

TEMA 7

PARÁMETROS FUNDAMENTALES DEL TRÁFICO. CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO DE TRÁFICO, VARIACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y COMPOSICIÓN. INTENSIDAD DE TRÁFICO. DEFINICIÓN. DENSIDAD DE TRÁFICO. TIEMPOS DE RECORRIDOS Y DEMORAS. RELACIONES ENTRE LA INTENSIDAD, LA VELOCIDAD Y LA DENSIDAD. LA VELOCIDAD. DEFINICIONES. PERCENTIL 85. VELOCIDAD INADECUADA Y VELOCIDAD EXCESIVA. OTRAS VARIABLES DERIVADAS. MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE DATOS DE LOS PARÁMETROS DE TRÁFICO. PROCEDIMIENTO DE INTEGRACIÓN Y ANÁLISIS.

1. INTRODUCCIÓN

2. PARÁMETROS FUNDAMENTALES DEL TRÁFICO I. CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO DE TRÁFICO, VARIACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y COMPOSICIÓN.

2.1. Intensidad

- a) Concepto
- b) Variación de la intensidad
- c) Distribución
- d) Composición del tráfico

3. INTENSIDAD DE TRÁFICO

4. DENSIDAD DE TRÁFICO

5. TIEMPOS DE RECORRIDO Y DEMORAS

- 5.1. Definición de tiempos de recorrido.
- 5.2. Velocidades medias en tiempo y espacio.
- 5.3. Definición de demora.
- 5.4. Medidas de tiempo de recorrido y demora.

6. RELACIONES ENTRE LA INTENSIDAD, VELOCIDAD Y DENSIDAD

- 6.1. Relación básica entre las tres magnitudes.
- 6.2. Relación entre velocidad y densidad.
- 6.3. Relación entre velocidad e intensidad.
- 6.4. Relación entre intensidad y densidad.

7. LA VELOCIDAD. DEFINICIONES.

7.1 Relacion entre velocidad media temporal y velocidad media especial.

7.2 Relacion entre la velocidad media de recorrido y velocidad media espacial

8. PERCENTIL 85.

9.VELOCIDAD INADECUADA Y VELOCIDAD EXCESIVA.

10.OTRAS VARIABLES DERIVADAS

11. MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE DATOS DE LOS PARÁMETROS DE TRÁFICO.

Métodos de obtención de parámetros de tráfico

Vehículo flotante

Sistema de lectura de matrículas

Estación de toma de datos (ETD)

Espiras virtuales

RADAR

12. PROCEDIMIENTO DE INTEGRACIÓN Y ANÁLISIS

1.- INTRODUCCIÓN.

La ingeniería de tráfico tiene como principales objetivos el planeamiento, el trazado y, la explotación de las redes viarias, de forma que la circulación de personas y mercancías sea segura, rápida y económica. Para ello es necesario conocer previamente las características de la circulación. El objetivo del estudio de la circulación es deducir las relaciones que existen entre las características del tráfico y el trazado de la red y las normas de regulación que se utilizan.

En este tema, y el siguiente se analizarán tres variables fundamentales del tráfico como son: la intensidad, la velocidad y la densidad de tráfico. Estos tres conceptos son válidos tanto para tráfico en vías urbanas como en vías interurbanas. La circulación por estos tipos de vía puede ser continua y discontinua.

Entendemos por **circulación continua**, al tipo de circulación en el que no existen elementos de regulación fijos externos al flujo de tráfico, tales como semáforos, que obliguen a detenerse a los vehículos. Las condiciones de circulación son el resultado de las interacciones entre los vehículos y entre estos y las características geométricas y ambientales de la vía. Las detenciones que puedan presentarse se producen por causas internas de la propia corriente del tráfico, como cuando se produce un accidente, un alcance o avería.

Entendemos por **circulación discontinua**, cuando existen unos elementos fijos que producen interrupciones periódicas en la circulación vial. Los semáforos, señales de STOP, y otros tipos de regulación son algunos de estos elementos. Estos equipos obligan a parar (o al menos a reducir la velocidad significativamente) a la circulación en un momento dado.

La mayoría de los conceptos desarrollados en estos temas, se refieren a condiciones de circulación continua.

2.- PARÁMETROS FUNDAMENTALES DEL TRÁFICO. CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO DE TRÁFICO, VARIACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y COMPOSICIÓN.

2.1. INTENSIDAD

A) Concepto

Se llama intensidad de tráfico al número de vehículos que pasa a través de una sección fija de una carretera por unidad de tiempo. Las unidades más usadas son vehículos/hora (intensidad horaria) y vehículos/día (intensidad diaria).

La intensidad la característica fundamental de la circulación, ya que permite caracterizar el tipo de circulación en un tramo viario, por lo que es una variable básica en el análisis del tráfico.

Normalmente, la intensidad de tráfico viene condicionada por la demanda, que en cada tramo varía considerablemente. Sin embargo, en muchas ocasiones la capacidad de las vías (oferta) condiciona la intensidad, no sólo porque establece un límite absoluto, sino porque al llegarse a determinadas restricciones, la demanda también se ve afectada.

La variación de la intensidad a lo largo del tiempo presenta gran importancia. Como valor representativo de la misma durante el periodo de medida, se suele adoptar la intensidad diaria (u horaria si el periodo de medida es menor que un día) media de todas las registradas. Generalmente el periodo de aforo se extiende durante un año, y la intensidad media diaria durante el año (IMD) es la magnitud más utilizada para caracterizar la intensidad en las carreteras, y se puede definir como el número total de vehículos que ha pasado por una sección de la carretera durante un año determinado dividido por 365.

B) Variación de la intensidad.

La intensidad de tráfico en cualquier carretera varía a lo largo del tiempo. Al estudiar las intensidades medias diarias (IMD) correspondientes a una serie de años, se observa en la mayoría de las carreteras una tendencia creciente, a la que se superponen unas oscilaciones cíclicas (de año, semana, día). Este crecimiento general de las intensidades de tráfico es principalmente debido al aumento de población, de la renta y del grado de motorización. Este es el caso por ejemplo de grandes áreas metropolitanas, zonas de desarrollo industrial, turístico, etc. Por el contrario, será mucho menos importante e incluso puede presentarse una tendencia decreciente en zonas en regresión, como zonas rurales

en las que exista una fuerte emigración, ó en épocas de crisis económica. También será decreciente en algunos casos excepcionales, como cuando se construye una autopista alternativa de una carretera existente de trazado antiguo, registrándose un decrecimiento brusco en esta última.

Ciclo anual

Normalmente en cualquier tramo de calle o carretera la variación de la intensidad de tráfico del día típico de un mes sigue una ley relativamente constante a lo largo de los años, mientras no se modifiquen substancialmente las características físicas y funcionales de la vía o el uso del suelo próximo a ella. La variación generalmente es más acusada en las zonas rurales que en las urbanas y es sensible a una serie de factores que más adelante se detallan.

Así, por ejemplo, el aumento de intensidad durante el verano es mucho mayor en carreteras de zonas turísticas (costas, montaña, etc.) y menor en zonas industriales.

Entre los factores que contribuyen a que las variaciones de tráfico sean acusadas destacan los siguientes:

- El carácter turístico del tráfico.
- Las bajas intensidades de tráfico que hacen que los valores de las intensidades diarias sean más sensibles a situaciones extraordinarias.
- La proximidad a una gran población, que suele generar viajes de recreo de corto recorrido.

Por otra parte ayudan a una distribución uniforme a lo largo del año los factores siguientes:

- El carácter industrial de la zona.
- La mayor proporción de tráfico pesado.
- La situación próxima al centro de una ciudad, donde normalmente el tráfico de un día laborable cualquiera no difiere en más del 10 por 100 de la IMD.

Ciclo semanal

Normalmente el tráfico de los días laborables (de lunes a viernes), difiere del de los sábados y domingos. Las diferencias son más o menos acusadas según el tipo y la función de cada vía.

Esta variación semanal se acusa tanto en las vías urbanas como en las interurbanas: en las primeras, el domingo suele ser el día de menor tráfico. En las interurbanas la influencia relativa del tráfico en sábados y domingos varía a lo largo del año, siendo frecuente que en época de buen tiempo el domingo represente una punta acusada por la tarde. Las cifras de intensidades de tráfico en los días festivos son mucho más variables que las que corresponden a días laborables.

Ciclo diario

Es quizás el más importante desde el punto de vista técnico. Los valores de la intensidad horaria del tráfico varían considerablemente a lo largo del día.

Puede decirse que durante la noche las intensidades son muy bajas, presentándose un valor mínimo generalmente entre las 3 y las 5 de la mañana. La intensidad horaria crece después muy rápidamente a primeras horas de la mañana. A partir de ese momento la evolución depende del tipo de vía y de su emplazamiento.

En los accesos a las grandes ciudades se presenta a las 8 ó 9 de la mañana una intensidad punta muy marcada, que luego disminuye rápidamente hasta un valor medio que se mantiene relativamente constante hasta alcanzar otro periodo de máximas intensidades a última hora, a partir del cual, descienden considerablemente las intensidades registradas.

Estas curvas horarias están sujetas a variaciones dependientes de: la estación del año, la ubicación geográfica de la vía, la tipología de carretera, la funcionalidad dentro de la red y las incidencias (meteorológicas, operaciones especiales, etc...)

