2. Fuentes de obtención de datos

En el siguiente apartado se analizarán las fuentes de datos, que pueden proporcionar información sobre el tiempo de viaje, más extendidas en las redes viarias actuales y aquellas con mayor proyección de futuro.

Para ello, en primer término se definirán las formas de toma de datos por parte de las fuentes, en segundo lugar se clasificarán las clases de tiempos de viaje que pueden ser calculados y/o medidos, para finalmente analizar de forma más detallada cuales son las características de cada una de las fuentes.

2.1 Clasificación de la toma de datos

Las fuentes pueden ser clasificadas según la metodología que utilizan para obtener un dato. En el caso estudiado, se realizara en función de cómo obtengan el tiempo de viaje.

2.1.1 Inmediatez de la toma de datos

2.1.1.1 Toma de datos directa

Se definirá como directa, la toma de datos, cuando la fuente obtenga el dato estudiado sin utilizar algoritmos (El Faouzi y Simon 2000) que, partiendo de las variables fundamentales del tráfico (intensidad, velocidad, ocupación o densidad), obtengan un dato de estudio calculado. Es decir cuando obtenga el dato estudiado de forma experimental.

2.1.1.2 Toma de datos indirecta

La toma de datos será indirecta si se obtiene el dato estudiado a partir de la ejecución de un algoritmo (El Faouzi y Simon 2000), utilizando una o varias de las variables fundamentales del tráfico. Extrapolando, en general, los datos de un punto particular de la red a toda una sección de la misma.

Esta metodología esta basada en el hecho de que las variables fundamentales del tráfico recogen la totalidad del proceso físico que realizan los vehículos en movimiento.

2.1.2 Exhaustividad de la toma de datos

2.1.2.1 Toma de datos quasi exhaustiva

La toma de datos será quasi exhaustiva, cuando su representatividad sea quasi total, es decir cuando el número de medidas tomadas coincida con el número de usuarios de ese tramo de la red (CENIT 2006).

2.1.2.2 Toma de datos no exhaustiva.

Se definirá, la toma de datos, como no exhaustiva cuando la fuente solo aporte datos de un número limitado de usuarios. Siempre se intentará que la muestra de usurarios tenga la mayor representatividad posible.

2.1.3 Intrusión de la toma de datos

2.1.3.1 Sensor intrusivo

Un sensor será intrusivo cuando la ubicación de este sea en el interior del paquete de firme o bien directamente sobre la calzada, es decir en contacto con el firme.

Por su situación, su instalación y mantenimiento son complejos y costosos por la obligada afectación sobre el tráfico de la vía. Además es más probable que los vehículos les causen daños.

