solución de los problemas antes de que ocurran.

3. Operativo según las condiciones de tráfico del área.

Este sistema tiene en cuenta el resto de medidas de gestión aplicadas en la zona, como otros sistemas de control de accesos, etc.

Precisa de un sistema de control centralizado de manera que los ciclos de un acceso se calculan teniendo en cuenta el funcionamiento de otros accesos adyacentes. Asimismo, en el caso de retenciones recurrentes, este sistema permite también gestionar incidentes en la vía principal, con acceso más restrictivo aguas arriba del incidente y menos restrictivo aguas abajo.

El control se realiza remotamente desde un sistema centralizado, y para un correcto funcionamiento se precisa detectores aguas arriba del acceso y aguas abajo, y un sistema de comunicaciones hasta el Centro de Control.

Al considerar datos de tráfico (intensidad y ocupación) en “tiempo real” se entiende que son los datos recogidos, en la vía principal, en el último minuto, y no en ese preciso instante. El ratio de entrada a la vía principal se obtendrá por la diferencia entre la intensidad aguas arriba medida en los detectores en el minuto previo y la capacidad aguas abajo.

La viabilidad de la instalación de un sistema CAVAC depende de las características físicas de los accesos, el problema operativo, los beneficios potenciales al instalar este sistema, aceptación pública de esta instalación, etc.

b. Funcionamiento.

Una instalación para el control de accesos a vías de alta capacidad opera en 2 fases:

- la determinación del momento de la incorporación y de prohibición de acceso y
- el cálculo del ciclo.

El sistema de control mide la velocidad y la intensidad de los vehículos que circulan por la vía principal antes y después de la incorporación con los detectores instalados en la vía principal. Asimismo, se controla el tráfico en el acceso que demanda incorporarse a la vía principal.

El algoritmo de cálculo determina si es posible realizar o no la inserción de los vehículos en el tráfico principal. Cuando este acceso se permite, los vehículos pueden incorporarse al tráfico principal uno a uno (“on green one car”), lo que supone un período de verde de entre 4 y 15 segundos de duración.

Este sistema debe coordinarse con los restantes elementos de control y gestión del tráfico a 3 niveles:

- Coordinación de los elementos del CAVAC a nivel local, para obtener una adecuada incorporación a la vía principal.
- Coordinación con otras instalaciones de CAVAC sucesivas, para evitar afectar a los accesos situados aguas arriba.
- Coordinación con el sistema de gestión de tráfico del área, para modular oferta y demanda de tráfico de acuerdo con las circunstancias del resto de zonas gestionadas.

Este sistema puede combinarse con un carril destinado al transporte público o a vehículos de alta ocupación, ya que puede dotarse de preferencia a estos vehículos para realizar la incorporación a la vía principal sin llegar a detenerse.