C) Distribución

- **Distribución de frecuencias de intensidades horarias.** Para realizar el proyecto de una vía ha de tenerse en cuenta la intensidad de tráfico que habrá de soportar. Pero la intensidad varía a lo largo del tiempo, por lo que habrá que atender a la frecuencia con que se presentan los distintos valores de esta intensidad, puesto que no estaría justificado utilizar como intensidad horaria representativa la intensidad máxima. Será preferible escoger un valor de la intensidad horaria que sólo sea sobrepasado durante un escaso número de horas al año. La práctica habitual es escoger como representativa de la demanda la intensidad horaria que sólo se excede durante 100 o 150 horas al año en función de los requerimientos del análisis que se vaya a abordar, considerándose así la, IH100 o la IH150.

La vigente Norma 3.1-IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras, expresa que en el diseño de carreteras en cada caso deberá justificarse la hora de proyecto adoptada, que no será inferior a la hora treinta (30) ni superior a la hora ciento cincuenta (150).

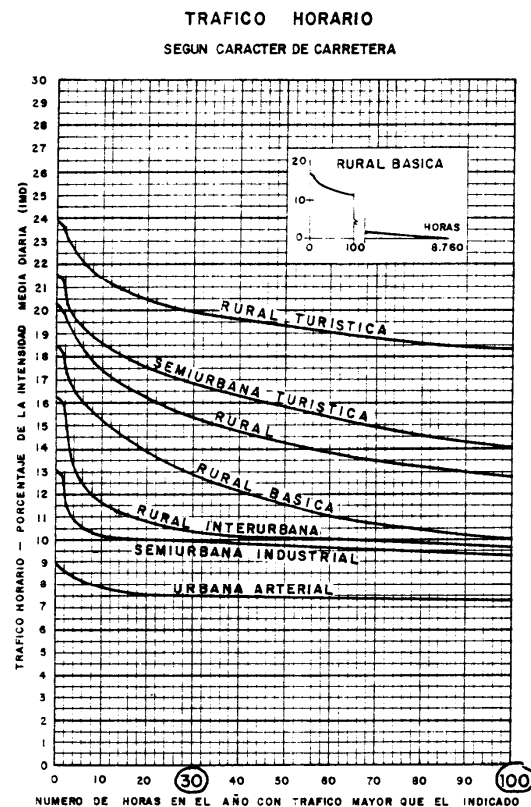


FIG. 5 CURVAS DE INTENSIDADES HORARIAS CLASIFICADAS

- Distribución del tráfico entre diferentes carriles. En las carreteras de dos carriles y dos sentidos de circulación se suele considerar la intensidad de tráfico total, es decir, la suma de las correspondientes a ambos sentidos. Mientras se consideren intensidades diarias, especialmente la IMD, será aceptable suponer que esta cifra se divide en partes iguales entre ambos sentidos. Por el contrario, cuando se consideran intensidades horarias pueden presentarse grandes diferencias entre sentidos.

En carreteras con calzadas separadas, suele ser normal considerar independientemente la intensidad correspondiente a cada calzada. Dentro de ellas, el tráfico se reparte entre los carriles existentes. Este reparto depende de la intensidad de tráfico total y de la composición del mismo. Por ejemplo, si las calzadas tienen dos carriles para un sólo sentido, cuando la intensidad de tráfico es baja la mayor parte de los vehículos utilizan el carril derecho, mientras que si la intensidad es muy alta se utiliza más frecuentemente el carril izquierdo. Además la composición del tráfico es muy distinta en estos carriles, ya que

en el carril derecho circulan muchos más vehículos lentos que por el izquierdo. Cuando la intensidad de tráfico aumenta, el carril derecho acaba siendo utilizado principalmente por vehículos pesados y vehículos ligeros lentos, mientras que el carril izquierdo lo utilizan preferentemente vehículos ligeros rápidos. Esta distribución de los vehículos, especialmente las condiciones que afectan al carril derechos, resultan importantes en ciertas situaciones, como en los enlaces.

D) Composición del tráfico.

Además de conocer el número total de vehículos que pasan por una carretera, frecuentemente interesará saber qué tipo de vehículos circulan por ella. Por esta razón al realizar los aforos se clasifican los vehículos registrados en varias categorías, más o menos detalladas según las necesidades. A menudo, se clasifican los vehículos según una clasificación resumida como la siguiente:

- Motocicletas
- Vehículos ligeros
- Vehículos pesados

La composición del tráfico se define mediante el porcentaje de vehículos en la IMD que pertenecen a cada categoría.

En general, la mayor parte del tráfico está formado por vehículos ligeros, mientras que las motos representan un porcentaje muy pequeño. Dentro de los vehículos ligeros, los más importantes son los coches (que forman del 85% al 90% del grupo de vehículos ligeros) y dentro de los vehículos pesados los camiones representan más del 90% de este grupo.

Naturalmente la composición del tráfico varía de unas carreteras a otras. Así, por ejemplo, en zonas urbanas, el porcentaje de vehículos ligeros es mayor que en carreteras, llegando en las calles céntricas de las grandes ciudades a ser superior al 90%. En las proximidades a las grandes ciudades, son frecuentes porcentajes de vehículos pesados entre el 15% y el 20%, mientras que en las zonas interurbanas, especialmente en itinerarios importantes para el transporte, son frecuentes porcentajes entre el 20% y el 30% e incluso superiores. Evidentemente, estas composiciones están sujetas a variaciones temporales.

3.- INTENSIDAD DE TRÁFICO. DEFINICIONES.

Así pues, se define como intensidad de tráfico al número de vehículos que pasan a través de una sección fija de la carretera por unidad de tiempo. Las unidades más usadas son las de vehículos/hora (intensidad horaria) y vehículos/día (intensidad diaria).

Conviene, por otra parte, distinguir entre “volumen” e “intensidad”. El volumen es el número real de vehículos que pasan por una sección durante un intervalo. La intensidad de tráfico se obtiene dividiendo el número de vehículos observados durante un período subhorario entre el tiempo de observación (en horas). En consecuencia, un volumen de

100 vehículos observado durante un período de 15 minutos (15-min) implica una *intensidad de tráfico* de 100/0,25 h, es decir 400 v/h.

Desde el punto de vista de la Ingeniería de Tráfico interesan especialmente dos estados de la variable intensidad en función del tiempo:

- La **intensidad media diaria anual**: número de vehículos que pasan por una sección durante un año, dividido por 365. Se conoce normalmente en España como IMD, y puede considerarse como la intensidad de tráfico que corresponde al día medio del año.
- La **intensidad horaria punta**: número de vehículos que pasan por una sección durante la hora que se considera representativa de las condiciones de mayor circulación.

La **IMD** se utiliza fundamentalmente para el **planeamiento**: clasificación de vías, programas de mejora, determinación de tendencias en el uso de las vías, determinación de características geométricas de carácter general, proyectos de señalización e iluminación...

La **intensidad horaria** se utiliza para el **proyecto y la ordenación**: capacidad de las vías, características de las intersecciones y enlaces, control de tráfico, coordinación de semáforos y ordenación de la circulación.

Por lo que respecta al concepto de intensidad de hora punta, ha de partirse de que el correcto funcionamiento de una vía no se juzga por su capacidad para intensidades medias, sino para intensidades en horas punta. Por ello la intensidad de tráfico en la hora punta—matizada a veces por la variación del tráfico dentro de esa hora— es de gran interés.

Factor de hora punta

En el análisis de la capacidad de la sección la consideración de las intensidades punta tiene una importancia crucial.

Las intensidades de tráfico o de circulación punta se relacionan con los volúmenes horarios por medio del factor de hora punta, definido como la relación entre el volumen total horario y la intensidad de circulación máxima producida en un período de 15-min dentro de la hora:

$$FHP = \frac{\text{Volumen horario}}{\text{Intensidad de circulación punta (dentro de la hora)}}$$

Luego, si se utilizan períodos de 15-min, el FHP se calculará así:

$$FHP = Q / (4 \times Q_{15})$$

siendo:

FHP = el factor de hora punta

Q = el volumen horario, en v/h; y

Q_{15} = el volumen durante los 15-min punta de la hora, en v/15 min.

4.- DENSIDAD DE TRÁFICO.

Se denomina densidad de tráfico al número de vehículos que hay en un tramo de carretera por unidad de longitud para un instante dado.

Evidentemente existe un valor máximo de la densidad de tráfico, que se obtiene cuando todos los vehículos están en fila, sin huecos entre ellos y que depende, lógicamente, de la longitud de los vehículos. En estas condiciones los vehículos estarán parados. Esta densidad máxima será igual al producto de la inversa de la longitud media de los vehículos por el número de carriles.

Es difícil medir directamente la densidad en el campo, pues es necesario contar con un punto elevado desde el que se pueda obtener imágenes de tramos de vía de longitud significativa. Se puede calcular, sin embargo a través de la velocidad media de recorrido y de la intensidad de circulación, que son de más sencilla medición. A partir de de la fórmula:

$$I = V \times D$$

en donde:

I = intensidad de circulación, en veh/h

V = velocidad media de recorrido, en km/h; y

D = densidad, en vh/km.

La densidad de tráfico influye de forma directa en la calidad de la circulación, ya que al aumentar la densidad resulta más difícil mantener la velocidad que el conductor desea y éste se ve obligado a realizar un mayor número de maniobras, generando una conducción más incómoda. Si la densidad se acerca a su valor máximo, se circula muy lentamente con frecuentes paradas y arranques.