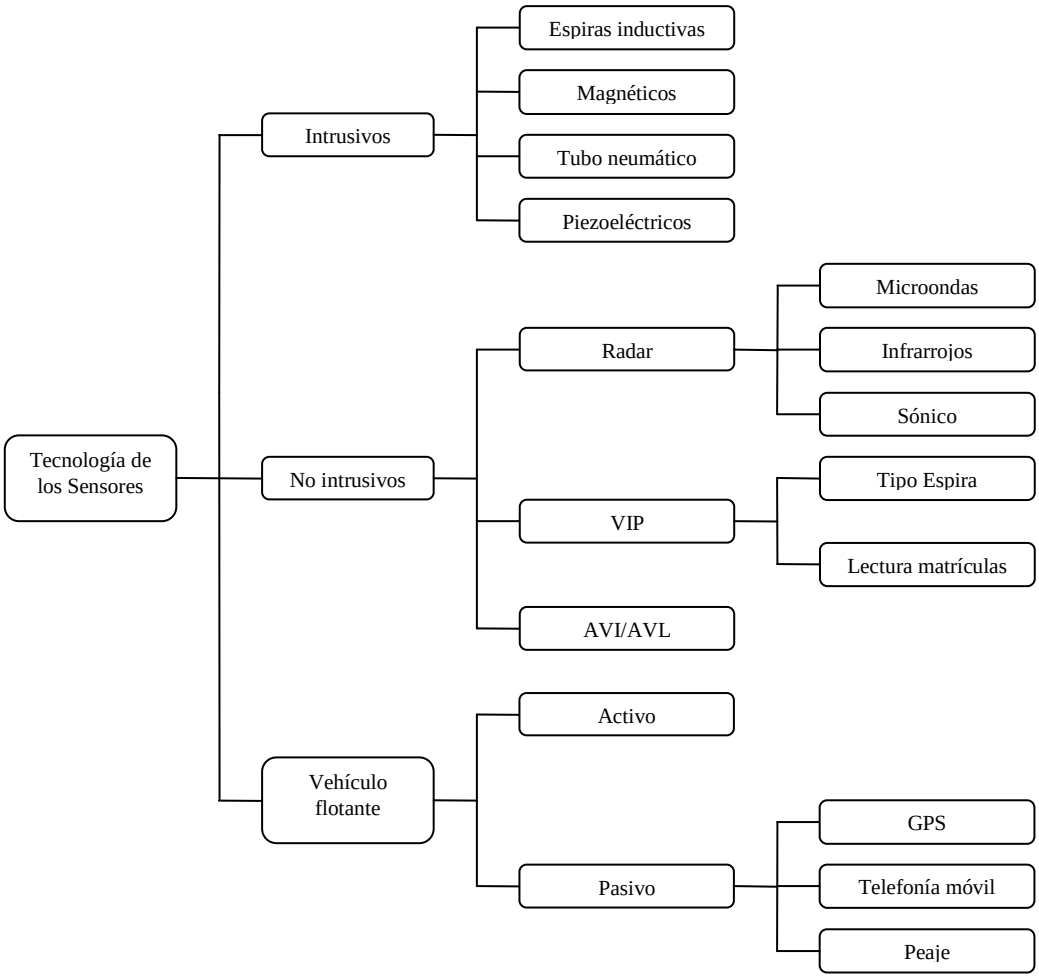

Figura 1: Intrusión de los sensores

2.1.3.2 Sensor no intrusivo

Pertenecerán a este grupo los sensores que se sitúen en posición cenital o latera respecto a la vía sin entrar en contacto con la calzada. Para su ubicación utilizan generalmente o infraestructuras existentes (puentes sobre la vía, pórticos de paneles de señalización o peajes), pórticos propios o postes.

Por su situación, su instalación y mantenimiento puede resultar más simple que en los sensores intrusitos.

2.1.3.3 Vehículo flotante

Son aquellos sensores en los que toda su infraestructura está contenida en un vehículo y en sistemas preexistentes (de comunicación y posicionamiento) que no afectan de forma directa la gestión de la vía.

2.2 Clasificación de los tiempos de viaje

A la hora de calcular o medir el tiempo de viaje, se puede proceder de diferentes maneras, obteniendo con cada uno de los métodos un tiempo de viaje que presenta características diferentes (CENIT 2006).

2.2.1 Tiempo de Viaje Instantáneo (TVI)

El TVI es un tiempo calculado (no medido) que se obtiene de forma indirecta mediante la aplicación de algoritmos sobre una o varias de las variables fundamentales del tráfico.

Cabe destacar que dicho tiempo de viaje si bien no representa la realidad de forma precisa, ya que extrapola los datos obtenidos en un corto tramo (menor a una centena de metros) a tramos de una longitud mucho mayor (a veces incluso de una decena de kilómetros) además de presentar errores intrínsecos a los algoritmos utilizados; tiene características que le permiten mayor capacidad de previsión que el TVR.

2.2.2 Tiempo de Viaje Reconstruido (TVR)

El TVR es el tiempo medido de forma directa de un vehículo que acaba de salir del tramo de estudio, siendo así un tiempo pasado.

Este tiempo de viaje representa generalmente de forma precisa lo ocurrido en el periodo de toma de datos, pero a diferencia del TVI no tiene una gran capacidad de previsión y si de representación de hechos ocurridos. Cabe matizar que si se cuenta con TVR con una alta frecuencia estos hechos representados serán muy similares a las previsiones que se debieran realizar.

2.2.3 Tiempo de Viaje Previsto (TVP)

El TVP es el tiempo estimado a partir de los TVI y TVR o directamente a partir de las diversas variables fundamentales del tráfico, y representa el tiempo que invertirá un usuario dependiendo del momento en el que entre en la red.

Este tiempo es el más interesante para usuarios y operadores, pero también el más difícil de obtener.

2.3 Clasificación de las fuentes

A continuación se realizará una descripción de algunos de los sensores considerados más interesantes para la obtención del tiempo de viaje en carretera para instalaciones de larga duración.

2.3.1 Espiras inductivas

Esta fuente de datos es la más extendida en la mayoría de las redes viarias del mundo para su gestión. Se caracterizan por ser quasi exhaustivas y por obtener el tiempo de viaje de forma indirecta (Klein 2001; Martin, Yugi y Wang 2003; Skesz 2001; US Department of Transportation 2006).