Se ha comprobado que la libertad de maniobra y la separación de otros vehículos son aspectos altamente valorados por los conductores en relación con la calidad de servicio de circulación. Consecuentemente la densidad es una variable que explica la valoración que hacen los conductores de la calidad de la circulación, y de ahí el interés de utilizar esta variable.

5. TIEMPOS DE RECORRIDO Y DEMORAS

5.1. DEFINICIÓN DE TIEMPOS DE RECORRIDO.

En los accesos a las ciudades y en zonas urbanas la velocidad de los vehículos es muy variable, llegando a detenerse e incluso permanecer inmóvil. El trabajar con las velocidades instantáneas o locales no suele ser útil, por lo cual es preferible trabajar con tiempos de recorrido. Se entiende por **tiempo de recorrido**, el tiempo empleado por un vehículo en desplazarse entre dos puntos fijos separados una cierta longitud. La **velocidad de recorrido** será la relación entre la longitud del viaje y el tiempo de recorrido.

La tecnología actual mediante lectores de matrículas situados en secciones de las carreteras separadas varios kilómetros ayudados por cronómetros de elevadísima precisión permite medir la velocidad de cada vehículo en el tramo considerado lo que puede ser utilizado para sancionar a los vehículos que sobrepasen la velocidad permitida y calcular el tiempo de recorrido de los vehículos en dicho tramo.

5.2. VELOCIDADES MEDIAS EN TIEMPO Y ESPACIO.

Cuando se miden los tiempos empleados por cada vehículo en recorrer una cierta longitud, hallando luego la media de las velocidades individuales, se obtienen **velocidades medias en el tiempo** (velocidad media local). Si por el contrario, se obtiene primero la media de los tiempos empleados por cada vehículo y la velocidad se halla dividiendo la longitud recorrida por este tiempo medio, se obtiene la **velocidad media en el espacio**.

La primera es realmente un valor medio de velocidades: la segunda, un valor medio de tiempos de recorrido.

Es interesante tener esto en cuenta en los estudios de tráfico, para seguir siempre uno de los dos procedimientos, aunque cualquiera de ellos puede utilizarse, siempre que se mantenga a lo largo de un mismo estudio.

La ventaja de operar con tiempos, es que los tiempos pueden sumarse directamente y las velocidades no, lo que hace que en estudios urbanos sea generalmente más cómodo trabajar con tiempos que con velocidades. En cambio, las medias obtenidas con velocidades son más estables que los tiempos, y como consecuencia de ello, para un mismo grado de fiabilidad basta una muestra más reducida.

5.3. DEFINICIÓN DE DEMORA.

Cuando se mide el tiempo de recorrido conviene distinguir el tiempo de vehículo en movimiento y el tiempo de vehículo parado. **La demora** es una medida crítica de las prestaciones existentes en vías con circulación discontinua y en accesos a grandes

ciudades. La palabra demora puede significar muchas cosas. La demora media por detención es la medida de eficacia principal utilizada en la evaluación del nivel de servicio en las intersecciones semaforizadas.

La demora por detención es el tiempo que un vehículo permanece parado en una cola mientras espera su turno para pasar por la intersección.

La demora media por detención es la demora por detención total de todos los vehículos de un acceso o de un grupo de carriles durante un tiempo dado dividida entre el volumen total que entra en la intersección por el acceso o grupo de carriles durante el mismo período, expresada en segundos por vehículo.

Se utiliza la demora por detención porque es un parámetro relativamente sencillo de medir y conceptualmente simple. La demora debida a la circulación a velocidades inferiores a las deseadas es difícil de obtener pues requeriría la determinación de una velocidad deseada razonable para cada segmento de carretera.

5.4. MEDIDAS DE TIEMPO DE RECORRIDO Y DEMORA.

Una medida del comportamiento del tráfico en un tramo determinado de carretera es el tiempo empleado por los vehículos en recorrerlo; por ello se busca obtener el valor medio de su tiempo de recorrido.

Existen diversos procedimientos para medir tanto los tiempos de recorrido como las demoras. Un método poco exacto se puede emplear tanto en tramos cortos como en demoras de intersecciones y es el siguiente: se cuenta el número de vehículos que hay en el tramo en intervalos de tiempo cortos (de menos de un minuto) y se calcula el valor medio en un período largo. Si se divide ese valor medio por la intensidad de tráfico se obtiene el tiempo medio de recorrido. En las intersecciones se cuenta el número medio de vehículos parados y se divide por la intensidad de tráfico para obtener el tiempo de demora.

En tramos largos lo que se hace es colocar en la entrada y salida de mismo equipos de observadores que anotan matrículas y el instante en que entra y sale cada vehículo. Por comparación se obtienen los tiempos empleados por los vehículos y se halla el tiempo de recorrido medio.

Otra forma de medir tiempos de recorrido y demoras en intersecciones de tramos largos es el empleo de un vehículo que haga el recorrido y con personal con cronómetro que en una serie de puntos de control anote tiempos empleados y distancias recorridas. La velocidad del vehículo puede regularse bien procurando llevar la velocidad de la media de los vehículos (método del coche medio) o bien por el método del coche flotante (igual número de coches adelantados que el de coches que le adelantan) que no siempre es

facil de obtener. Se hacen entre 5 y 10 recorridos con el vehículo y se obtienen los tiempos medios de recorrido.

Cuando se trata de obtener tiempos de recorrido en tramos de carreteras con sistemas de gestión de tráfico se utilizan métodos automáticos para la obtención de los mismos. El método más preciso es el que se realiza mediante el reconocimiento de matrículas en cámaras de video situadas en diversas secciones de los tramos que se consideren. Se analizan de forma continua las imágenes captadas buscando la aparición de un vehículo. Una vez capturada la imagen del vehículo ésta pasa por un sistema de reconocimiento de caracteres (OCR) que determina la matrícula del vehículo que ha pasado. Cuando el procesador tiene los caracteres de la matrícula, éstos se envían al servidor del sistema que será el que realice el tratamiento posterior. En el sistema de cálculo se parte de diversos OCR's a lo largo de la carretera. Cada OCR envía los datos hacia un servidor. El servidor contrasta los datos recibidos con todos aquellos puntos que componen un recorrido, calculando, al encontrar coincidencias de matrículas en los diversos puntos, el tiempo que ha tardado en producirse esta coincidencia y mediante un sencillo cálculo determinar el tiempo medio de recorrido en el tramo considerado.

6. RELACIONES ENTRE LA INTENSIDAD, VELOCIDAD Y DENSIDAD

Se define como intensidad de tráfico al número de vehículos que pasan a través de una sección fija de la carretera por unidad de tiempo. Las unidades más usadas son las de vehículos/hora (intensidad horaria) y vehículos/día (intensidad diaria).

Se entiende por densidad de tráfico al número de vehículos que ocupan un tramo de carretera de longitud dada, en un instante concreto. Se suele medir en vehículos/km. El valor máximo de la densidad tiene lugar cuando todos los vehículos están en fila sin huecos entre ellos y lógicamente depende de la longitud media de los vehículos.

Es difícil medir directamente la densidad en el campo, pues es necesario contar con un punto elevado desde el que se pueda fotografiar, videofilmar, o divisar tramos de vía de longitud significativa. Se puede calcular, sin embargo a través de la velocidad media de recorrido y de la intensidad de circulación, que son de más sencilla medición. A partir de de la fórmula:

$$I = V \times D$$

en donde:

I = intensidad de circulación, en veh./h

V = velocidad media de recorrido, en km/h; y

D = densidad, en vh./km.

La densidad es un parámetro crítico en la descripción de las operaciones de tráfico. Describe la proximidad entre los vehículos, y refleja la libertad de maniobra dentro de la corriente de tráfico.

En los sistemas de control de tráfico se usa frecuentemente el parámetro de ocupación de carretera como sucedáneo de la densidad porque es de más fácil medida. Se define como ocupación espacial la proporción de la longitud de carretera ocupada por los vehículos y la ocupación en tiempo como la proporción de tiempo que una sección transversal de carretera está ocupada por vehículos.

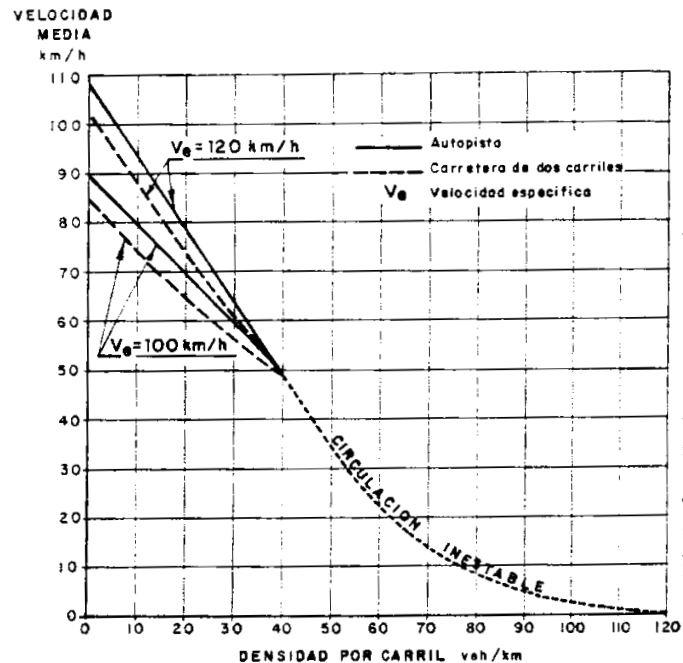
6.1. RELACIÓN BÁSICA ENTRE LAS TRES MAGNITUDES.