- **Datos**: Permiten detectar de forma directa y exhaustiva la clase de vehículos que están circulando (hasta 12 clases diferentes), la ocupación de la vía, la presencia de vehículos, el volumen de tráfico de y si se trata de espiras dobles, la velocidad puntual de los vehículos.

  Con estos datos se pueden obtener de forma indirecta el tiempo de viaje y en el caso de las espiras simples, la velocidad puntual.

- **Precisión y Fiabilidad**: Son sensores muy precisos prácticamente insensibles a al volumen de tráfico con errores inferiores al 5% para mediciones de volumen y del 10% para velocidad (en caso de espiras dobles) y clasificación. Por otra parte son moderadamente sensibles a condiciones ambientales como la calidad del firme y al calor.

  Pero son sensores poco fiables debido a su gran número de averías (de 0,13 a 0,29 averías por espira y año), afectando estas hasta al 50% de los sensores en un único año. En Chicago se encuentra el 10% de las espiras inoperativas cada día (Klein 2001). Si bien en caso de estar activa la fiabilidad de sus datos es alta.

  A pesar de ello aportan un alto grado de satisfacción a los operadores que los utilizan, según una encuesta realizada a departamentos de tráfico estadounidenses (Skesz 2001).

- **Instalación, calibrado y mantenimiento**: Su instalación es compleja y el calibrado sencillo. Las repetidas averías provocan altos gastos de mantenimiento y restricciones de tráfico dado su carácter intrusivo.

- **Coste**: A diferencia de los sensores no intrusivos, las espiras se caracterizan por un bajo coste unitario (o de adquisición) y un alto coste de mantenimiento. Dado que su vida útil es de 5 a 15 años con un coste de mantenimiento y operación anual de 400 a 600$ y que un par de espiras (Espira doble) tiene un coste de aproximadamente 900 a 2000$, dando un coste medio por año de vida útil de 746$, del cual dos terceras partes corresponden a gastos de mantenimiento y operaciones.

  Cabe destacar que como el sensor solo es capaz de monitorizar un único carril, su coste por carril se mantiene constante independientemente del número de estos.

  Así su coste medio anual para monitorizar una carretera estándar es de 1.510-2.750$ (Martin, Yugi y Wang 2003).

2.3.2 Vehículo flotante activo

Este dispositivo activo de toma de datos es, junto a las espiras inductivas, el más extendido entre los operadores de las redes viarias, utilizado especialmente para la recogida de tiempos de viaje y calibración de los algoritmos de las espiras.

Es un sistema de recolección de datos no exhaustivo y que obtiene el tiempo de viaje de forma directa (Turner et al. 1998).

- **Datos**: Toma de forma no exhaustiva y directa, a lo largo de todo el recorrido, tiempos de viaje y las velocidades del vehículo.

- **Precisión y Fiabilidad**: Ambos parámetros dependen del grado de automatización de la toma de datos (desde manual a vía GPS con apoyo de un sistema GIS) creciendo de forma conjunta.

- **Coste**: Al igual que la precisión y fiabilidad, éste dependerá también del grado de automatización del proceso. El coste unitario crecerá con el grado de automatización, de 1570-3150$ (Turner et al. 1998) un sistema manual, a 8100-9200$ (US Department of Transportation 2006) un sistema GPS-GIS.

  Los costes de mantenimiento y operación decrecerán con la automatización, aproximadamente 200-400$ (US Department of Transportation 2006) con un sistema GPS-GIS.

  El coste por dato será menor cuanto mayor sea la automatización

2.3.3 Identificación automática de vehículos (AVI)

Los sensores AVI son fuentes de datos no exhaustivas que identifican localizadores situados en los vehículos como por ejemplo los sistemas de pago sin parada. En Cataluña los más conocidos son los ViaT.

Existe un sistema similar denominado AVL (Localización automática de vehículos) donde es el vehículo el que identifica un localizador situado en la vía. Este sistema es más habitual en las flotas de transporte público, por ello, como se analiza el tiempo de viaje por carretera, el estudio se limitará a los sensores AVI (Turner et al. 1998) que permiten obtener de forma directa el tiempo de viaje de los vehículos entre dos arcos.

- **Datos**: Recogen de forma directa y no exhaustiva información sobre los tiempos de viaje e indirectos sobre la velocidad media espacial.

  La toma de datos puede presentar problemas legales relacionados con la privacidad.

- **Precisión y Fiabilidad**: Son sensores que gozan de gran precisión para la determinación de los tiempos de viaje. Su fiabilidad dependerá del número de averías, que suponen el 5,5% del tiempo (Science Applications Internacional Corporation) y de la penetración de los localizadores en el mercado, ya que una baja penetración no garantiza una buena representatividad de la muestra, así como de su distribución espacial.

  Por otra parte son poco sensibles a condiciones ambientales.

- **Instalación, calibrado y mantenimiento**: Su instalación y mantenimiento son costosos.

- **Coste**: Esta fuertemente condicionado por la infraestructura existente, ya que el posible aprovechamiento de soportes existentes, ahorra dicho cuantioso coste. También esta condicionado por la forma de distribución de los localizadores (coste unitario: 15$) como demuestra la experiencia de San Antonio, donde la distribución gratuita de los mismos supone el 28% del coste total del sistema (Science Applications Internacional Corporation).

  El coste unitario del sensor con su lector es de 11.500-50.000$ (Turner et al. 1998; Science Applications Internacional Corporation) que debería ser colocado cada 5 Km. aproximadamente.

Su vida útil es de 10 años y así el coste medio anual de explotación por pórtico (sin incluir el coste de los localizadores) es de 5.650$ (con una distancia media entre ellos de 3 Km., (Science Applications Internacional Corporation))

2.3.4 Radar

Estos dispositivos de toma de datos se caracterizan por su carácter no intrusito, así como por su situación sobre o junto a la vía, lo que facilita las operaciones de mantenimiento (Klein 2001).

Se pueden diferenciar tres clases básicas, según la tecnología con la que operan.

2.3.4.1 Microondas

Son los sensores tipo radar que cuentan con mayor presencia en la red española aunque generalmente su utilización tiene fines exclusivamente sancionadores.

Existen varias clases de radares microondas, los más usados son los que utilizan tecnología Doppler y FMCW (Frecuencia Modulada de Onda Continua) cuya diferencia básica es que los segundos son capaces de detectar objetos inmóviles (presencia) y su mayor coste.

Los estados de EE.UU. que disponen de estos sensores para monitorizar el tráfico los utilizan para obtener datos de volumen siendo su satisfacción media alta y apreciando problemas de precisión y coste.

- **Datos**: Recogen de forma directa y exhaustiva información sobre ocupación de la vía, velocidad, clasificación de vehículos y volumen de tráfico. En el caso de los FMCW detectan también presencia.

  Con estos datos se pueden obtener de forma indirecta el tiempo de viaje.

- **Precisión y Fiabilidad**: Son sensores de precisión media alta para las variables velocidad (error: 1-8%) y volumen (error: 2-14%) y media baja para la clasificación. Por otra parte son poco sensibles a condiciones ambientales, siendo insensibles a las inclemencias del tiempo. El factor que más les afecta son las interferencias electromagnéticas en caso de presencia de radares de gran potencia.

  En 1996 “Detection Technology for IVHS” lo recomendó como el mejor sensor para la medición de volúmenes y velocidades especialmente en climas adversos.

- **Instalación, calibrado y mantenimiento**: Su instalación y calibrado son sencillos y requiere de un mantenimiento reducido.

- **Coste**: El coste unitario del sensor es bajo para los Doppler, de 735-1.200$ (2001 [4]), y medio bajo para los FMCW, de 1.600-3.000$ (Klein 2001). Su mantenimiento anual tiene un coste de aproximadamente 100$, siendo su vida útil de 5-10 años. Así su coste medio anual para monitorizar una carretera standard es de 510-2.230$ por año (Martin, Feng y Wang 2003) en (Skesz 2001) para 6 carriles se obtiene un coste medio anual de 314$ por carril.

  Cabe destacar que el coste por carril monitorizado decrecerá con el aumento de estos, ya que es un sistema que puede monitorizar diversos carriles con una única unidad.

2.3.4.2 Infrarrojos

Son sensores ubicados sobre o junto la vía que pueden ser clasificados en dos grupos. Los pasivos detectan cambios en la energía infrarroja emitida por el medio mientras los activos emiten una señal láser de la cual será medido su tiempo de viaje.

- **Datos**: Miden de forma directa y exhaustiva la velocidad de los vehículos, su clasificación y el volumen de tráfico. El sensor pasivo puede detectar a su vez la ocupación de la vía y la presencia.

  Con estos datos se pueden obtener de forma indirecta el tiempo de viaje.