Entre las magnitudes de tráfico anteriormente estudiadas existen relaciones que permiten deducir una de ellas a partir de las otras. La ecuación $I = V \times D$ que expresa la relación básica entre los tres parámetros descriptores de la corriente de tráfico se deduce de la propia definición de dichas magnitudes. Aunque dicha ecuación permite algebraicamente la existencia de un número infinito de combinaciones de velocidad y densidad para cada intensidad, existen otras relaciones que limitan la variedad de condiciones de circulación posibles en un tramo determinado y que se han obtenido empíricamente a partir gran número de datos recogidos de estudios reales.

6.2. RELACIÓN ENTRE VELOCIDAD Y DENSIDAD

El tipo de relación entre velocidad y densidad que se deduce de la fórmula anterior indica que:

- si la densidad es pequeña, los pocos vehículos que están en la carretera pueden circular muy separados y llevar la velocidad que quieran sus conductores sin que ningún otro interfiera, con lo que la velocidad de los vehículos podría ser tan alta como lo permitieran las características de la carretera y del propio vehículo.
- Con densidades mayores hay dificultades para mantener la velocidad deseada por la existencia de vehículos más lentos; es decir, a mayor densidad de tráfico menor velocidad media.



Hay que valorar cómo se adoptan estas relaciones, que constituyen la base para el análisis de la capacidad de las vías de circulación continua. Aunque la forma de estas relaciones es similar en todas las vías de circulación continua, la forma exacta de estas variaciones y su calibración numérica depende de las condiciones prevalecientes del tráfico y la carretera existente en el tramo en estudio.

Además, se puede dar una intensidad nula bajo dos situaciones muy diferentes:

- Cuando no existen coches sobre la vía, la densidad es cero, y la intensidad de circulación, también es cero. La velocidad es puramente teórica en este estado, y sería cualquiera que el primer conductor seleccionara - probablemente un valor elevado.
- Cuando la densidad tiende al máximo posible todos los vehículos se paran (la velocidad es cero), la intensidad de circulación es también cero, puesto que no hay

movimiento y los vehículos no pueden “pasar” por un perfil de la carretera. Se denomina *densidad de atasco* a aquella densidad para la que cesa todo movimiento.

Entre estos dos puntos extremos, la dinámica del flujo viario produce un efecto maximizador. Al incrementarse la densidad desde cero, la intensidad de circulación también aumenta al existir más vehículos sobre la carretera. Mientras esto sucede, la velocidad empieza a declinar (debido a la interacción entre vehículos). Esta reducción es virtualmente despreciable para bajas densidades e intensidades de circulación. Según aumenta la densidad se alcanza un punto para el que la velocidad se reduce precipitadamente. La intensidad máxima se alcanza cuando el producto de la densidad creciente por la velocidad decreciente produce un flujo inferior al de la situación precedente.

La máxima intensidad de circulación de cualquier vía es su capacidad. La densidad a la que esto se produce se denomina *densidad crítica*, y la velocidad a la que esto ocurre se denomina *velocidad crítica*. Al aproximarse a la capacidad, la circulación se hace más inestable al existir menos intervalos en el tráfico utilizables, y cualquier perturbación producida por vehículos que se incorporen o abandonen la vía, o de maniobras de cambio de carril internas, crean unas alteraciones que no pueden ser amortiguadas o disipadas eficazmente. En consecuencia, es difícil mantener la explotación de la vía en el entorno de la capacidad durante períodos largos de tiempo sin que se formen colas, siendo casi inevitable el flujo forzado o el colapso. Debido a esto, la mayoría de las estructuras viales se proyectan para una operación en volúmenes inferiores a la capacidad.

Cualquier intensidad distinta de la capacidad puede obtenerse en dos estados diferentes -uno en el que la velocidad es alta y la densidad baja, y el otro con una densidad alta y una velocidad baja-.

Se considera **inestable** la parte completa de las curvas correspondiente a altas densidades y bajas velocidades. Esta situación se corresponde con un flujo forzado o en colapso. Corresponde a un nivel de servicio F.

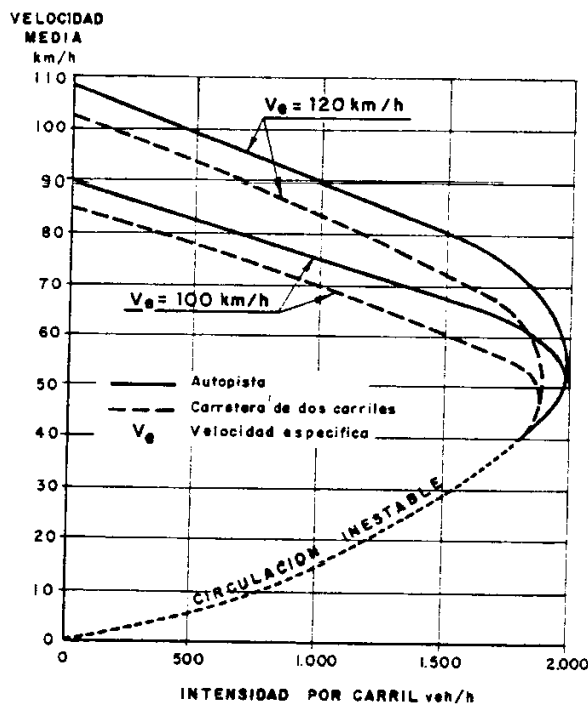
La parte de las curvas correspondiente a bajas densidades y altas velocidades es la región de circulación **estable**. El análisis de capacidad se centra en esta región. Los niveles de servicio A a E se definen en la parte estable de las curvas, situándose en vías de circulación continua el nivel de servicio E, correspondiente al límite máximo de circulación, en el punto de capacidad de la sección que se estudia.

Comparando las curvas correspondientes a distintas carreteras se observa que difieren en la parte de las velocidades altas, mientras que son aproximadamente iguales para velocidades bajas.

6.3.- RELACIÓN ENTRE VELOCIDAD E INTENSIDAD

Esta relación es mucho más sencilla de obtener en la práctica, ya que es más fácil medir velocidades e intensidades que densidades. Por otra parte la intensidad es una magnitud que define la demanda de tráfico en la carretera, siendo por tanto un dato básico, mientras que la velocidad media define la calidad de la circulación.

Frecuentemente, el problema será deducir las condiciones de tráfico (caracterizada por la velocidad), conociendo la demanda de tráfico (definida por la intensidad). Por tanto estas relaciones entre velocidad e intensidad tienen una gran importancia práctica.



De los estudios empíricos se deducen curvas con la peculiaridad de que para cada valor de la intensidad se presentan dos velocidades distintas: una elevada y una menor. La parte superior de la curva corresponde a una circulación libre y estable, mientras que la parte inferior corresponde a una circulación congestionada e inestable.

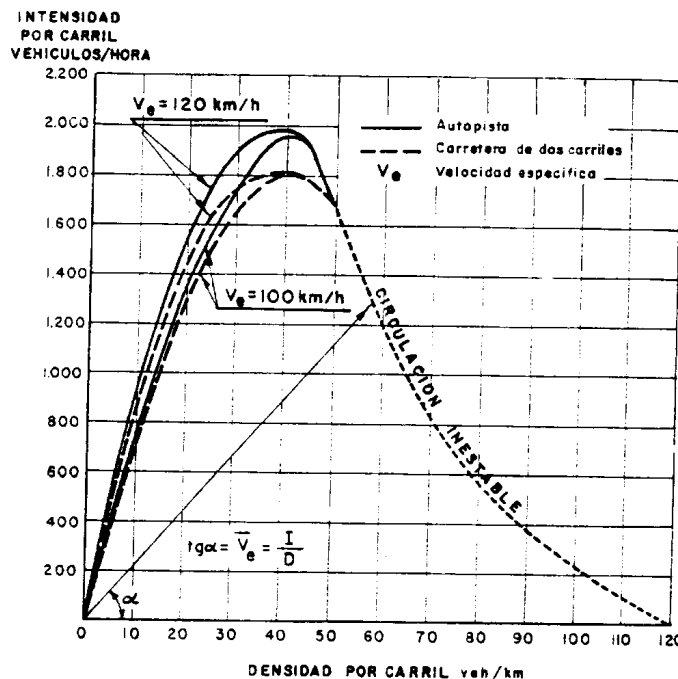
Comparando las curvas correspondientes a distintas carreteras, se observa que difieren en la parte superior, para velocidades altas, y son muy parecidas en la parte inferior, para congestión. La rama superior de la curva es la más interesante a efectos prácticos, ya que la rama inferior corresponde a condiciones de circulación que se trata de evitar.

Considerando la rama superior de la curva se observa que la velocidad es prácticamente constante para intensidades bajas y se reduce cuando la intensidad se va acercando a la capacidad de la carretera considerada. También se ha estudiado como depende la curva de la composición del tráfico (proporción de vehículos pesados y de las características de la carretera (sección transversal, pendientes etc.). de todo ello depende la determinación de la capacidad de las carreteras (que es el número máximo de vehículos que tienen una probabilidad razonable de atravesar la sección durante un período dado de tiempo).