- **Precisión y Fiabilidad**: El sensor activo es muy preciso en la determinación del volumen (error: 0,7-2,4%) y clasificación mientras su precisión es media para la velocidad (error: 5,8%). El pasivo tiene un precisión media al determinar el volumen (error: 1-10%) y baja con la velocidad (error: 10,8%) y la clasificación.

  Su sensibilidad a las condiciones ambientales es media en el caso del sensor activo y baja para el pasivo, siendo el factor que más les afecta la nieve, lluvia y niebla.

  En 1996 "Detection Technology for IVHS" afirma que sin ser el mejor sensor para la determinación de volumen y velocidad puede ser adecuada su aplicación para meteorología inclemente.

- **Instalación, calibrado y mantenimiento**: Su instalación y calibrado son sencillos y requiere de un mantenimiento reducido.

- **Coste**: El coste unitario del sensor es bajo para los pasivos, de 700-1.600$, y medio alto para los activos, de 6.000-7.500$ (Martin, Feng y Wang 2003; US Department of Transportation 2006). Su mantenimiento anual tiene un coste de aproximadamente 200-400$, siendo su vida útil de 5-10 años. Así el coste medio anual para un sistema que monitorice una carretera es de 7.130$ por año para el sensor activo y de 1.500-2.230$ para el pasivo (Martin, Feng y Wang 2003).

  Cabe destacar que el coste por carril monitorizado decrecerá con el aumento de estos, ya que es un sistema que puede monitorizar diversos carriles con una única unidad.

2.3.4.3 Sónicos

Obtiene información acerca de la ocupación y de la intensidad.

Presenta problemas cuando ha de tomar datos en condiciones climatológicas adversas.

Son sensores ubicados sobre o junto la vía que pueden ser clasificados en dos grupos. Los pasivos acústicos detectan cambios a niveles audibles y los ultrasónicos (activos) emiten una señal no audible de la cual será medida la porción que retorna.

- **Datos**: Miden de forma directa y exhaustiva la velocidad de los vehículos, su clasificación y presencia y el volumen de tráfico. El sensor pasivo puede detectar a su vez la ocupación de la vía.

  Con estos datos se pueden obtener de forma indirecta el tiempo de viaje.

- **Precisión y Fiabilidad**: El sensor ultrasónico es muy preciso en la determinación del volumen (error: 1,2-2%) y poco preciso al definir velocidad y clasificación. El pasivo acústico tiene un precisión media alta al determinar la velocidad (error: 3,4-6,3%) y media con el volumen (error: 4-16%) mientras su precisión al clasificar es baja.

  Su sensibilidad a las condiciones ambientales es baja para el ultrasónico, siendo sensible al ruido (audible o no) y alta en el caso del acústico pasivo que es sensible a las bajas temperaturas y al ruido.

- **Instalación, calibrado y mantenimiento**: Su instalación y calibrado son sencillos y requiere de un mantenimiento reducido.

- **Coste**: El coste unitario del sensor es bajo para los ultrasónicos, 475$ (Martin, Feng y Wang 2003), y de medio a alto para los pasivos acústicos, de 3.500-8.000$ (Martin, Feng y Wang 2003; US Department of Transportation 2006). Su mantenimiento anual tiene un coste de aproximadamente 200-400$, siendo su vida útil de 5-10 años. Así el coste medio anual para un sistema acústico pasivo que monitorice una carretera es de 1.700$ por año (Martin, Feng y Wang 2003) según Skesz el coste por carril y año es de 480$ para el pasivo (Skesz 2001).

  Cabe destacar que el coste por carril monitorizado decrecerá ligeramente con el aumento de estos, ya que es un sistema que puede monitorizar diversos carriles con una única unidad.

2.3.5 Procesamiento de Imágenes de Vídeo (VIP)

En este apartado se analizarán los sistemas de Procesamiento de Imágenes de Video como fuente de tiempos de viaje. Solo se consideraran los sistemas automatizados ya que son los únicos capaces de ofrecer tiempos de viaje en tiempo real. Se consideraran dos subtipos.

2.3.5.1 Tipo Espira

Estos sistemas de procesamiento de imágenes permiten identificar los vehículos presentes de forma análoga a las espiras inductivas, usando para ello su imagen en vez de su campo electromagnético (Klein 2001; Martin, Feng y Wang 2003; Skesz 2001)

- **Datos**: Detecta de forma exhaustiva la presencia y clase de vehículos, la ocupación de la vía, el volumen de tráfico y la velocidad.

- **Precisión y Fiabilidad**: Es un sensor preciso con errores del 1-8% en la determinación de la velocidad, 2-5% para el volumen y del 2-4% en la ocupación, siendo poco preciso en la clasificación. Estos errores se deben en la mayor parte de los casos a la presencia de vehículos en carriles adyacentes y a las afectaciones ambientales, ya que es sensible a la visibilidad reducida por lluvia o nevada intensa, al viento por movimiento de la cámara, a las bajas temperaturas por la aparición de vaho en la lente y al deslumbramiento.

  Todos estos factores provocan que su fiabilidad sea reducida en condiciones climatológicas adversas y alta en condiciones normales.

- **Instalación, calibrado y mantenimiento**: La complejidad de la instalación dependerá del suministrador elegido, siendo desde muy compleja a simple. Su calibrado es relativamente sencillo

- **Coste**: El coste unitario es elevado y a la vez muy variable dependiendo del modelo elegido va desde 4.900$ a 50.000$. Siendo su mantenimiento muy reducido (aproximadamente 200$ por año y cámara). Su coste medio por unidad y año es de 1500-1900$.

  Cabe destacar que el coste por carril monitorizado decrecerá con el aumento de estos, ya que el elemento de mayor coste el software y tratamiento de datos y además es un sistema que puede monitorizar diversos carriles con una única unidad.

Sensor	**Nº total de carriles monitorizados en carretera**			
	6	**8**	**10**	**12**
Espira inductiva	746 $	746 $	746 $	746 $
VIP	580 $	604 $	483 $	402 $
Radar Microondas	314 $	236 $	189 $	157 $
Radar Acústico pasivo	486 $	448 $	467 $	476 $

Tabla 1: Coste medio de un sensor por año y carril. Fuente: Skesz 2001

2.3.5.2 Lectura de matrículas

Estos sistemas de procesamiento de imágenes permiten identificar la matricula de los vehículos presentes en la red de forma no exhaustiva. A diferencia de los VIP permite obtener el tiempo de viaje de los usuarios entre dos puntos de forma directa (Klein 2001; Turner et al. 1998; Martin, Feng y Wang 2003; Skesz 2001).

- **Datos**: De forma no exhaustiva aporta datos directos de tiempos de viaje e indirectos de volumen y velocidad media espacial.

- **Precisión y Fiabilidad**: El sensor es preciso en la determinación de tiempos de viaje pero poco preciso en el cálculo del volumen. Estos errores se deben en la mayor parte de los casos a las afectaciones ambientales, ya que es sensible a la visibilidad reducida por lluvia o nevada intensa, al viento por movimiento de la cámara, a las bajas temperaturas por la aparición de vaho en la lente y al deslumbramiento.

  Todos estos factores provocan que su fiabilidad sea reducida en condiciones climatológicas adversas y alta en condiciones normales.

- **Instalación, calibrado y mantenimiento**: La complejidad de la instalación dependerá del suministrador elegido, siendo desde muy compleja a simple. Su calibrado es relativamente sencillo

- **Coste**: El coste unitario es elevado y a la vez muy variable dependiendo del modelo elegido va desde 42.000$ a 64.000$ (Turner et al. 1998). Siendo su mantenimiento muy reducido (aproximadamente 200$ por año y cámara). Su vida útil es de aproximadamente 10 años.

  Cabe destacar que el coste por carril monitorizado decrecerá con el aumento de estos, ya que el elemento de mayor coste el software y tratamiento de datos y además es un sistema que puede monitorizar diversos carriles con una única unidad.

2.3.6 Sensores no específicos

En este grupo están incluidas todas aquellas fuentes de datos cuya infraestructura no haya sido expresamente pensada para la obtención de información acerca del estado de la red viaria**.** Si bien su utilización como fuente de tiempos de viaje requerirá una inversión en el sistema de aprovechamiento de dichos datos.

Son sensores generalmente no exhaustivos que obtienen el tiempo de viaje de forma directa.

2.3.6.1 GPS

Mediante la infraestructura militar original, mejorada para el uso naval, y posteriormente viario, se puede localizar la posición de un vehículo en la red, permitiendo así obtener el tiempo de viaje entre dos puntos.

La implementación de este sensor como fuente de tiempos de viaje, requiere la instalación de un dispositivo receptor de señal GPS ubicado en los vehículos, así como de un software capaz de analizar los datos.

Tiene una alta fiabilidad, si bien comporta la gestión de un gran volumen de datos.

Este sistema es no exhaustivo y obtiene el tiempo de viaje de forma directa.

- **Datos**: Recogen de forma directa y no exhaustiva información sobre los tiempos de viaje e indirectos sobre la velocidad media espacial.