RELACIÓN INTENSIDAD – DENSIDAD

Finalmente, cabe destacar asimismo, la relación entre la Intensidad y la Densidad, lo cual cierra el círculo y demuestra que conociendo dos de estos parámetros, es posible conocer el tercero.

Cuando la densidad sea nula, también lo será la intensidad: y cuando la densidad alcance su valor máximo, por anularse la velocidad media, se anulará también la intensidad. Entre ambos extremos, la intensidad tendrá valores positivos, y por consiguiente debe alcanzarse un valor máximo de la intensidad. Representando la intensidad en función de la densidad resultan funciones convexas con un máximo para un cierto valor de la densidad. Como en el caso de la relación velocidad densidad, estas curvas serán diferentes para las distintas carreteras, presentándose mayores diferencias en la zona de baja densidad, mientras que serán similares en la zona cercana a la densidad máxima.



El diagrama que representa la intensidad en función de la densidad se conoce como diagrama fundamental del tráfico, y en él puede obtenerse para cualquier punto la intensidad (ordenada), densidad (abscisa) y velocidad media (pendiente de la recta que une el origen con el punto en cuestión).

Se estima que la densidad crítica suele ser del orden del 30% al 40% de la densidad máxima

7. La velocidad. Definiciones.

La velocidad se define como la medida de movimiento expresada en distancia por unidad de tiempo, generalmente como kilómetros por hora (km/h).

Es una medida importante de la calidad del servicio proporcionado al conductor a través del tiempo que se tarda en un desplazamiento y en la seguridad en la circulación. Se utiliza como una medida de eficacia importante que define los niveles de servicio en muchos tipos de vía, como son las carreteras de dos carriles, las autopistas, etc.

Así mismo la limitación de la misma según el tipo de vía y sus características están continuamente presentes para los conductores.

La velocidad inadecuada forma, junto la infracción a la norma, la distracción, el cansancio, enfermedad o sueño y el alcohol y drogas, el conjunto principal **factores de riesgo** de los

accidentes de tráfico.

El conocimiento de la velocidad es pues un factor necesario para la vigilancia y prevención pero también para la gestión de tráfico. Los niveles de tráfico se pueden conocerse usando otros parámetros como intensidad u ocupación, pero nada mejor para saber cómo se comporta el tráfico que conocer esta variable fundamental. Sin embargo la importancia viene pareja con la dificultad de definición, así como su influencia tanto en la seguridad vial como la eficiencia del flujo circulatorio.

Cuando se habla de velocidad hay que hacer una primera división dependiendo de si la velocidad se refiere a la de un vehículo determinado o bien si se refiere al conjunto de la circulación.

La **velocidad de un determinado vehículo**, puede definirse mediante tres conceptos:

- *Velocidad instantánea*: es la velocidad de un vehículo en un momento determinado.
- *Velocidad de circulación*: es el cociente entre la distancia recorrida en un tramo determinado y el tiempo que el vehículo está en movimiento.
- *Velocidad de recorrido*: es la velocidad media conseguida por un vehículo al recorrer un tramo de la carretera, es decir el cociente entre la distancia recorrida en un tramo determinado y el tiempo que transcurre desde el instante en que el vehículo inició el viaje hasta que llega a su destino, incluyendo las posibles detenciones y retrasos debidos al tráfico.

Si nos referimos al **conjunto de la circulación**, existen tres posibles valores medios:

- *Velocidad media temporal*: es la velocidad media de todos los vehículos que pasan por un perfil fijo de la carretera o sección durante un cierto periodo de tiempo y se obtiene como la media de las velocidades instantáneas de todos los vehículos durante el periodo seleccionado. Se corresponde con los datos que se obtienen en los equipos de toma de datos de la red de aforos y equipamiento ITS. Se define como:

$$\bar{V}_t = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}$$

Dónde:

- \bar{V}_t es la velocidad media temporal

- V_i es la velocidad del vehículo en el punto de medición
- n es la muestra de vehículos
- *Velocidad media espacial*: es la velocidad media de todos los vehículos que en un instante determinado están en un tramo dado de la carretera. Se dice entonces, que se tiene una distribución espacial de velocidades de punto.

$$\bar{V}_e = \frac{\sum_{j=1}^m V_j}{m}$$

Dónde:

- \bar{V}_e es la velocidad media espacial
- V_j es la velocidad del vehículo en el punto en el que se encuentre dentro del tramo
- m es la muestra de vehículos

La velocidad media espacial también puede obtenerse a partir de los tiempos de recorrido de los vehículos que circulan por un tramo determinado. Se obtiene dividiendo la longitud de tramo entre el tiempo medio de recorrido.

$$\bar{V}_e = \frac{d}{\bar{t}}$$

Dónde:

- \bar{V}_e es la velocidad media espacial
- d es la longitud del tramo considerado de la infraestructura
- \bar{t} es el tiempo de recorrido medio de los vehículos en ese tramo obteniéndose este valor de la siguiente forma:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}$$

Siendo t_i el tiempo de cada vehículo y n el número de vehículos considerados en la muestra.

La velocidad media temporal es siempre superior a la velocidad media espacial.

- **Velocidad media de recorrido:** es la media de velocidades de recorrido de todos los vehículos en un tramo de carretera.

$$\bar{V}_r = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

Dónde:

- \bar{V}_r es la velocidad media de recorrido
- n es el número de vehículos de la muestra
- d_i es la longitud recorrida por dichos vehículos
- t_i es el tiempo empleado por dichos vehículos en recorrer dicho tramo

Otro concepto en el que intervienen las velocidades y que ha de ser utilizado para la creación de distintos tipos de escenarios de comportamiento de los conductores para un mismo tramo de carretera, es la distribución de velocidades.

Midiendo las velocidades de varios vehículos, se puede determinar las distribuciones de frecuencia de velocidades. Las frecuencias obtenidas dependerán del método seguido para medir las distintas velocidades.

Si se miden las velocidades de los vehículos cuando estos pasan por un perfil fijo de carretera, se obtiene la **distribución temporal**, mientras que si se miden las velocidades de todos los vehículos en un instante dado, se obtiene la **distribución espacial**. En general se utilizarán distribuciones medias temporales.

Relación entre velocidad media temporal y velocidad media espacial

Se cumple, aproximadamente

$$\bar{V}_e \approx \bar{V}_t + \frac{S_t^2}{\bar{V}_t}$$

Siendo S_t^2 la varianza de la distribución de velocidades en el tiempo, es decir, indica el grado de homogeneidad o heterogeneidad de las velocidades en la muestra.

Cuando la varianza de la muestra es cero, es la única situación en la que la velocidad media espacial y temporal coincide. Esto sólo ocurre cuando la totalidad de las velocidades de los vehículos de la muestra, son iguales. En cualquier otra situación y siendo siempre la varianza un valor muy pequeño, la velocidad media espacial es siempre

menor que la velocidad media temporal.

Relación entre la velocidad media de recorrido y velocidad media espacial

Si un grupo de vehículos recorre la misma distancia, la velocidad media de recorrido de los mismos se obtiene dividiendo la distancia recorrida entre el promedio de los tiempos de recorrido.

$$\bar{V}_r = \frac{d}{\bar{t}}$$

Así, puede verse que, la velocidad media de recorrido es una velocidad media espacial con base en la distancia, es decir:

$$\bar{V}_r = \bar{V}_e$$

8. Percentil 85

Para muchos estudios de trazado o regulación del tráfico interesa utilizar una velocidad que sea sobrepasada por un cierto número de vehículos. En este caso la velocidad correspondiente al percentil 85 es aquella que solamente es sobrepasada por un 15 % de vehículos. Suele ser alrededor de un 20 % superior a la velocidad media.

9. Velocidad inadecuada y velocidad excesiva

La movilidad implica necesariamente movimiento, y el tráfico terrestre por vías urbanas e interurbanas implica el movimiento de vehículos a motor, vehículos no motorizados, peatones, y en general todo tipo de usuarios, más y menos vulnerables, todos en un mismo entorno infraestructural más o menos segregado, que canaliza, regula, organiza y ordena su movimiento.

La ingeniería de tráfico analiza cuáles son las variables que definen este movimiento, y lo liga con variables de diseño y de gestión de la infraestructura con el fin de optimizar las inversiones públicas y estimar las inversiones requeridas para el mantenimiento en condiciones óptimas de nivel de servicio.

La accidentalidad viaria ocurre sólo cuando existe movimiento, se puede afirmar que **la movilidad es la condición necesaria** (pero no suficiente) para que ocurra un accidente de tráfico, del que pueden o no derivarse lesionados, heridos y fallecidos.

En el caso español, la velocidad inadecuada o excesiva está presente en aproximadamente el 40% de los accidentes con víctimas.