  La toma de datos puede presentar problemas legales relacionados con la privacidad.

- **Precisión y Fiabilidad**: Son sensores que gozan de gran precisión para la determinación de los tiempos de viaje, gracias al DGPS (GPS diferencial) utilizado por todos los navegadores actuales. Su fiabilidad dependerá de la cobertura de los satélites (limitada en zonas urbanas y túneles) y de la penetración de los receptores en el mercado, ya que una baja penetración no garantiza una buena representatividad de la muestra.

  Por otra parte son insensibles a condiciones ambientales.

- **Instalación, calibrado y mantenimiento**: La instalación y mantenimiento, tanto del receptor como del sistema de satélites no serán tenidos en cuenta porque nunca serán asumidos por el operador de la red viaria.

- **Coste**: El coste del sistema estará asociado al procesamiento del gran volumen de datos que se tendrán a disposición

El coste del receptor, que correrá a cuenta del usuario dado su interés en el navegador, es de 510-2.038$ (US Department of Transportation. 2006)

2.3.6.2 Telefonía móvil

Mediante la infraestructura de la telefonía móvil se puede localizar la posición de un usuario en la red, permitiendo así obtener el tiempo de viaje entre dos puntos.

Este sistema esta siendo estudiado por muchos investigadores y es sujeto de pruebas piloto en España, otros países de la UE y EE.UU.

- **Datos**: Recogen de forma directa y no exhaustiva información sobre los tiempos de viaje e indirectos sobre la velocidad media espacial.

  La toma de datos puede presentar problemas legales relacionados con la privacidad.

- **Precisión y Fiabilidad**: Son sensores que gozan de una precisión media baja para la determinación de los tiempos de viaje.

  La localización del terminal encendido se puede realizar mediante identificación de la célula, tiempo diferencial de llegada o GPS asociado al teléfono móvil. Su precisión es mayor en las zonas urbanas que en las rurales (al contrario que el GPS). En zona urbana va desde los 40 a 50 metros y en rural desde los 125 metros a los 50 km. dependiendo del método analizado. Estas imprecisiones pueden provocar ubicaciones en vías erróneas (Martínez 2003).

  La fiabilidad dependerá de la penetración de los receptores en el mercado, ya que una baja penetración no garantiza una buena representatividad de la muestra.

  Por otra parte son insensibles a condiciones ambientales.

- **Instalación, calibrado y mantenimiento**: La instalación y mantenimiento, tanto del receptor como del sistema de satélites no serán tenidos en cuenta porque nunca serán asumidos por el operador de la red viaria.

- **Coste**: El coste del sistema estará asociado al procesamiento del gran volumen de datos que se tendrán a disposición

2.3.6.3 Peajes

Mediante la infraestructura implantada en los peajes de las autopistas para el pago se pueden tomar datos de tiempos de viaje.

Existen dos clases de peajes. Los peajes abiertos son aquellos en los que solo se controla el paso del vehículo por ese punto, pagando un precio fijo con indiferencia del número de kilómetros realizados. Para su monitorización se utiliza un sistema AVI o la localización de la tarjeta bancaria, hecho que puede acarrear problemas de tipo legal.

Los peajes cerrados controlan, mediante el suministro de un ticket de control, la entrada y salida del vehículo en la infraestructura, pagando así en función del trayecto realizado. Para monitorizar estos vehículos se utilizan dichos tickets.

- **Datos**: Recogen de forma directa información sobre los tiempos de viaje e indirectos sobre la velocidad media espacial. El peaje cerrado recoge también

datos del volumen. Estos datos serán quasi exhaustivos en el caso del peaje cerrado y no exhaustivo en el del abierto.

La toma de datos puede presentar problemas legales relacionados con la privacidad.

- **Precisión y Fiabilidad**: La precisión dependerá de la sincronización de los relojes. La fiabilidad dependerá del volumen de vehículos que circulen por el peaje y de que estos no realicen paradas entre dos de ellos. En el caso del peaje abierto dependerá también de que los vehículos no salgan de la vía entre dos puntos de control y del número de vehículos con localizadores o que paguen con tarjeta bancaria.

- **Instalación, calibrado y mantenimiento**: La instalación y mantenimiento del sistema de control no se debe asociar a la obtención de datos, ya que su fin primario es el cobro del uso de la infraestructura. El único mantenimiento a tener en cuenta es el de la sincronización de los relojes de los diferentes peajes.