La **velocidad puede ser inadecuada**, definida como velocidad que no se adapta a los **condicionantes del vehículo** (antigüedad, grado de conservación y mantenimiento, equipamiento de seguridad activa y pasiva, dimensiones, alumbrado, peso, etc), **de la vía**

(estado del pavimento, balizamiento, señalización horizontal, señalización vertical, margen de la vía, indicaciones de dirección, diseño geométrico, etc), **del conductor** (edad, pericia, condiciones psicofísicas, experiencia, cansancio, fatiga, etc), **del ambiente** (visibilidad, estado físicoquímico de la calzada, humedad, precipitaciones, temperatura, dirección y velocidad del viento, etc), así como de los **condicionantes del tráfico** (intensidad, densidad, velocidad, composición del tráfico, cambios de carril, movimientos de trenzado, entradas y salidas, sección transversal, presencia de aparcamientos, mezcla de tráfico, etc).

El concepto de adecuación y el subsiguiente de la moderación de la velocidad quedan recogidos en la Ley de Tráfico, y desarrollado en el Reglamento General de Circulación (RD 1428/2003) en sus artículos 45 y 46, los cuales se transcriben a continuación:

Artículo 45. Adecuación de la velocidad a las circunstancias.

Todo conductor está obligado a **respetar los límites de velocidad establecidos (VELOCIDAD EXCESIVA)** y a tener en cuenta, además, **sus propias condiciones físicas y psíquicas, las características y el estado de la vía, del vehículo y de su carga, las condiciones meteorológicas, ambientales y de circulación, y, en general, cuantas circunstancias concurren en cada momento (VELOCIDAD ADECUADA)**, a fin de adecuar la velocidad de su vehículo a ellas, de manera que siempre pueda detenerlo dentro de los límites de su campo de visión y ante cualquier obstáculo que pueda presentarse.

Artículo 46. Moderación de la velocidad. Casos.

1. Se circulará a **velocidad moderada (ADECUACIÓN DE LA VELOCIDAD)** y, si fuera preciso, se detendrá el vehículo cuando las circunstancias lo exijan, especialmente en los casos siguientes:

- a) Cuando haya peatones en la parte de la vía que se esté utilizando o pueda preverse racionalmente su irrupción en ella, principalmente si se trata de niños, ancianos, invidentes u otras personas manifiestamente impedidas.
- b) Al aproximarse a ciclos circulando, así como en las intersecciones y en las proximidades de vías de uso exclusivo de ciclos y de los pasos de peatones no regulados por semáforo o agentes de la circulación, así como al acercarse a mercados, centros docentes o a lugares en que sea previsible la presencia de niños.
- c) Cuando haya animales en la parte de la vía que se esté utilizando o pueda preverse racionalmente su irrupción en ella.
- d) En los tramos con edificios de inmediato acceso a la parte de la vía que se esté utilizando.
- e) Al aproximarse a un autobús en situación de parada, principalmente si se trata de un autobús de transporte escolar.
- f) Fuera de poblado al acercarse a vehículos inmovilizados en la calzada y a ciclos que circulan por ella o por su arcén.
- g) Al circular por pavimento deslizante o cuando pueda salpicarse o proyectarse agua, gravilla u otras materias a los demás usuarios de la vía.
- h) Al aproximarse a pasos a nivel, a glorietas e intersecciones en que no se goce de

prioridad, a lugares de reducida visibilidad o a estrechamientos.

Por otra parte, la velocidad puede ser excesiva, cuando es superior a la velocidad reglamentariamente establecida, bien de manera fija o dinámica, para el tramo de vía por el que el vehículo circula.

Como se ha observado, la velocidad influye decisivamente en la densidad y en la intensidad de vehículos en una infraestructura dada. Sería erróneo pensar que una vía concreta, de características conocidas (nº de carriles, ancho de carriles, existencia y tipo de arcén, entradas y salidas, tipo de pavimento, condiciones meteorológicas, control/gestión de la velocidad, etc) posee unas características propias inherentes e inmutables definidas como capacidad de la infraestructura (ver Manual de Capacidad (Highway Capacity Manual 2010)), sino más bien las corrientes científicas y estado del arte más reciente considera que es posible adaptar el número de vehículos que pueden atravesar una sección de vía determinada con condiciones de seguridad si se gestiona adecuadamente la velocidad, distancia de seguridad y cambios de carril, por un lado mediante la educación vial y por otro lado mediante la tecnología a bordo o la tecnología V2I (vehículo-infraestructura) que comunica vehículo con infraestructura y que ayuda a adaptar el estilo de conducción de los conductores logrando una eficiencia máxima y la optimización del espacio viario.

Dicho esto, es evidente que la DGT se erige como organismo responsable para garantizar que en la red viaria española:

- 1- **Vigilar que se cumplen los límites legalmente establecidos**, tanto genéricos como específicos mediante el empleo de dispositivos tecnológicos normalizados que miden la velocidad instantánea o de circulación de los vehículos y captan imágenes de calidad de los mismos..
- 2- **Advertir y reglamentar** la velocidad ante eventos adversos (fenómenos meteorológicos adversos, congestión, obras, emisiones contaminantes, optimización del consumo energético, etc) que recomiendan una velocidad adecuada de interés general menor que la legalmente establecida.

Evidentemente, en la descripción de funciones de la DGT aparece la de gestión y control del tráfico, y además en el artículo 113 del Reglamento General de Circulación, se consagra a la SEÑALIZACIÓN CIRCUNSTANCIAL como elemento clave en la gestión del tráfico, quedando jerárquicamente en 2º orden, por encima de la señalización fija vertical y horizontal, y solo por detrás de las indicaciones de los agentes del tráfico. Este hecho facilita la labor del gestor de tráfico a la hora de prohibir o recomendar velocidades distintas a la mostrada por la señalización fija sin el riesgo de poder caer en contradicción o incomprensión, dado que el conductor deberá en este caso prescindir de ésta y atender únicamente a la señalización circunstancial.

La SEÑALIZACIÓN CIRCUNSTANCIAL, también denominada como variable o dinámica, permite informar, reglamentar, advertir, y recomendar al usuario en tiempo real en función de las circunstancias o eventos prevalentes en el entorno vial que condicionan el flujo

circulatorio y que pueda tener influencia en la seguridad o en la fluidez de la circulación.

Toda señalización variable, independientemente de su soporte (mecánico, electromecánico, eléctrico, informático, etc), deberá ser susceptible de tener al menos 2 posiciones o estados, es decir mostrar al menos dos mensajes.

En conclusión, la DGT tiene amparo normativo, capacidades y medios propios para lograr que la movilidad se realiza en cumplimiento de la velocidad límite legalmente establecida en cada tramo de vía (velocidad excesiva), y señalar circunstancialmente la velocidad en función de datos de tráfico, meteorológicos, ambientales, o económicos que justifiquen la circulación a velocidades distintas a los límites fijos.

10. Otras variables derivadas

Las características de la movilidad se ven afectadas por múltiples factores entre los que se destacan los siguientes:

- Tipo de **vía** (geometría, ancho de carril, nº de carriles, ancho de arcén, separación de sentidos, etc).
- Tipo de **vehículo** (vehículo ligero, vehículo pesado, vehículo de dos ruedas, vehículo de tracción mecánica, etc).
- Tipo de **conductor y de conducción** (conducción agresiva, conducción eficiente, conducción neutral, conducción conservadora, etc).
- Interacción **vehículo-vía**.
- Interacción **conductor-vehículo**.
- Interacción **conductor-vía**.

La ingeniería de tráfico tiene como principales objetivos el planeamiento, el trazado y la explotación de las redes viarias, de forma que la circulación de personas y mercancías sea segura, rápida y económica.

De las interacciones y factores que afectan a la movilidad, centrándose en el movimiento de vehículos a lo largo de una red viaria de características conocidas, se tiene que el movimiento de los vehículos puede definirse a través de 3 parámetros conocidos como "Parámetros fundamentales del Tráfico".

Las tres variables fundamentales del tráfico son: la intensidad, la velocidad y

la densidad de tráfico. Otra variable que también se utiliza habitualmente en el mundo del tráfico es la composición o clases de vehículos que forman la corriente de tráfico, en especial para determinar el porcentaje de vehículos pesados. Hay otras características, también interesantes para definir el tráfico, como son la separación entre vehículos (medida en unidades de longitud), el intervalo (medida en unidades de tiempo) y la ocupación.

Estos 3 parámetros fundamentales del tráfico se relacionan entre sí por medio de expresiones de tipo no lineal, ya estudiadas previamente.

RELACIÓN VELOCIDAD-SINIESTRALIDAD

La accidentalidad viaria ocurre sólo cuando existe movimiento, se puede afirmar que **la movilidad es la condición necesaria** (pero no suficiente) para que ocurra un accidente de tráfico, del que pueden o no derivarse lesionados, heridos y fallecidos.

La energía cinética $E_c = \frac{1}{2} m v^2$ expresa la energía de un cuerpo o sólido en movimiento de una masa “m” y que se desplaza a una velocidad instantánea “v”. Se puede observar como la energía crece exponencialmente con potencia 2 en función de la velocidad, por lo que a medida que los vehículos incrementan su velocidad, su energía cinética crece exponencialmente. En caso de impacto, esta energía que el vehículo concentra en forma de movimiento, se disipa en un impacto, en el que según la teoría de conservación de la energía, será tanto más grave o violento a medida que mayor sea la velocidad de circulación.

En el caso español, la velocidad inadecuada o excesiva está presente en aproximadamente el 40% de los accidentes con víctimas.

Como ya se ha visto, la velocidad puede ser inadecuada, definida como velocidad que no se adapta a los condicionantes del vehículo, de la vía, del estado del conductor, del ambiente, o de los condicionantes del tráfico.

Por otra parte, la velocidad puede ser excesiva, cuando es superior a la velocidad reglamentariamente establecida, bien de manera fija o dinámica, para el tramo de vía por el que el vehículo circula.

11. Métodos de obtención de parámetros de tráfico.

Dependiendo del tipo de velocidad que miden, y más antigua a más moderna, las técnicas de medición de velocidad son principalmente:

- Vehículo flotante, la técnica es manual y mide la velocidad media de recorrido.
- Estación de toma de datos, mediante gomas o mediante espiras electromagnéticas, mide la velocidad media temporal
- Radar, basado en el efecto Doppler y mide la velocidad media temporal
- Lectura de matrículas, basada en visión artificial de las placas de matrícula, mide la velocidad media de recorrido
- Espiras virtuales, basada en visión artificial, mide la velocidad media temporal.

Adicionalmente cabe citar otros dispositivos como los cinemómetros basados en tecnología láser, y sistemas recientes basados en el concepto “vehículo conectado” basados fundamentalmente en la telefonía móvil, bluetooth y los sistemas GPS de navegación, que convierten a cada vehículo en un sensor de tráfico, capaz de transmitir a los Centros de Gestión de Tráfico información relativa no solo a su velocidad, sino también de la activación de dispositivos como el limpiaparabrisas, alumbrado, ABS, ESP, generando alertas de posibles incidencias de tráfico o meteorológicas.

a. Vehículo flotante

La forma más sencilla de obtener las velocidades medias de recorrido de un tramo, es el empleo de vehículos que circulan por la red viaria o tramo de estudio, en el que viajan como mínimo un conductor y un observador.

El coche flotante trata de mantenerse flotando en la circulación, adelantando a tantos vehículos como lo adelantan a él, o bien trata de circular a la velocidad media que el conductor estima que equivale a la velocidad media del tráfico.

Para estos estudios es necesario un vehículo que efectúe varias veces el recorrido que se analiza, que conviene que tenga unas características medias representativas del parque de la zona donde se va realizar el estudio y que esté en condiciones de uso perfectas.

Una condición fundamental para la validez del estudio es que las condiciones de circulación a lo largo de todo el recorrido sean realmente representativas de la mayoría de los vehículos.

Para un determinado recorrido se obtendrá el tiempo medio. La norma es efectuar seis recorridos, hallando el tiempo medio. Las diferencias entre cada uno de los seis tiempos y la media se suman sin tener en cuenta sus signos. Si esta suma es menor que la media obtenida, se da por válido el resultado y en caso contrario se harán cuatro recorridos más. Lo que equivale a decir que la desviación media ha de ser como máximo $1/6$ de la media. El tiempo medio de recorrido se obtendrá a partir de la longitud total del tramo analizado y el tiempo empleado en recorrerlo. Es posible la utilización de GPS para facilitar los posteriores análisis de datos.

Dado que lo que se suele pretender es la obtención de las velocidades medias de recorrido en unos tramos previamente definidos, es fundamental que la velocidad de circulación existente en cada tramo a evaluar, no se vea afectado por factores que modifiquen la velocidad libre de circulación, de forma que cada tramo analizado tenga en

su conjunto una velocidad homogénea.

Algunos de los factores que afectan a la velocidad, tendrán que ser considerados a la hora de dividir la vía en tramos, ya que son factores permanentes y que afectan a la velocidad indistintamente de umbrales horarios o época del año. En general hay que tener en cuenta a la hora de tramitificar:

- **Trazado:** El trazado de una carretera se definirá en relación directa con la velocidad a la que se desea que circulen los vehículos en condiciones de comodidad y seguridad. Dependiendo del trazado existente, las velocidades de circulación podrán diferir notoriamente.
- **Pavimento:** En algunas carreteras, las condiciones del pavimento obligan a reducir la velocidad de los vehículos.
- **Proximidad zonas urbanas.** Independientemente del posible aumento de intensidad en las proximidades de zonas urbanas, la existencia de intersecciones y la gran información que se da al conductor, obliga a la reducción de velocidad

Otros factores que afectan a la velocidad y no son permanentes, sino puntuales en mayor o menor rango horario, son los siguientes:

- **Intensidad:** Mientras la intensidad del tráfico es baja, los conductores pueden mantener la velocidad que ellos juzguen más adecuada, mientras que cuando aumenta la intensidad, la velocidad de cada conductor viene determinada en gran parte por la velocidad de los demás conductores, produciéndose una disminución en la velocidad media de recorrido. Cuando la intensidad es muy alta y la carretera llega a estar congestionada, la velocidad resulta poco influida por las características de la carretera e incluso es la misma para todos los vehículos.
- **Factores meteorológicos:** aquellos desfavorables hacen disminuir la velocidad dependiendo de la intensidad de los fenómenos meteorológicos. Por la noche y dependiendo mucho de la existencia de iluminación en la carretera, la velocidad media de recorrido disminuye de forma apreciable.
- **Característica de los conductores:** Un parámetro importante y poco considerado a la hora de incluir en los factores que afectan a la velocidad, son las características de los conductores. Las velocidades medias de recorrido de un tramo de carretera, pueden variar dependiendo de si la mayoría de conductores circulan habitualmente por ese tramo, si el conductor es extranjero, si es un fin de semana con mayores desplazamientos de conductores desconocedores de las características del trazado

o bien si un tramo concreto es más utilizado para desplazamientos de grandes distancias (dependerá de la época del año).

b. Sistema de lectura de matrículas

El sistema de lectura de matrículas obtiene el tiempo empleado por cada vehículo en recorrer un determinado tramo, en cuyos extremos se sitúan los equipos de toma de datos que registran la matrícula de los vehículos que circulan por el inicio y fin del tramo, pudiéndose obtener el tiempo empleado individualmente en efectuar el recorrido y por lo tanto la velocidad al ser una longitud conocida (ilustración 1)

Todos los datos de matrículas obtenidos por el sistema de lectura de matrículas, se envían a un servidor que es el encargado de comprobar las coincidencias de matrículas existentes para posteriormente obtener básicamente los siguientes datos:

- Identificación de la cámara que realiza el registro.
- Fecha y hora de la detección del vehículo en el punto de entrada y punto de salida.
- Longitud del tramo
- Matrícula del vehículo
- Tiempo de recorrido individual.
- Velocidad media de recorrido para cada vehículo
- Velocidad media de recorrido para el conjunto de vehículos que han circulado en un determinado tiempo.

c. Estación de toma de datos (ETD)

La Estación de Toma de Datos es el equipamiento que tradicionalmente más se ha usado en los Centros de Gestión de Tráfico para el conteo, clasificación y determinación de **velocidades medias temporales**. Las ventajas de este equipamiento radican en la gran cantidad de información que se pueden obtener a través de ellas y resistencia a condiciones climáticas adversas.

El equipo está compuesto por parejas de lazos electromagnéticos embebidos en el asfalto y conectados a una unidad de proceso y almacenamiento de datos, que permite la obtención, entre otros parámetros, de la velocidad media temporal del conjunto de vehículos, según el periodo temporal de agregación deseado.

El principio físico que sostiene el procedimiento es la ley de Lenz. Este físico demostró que si por un lazo cerrado (o espira) se la hace circular una corriente de una intensidad dada y, dentro de ese lazo se introduce un pedazo de hierro (vehículo), la intensidad se ve modificada. Lo que hace el procedimiento es medir esos pequeños

cambios de intensidad y asignárselos a la circulación de un vehículo por el interior de una espira. Más técnicamente lo que se monta es un circuito oscilador conectado a las espiras que produce un campo electromagnético de una determinada frecuencia. Este campo se ve alterado cuando el vehículo entran en la zona de influencia de dicho campo, produciendo un descenso en la inductancia de la espira y un aumento en la frecuencia (ilustración 3)

Esquema estándar de instalación de espiras

El sistema de captación de datos de tráfico, se compone de dos espiras electromagnéticas y un detector que interpreta las variaciones causadas por el paso de los vehículos sobre las espiras (ilustración 2).

Los datos de tráfico que se obtienen a partir de la ETD, se basan fundamentalmente en los siguientes parámetros:

- Longitud de la espira.
- Longitud entre cabeceras de espiras situadas en el mismo carril de circulación.
- Comienzo de la activación de cada espira.
- Tiempo transcurrido entre activaciones.

d. Espiras virtuales

La obtención de datos de tráfico mediante visión artificial, utiliza los mismos parámetros que la ETD, con la diferencia de que no utiliza las variaciones de frecuencia de las espiras electromagnéticas para la detección de un vehículo, sino el análisis de imágenes en las espiras virtuales creadas.

Dependiendo de la configuración de espiras virtuales, los datos de tráfico obtenido por el sistema pueden ser distintos, pero si la configuración de espiras virtuales es similar a la utilizada en las ETD, es decir, dos espiras por carril de circulación, los datos proporcionados por el sistema son los mismos que los proporcionados por la ETD, utilizando además los mismos parámetros de longitudes de espiras, ocupaciones, inicios/finales de activación, etc.

e. RADAR

La detección de los vehículos mediante un sistema de radar de microondas, se basa en el **efecto Doppler**, que consiste en el envío por parte del radar de una señal de microondas de forma constante, la cual, al impactar con el móvil, se recibe desviada en su frecuencia respecto a la enviada originalmente.