- **Coste**: El coste del sistema estará asociado al procesamiento del gran volumen de datos que se tendrán a disposición

Fuente de datos			Datos recolectados							
			Tiempo de Viaje				Volumen	Velocidad	Ocupación	Clasificación
			Exhaustividad		Inmediatez					
			Exh.	No exh.	Directo	Indirecto				
Espiras inductivas	Simples		✓			✓	✓	✓*	✓	✓
	Dobles		✓			✓	✓	✓	✓	✓
Vehículo flotante activo				✓	✓			✓		
AVI				✓	✓		✓***	✓**		
Radar	Microondas	Doppler	✓			✓	✓	✓	✓	✓
		FMCW	✓			✓	✓	✓	✓	✓
	Infrarrojos	Activo	✓			✓	✓	✓		✓
		Pasivo	✓			✓	✓	✓	✓	✓
	Sónico	Ultrasónico	✓			✓	✓	✓		✓
		Acústico pasivo	✓			✓	✓	✓	✓	✓
VIP	Tipo espira		✓			✓	✓	✓	✓	✓
	Lectura matriculas			✓	✓		✓***	✓**		
Sensores no específicos	GPS			✓	✓		✓***	✓**		
	Telefonía móvil			✓	✓		✓***	✓**		
	Peaje	Abierto		✓	✓		✓***	✓**		✓***
		Cerrado	✓		✓		✓	✓**		✓

Tabla 2: Resumen de los sensores analizados y los datos recogidos.

✓*: Se pueden obtener indirectamente mediante la aplicación de algoritmos

✓**: Se pueden obtener las velocidades medias espaciales, aplicando $v = x/t$

✓***: Se pueden obtener mediante teoría estadística

Fuente de datos			Fiabilidad y precisión					
			Precisión				Fiabilidad	
			Tiempo de viaje	Volumen	Velocidad	Ocupación	Averías	Condiciones ambientales
Espiras inductivas	Simples			✓✓✓	✓	✓✓	✓	✓✓✓
	Dobles			✓✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓✓
Vehículo flotante activo			✓✓		✓✓		✓✓	✓✓✓
AVI			✓✓		✓✓		✓✓	✓✓✓
Radar	Microondas	Doppler		✓✓✓	✓✓✓	✓	✓✓	✓✓✓
		FMCW		✓✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓✓
	Infrarrojos	Activo		✓✓✓	✓✓	✓✓✓	✓✓	✓✓
		Pasivo		✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓✓
	Sónico	Ultrasónico		✓✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓✓
		Acústico pasivo		✓✓	✓✓✓	✓	✓✓	✓
VIP	Tipo espira			✓✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓
	Lectura matriculas			✓	✓✓		✓✓	✓
Sensores no específicos	GPS		✓✓✓		✓✓✓		✓✓✓	✓✓✓
	Telefonía móvil		✓		✓		✓✓✓	✓✓✓
	Peaje	Abierto	✓✓		✓✓		✓✓✓	✓✓✓
		Cerrado	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓		✓✓✓	✓✓✓

Tabla 3: Resumen de los sensores analizados y su fiabilidad y precisión.

✓✓✓: Tienen una alta calidad en ese apartado ✓✓: Tienen una calidad media en ese apartado ✓: Tienen una baja calidad en ese apartado

Fuente de datos			Coste y representatividad			
			Coste			Representatividad
			Coste unitario	Explotación	Medio en ciclo de vida	
Espiras inductivas	Simples		✓✓✓	✓	✓✓	✓✓
	Dobles		✓✓	✓	✓✓	✓✓
Vehículo flotante activo			✓	✓✓	✓	✓✓✓
AVI			✓	✓✓	✓	✓✓✓
Radar	Microondas	Doppler	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
		FMCW	✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
	Infrarrojos	Activo	✓✓	✓✓	✓	✓✓
		Pasivo	✓✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
	Sónico	Ultrasónico	✓✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
		Acústico pasivo	✓	✓✓	✓✓	✓
VIP	Tipo espira		✓	✓✓✓	✓✓	✓
	Lectura matriculas		✓	✓✓✓	✓✓	✓
Sensores no específicos	GPS		✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
	Telefonía móvil		✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓
	Peaje	Abierto	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
		Cerrado	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓

Tabla 4: Resumen de los sensores analizados y su coste y representatividad (precisión más fiabilidad).

✓✓✓: Tienen una alta calidad en ese apartado ✓✓: Tienen una calidad media en ese apartado ✓: Tienen una baja calidad en ese apartado

Nota: Alta calidad es análogo a bajo coste