Puede ser configurado en una modalidad que emite un haz estrecho que únicamente controla un carril en un sentido de circulación. En esta modalidad, el equipo irá situado normalmente en pórtico.

12.Procedimientos de integración y análisis

Las tareas desarrolladas por las autoridades encargadas de la gestión y el control del tráfico pivotan indiscutiblemente en los Centros de Gestión de Tráfico (CGT), desde los que no solo se controla y monitoriza la circulación de vehículos, sino que también se “gestiona la oferta” y mediante herramientas de alto valor añadido se tiende igualmente a “gestionar la demanda”.

En apartados anteriores se han descrito todos los dispositivos ITS que se emplean para la captación de datos de tráfico y datos asociados al tráfico como los meteorológicos y ambientales.

Adicionalmente a estas fuentes de información, existen otras fuentes, de distinta tipología y fiabilidad, que se distinguen a continuación:

- Cámaras de televisión.
- Colaboración ciudadana.
- Servicio de gestión de emergencias (112).
- Policía de Tráfico (en el caso de la DGT es la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil).
- Información transmitida desde helicópteros: estado de la circulación, imágenes de video, disciplina del tráfico, situaciones de emergencia, etc).

Es en los CGT donde toda la información se concentra, y desde ellos se pueden llevar a cabo las siguientes acciones:

Transmisión de la información bruta a operadores de servicios de valor añadido (google, inrix, etc).

Elaboración de la información y transmisión directa a los usuarios de la vía y a la ciudadanía en general por distintos medios:

- TV.
- Radio.
- Teletexto.
- PMV.
- PMV embarcado.
- Teléfono móvil (apps).
- Radio Tráfico (TMC/RDS).
- Redes sociales.

En el siguiente esquema se resume este proceso de gestión de la información:

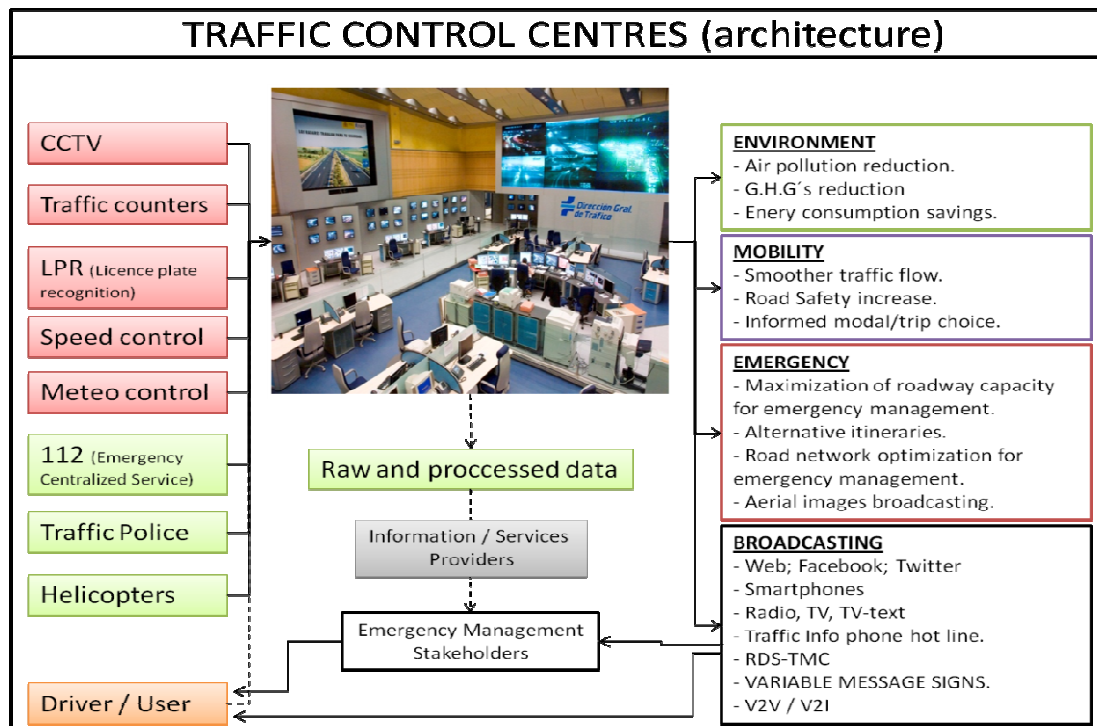


Ilustración :El Centro de Gestión de Tráfico como concentrador, elaborador y difusor de información. (Fuente: Comité Técnico de Gestión de Riesgos en Carretera de la AIPCR).

La calidad, uniformidad, fiabilidad, y normalización resulta fundamental a la hora de gestionar el tráfico y transmitir información creíble y de valor añadido para la toma de decisiones de viaje.

En el caso de la Dirección General de Tráfico, que recoge diariamente millones de Gb de datos de tráfico y de datos meteorológicos, a través de 2.177 PMV, 1.911 detectores, 300 lectores de matrícula, 1.553 cámaras de televisión, alrededor de 10.000 agentes de la ATGC, es aplicable la norma PNE199151-1 (Calidad de Datos), del subcomité 15, y la norma **199111-2-1** (Tratamiento y almacenamiento de información básica. Información de estaciones de toma de datos), y la norma **199111-2-2** (Tratamiento y almacenamiento de información básica. Información meteorológica), todas pertenecientes al **Comité de Normalización 199 de AENOR de Equipamiento para la Gestión del Tráfico**.

En los foros de los subcomités se da cabida a todos los agentes implicados en la materia objeto de normalización, como son fabricantes, desarrolladores, integradores, instaladores, etc, a fin de alcanzar soluciones que debido al grado de implicación legal

deben satisfacer a todas las partes si bien cumpliendo el criterio de interés general que la DGT en este caso salvaguarda por medio de la presidencia de cada uno de estos subcomités.

Una vez que el dato es detectado, transmitido de manera normalizada, almacenado, reconstruido en base a reglas, analizado, elaborado y tomado en consideración para una decisión, aparece como elemento fundamental en la tarea de gestión del tráfico es la información al conductor, entendida tanto en su aspecto de información del tráfico (“Traffic Information”) como en el de información al viajero (“Travel Information o Trip Information”) ya que se trata de uno de los más potentes instrumentos de gestión porque contribuye de manera decisiva a reducir la congestión y ciertos accidentes.

La movilidad sostenible y segura depende fundamentalmente del factor humano, esto incluye su comportamiento como conductor de vehículos a motor y vehículos no motorizados, pero mucho antes de elegir un modo en el que realizar su viaje, cada individuo debe tomar unas decisiones de viaje. Entre las decisiones a tomar se encuentran fundamentalmente las siguientes:

- Fecha y franja horaria.
- Modo de transporte.
- Itinerario.
- Compartir el viaje (car-pooling).

Estas decisiones dependerán de múltiples factores, tanto los propios que describen al usuario como los que definen el entorno socioeconómico y cultural en que se encuentra. En efecto, **detrás de cualquier desplazamiento subyace una gran incertidumbre y un proceso de toma de decisiones (ver siguiente figura), que no siempre contempla toda la información existente y que podría dar lugar a decisiones desinformadas e ineficientes que no minimizan el coste generalizado del viaje (este concepto engloba el coste económico, el coste temporal, y estima la percepción de la calidad) y que pueden llegar a no ajustarse finalmente a las preferencias de los usuarios, nada que ver con la movilidad sostenible y eficiente.**

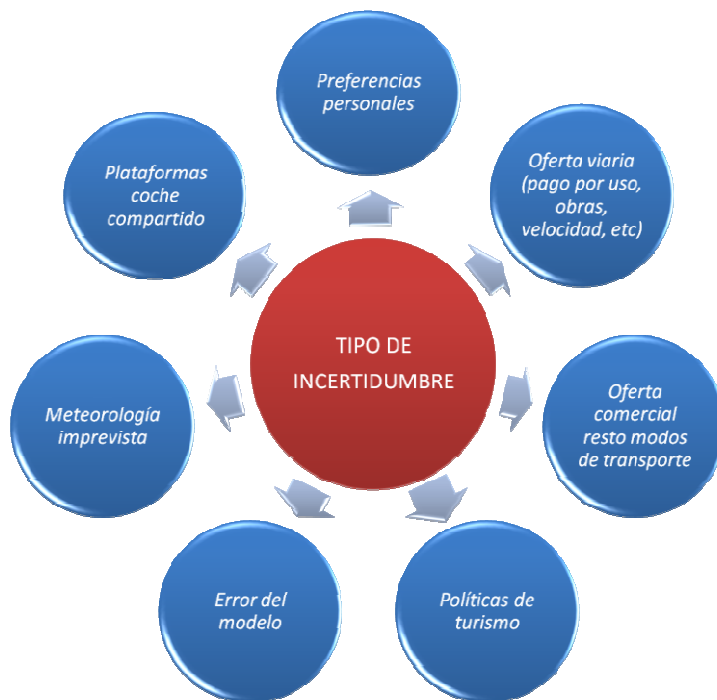


Ilustración: Esquema representativo de las incertidumbres asociadas a las decisiones de movilidad.

En el caso del tráfico, **compartir y retransmitir la información redundante en un uso de la capacidad de la red más eficiente que tiende a minimizar los costes externos (congestión, accidentalidad, contaminación) generales del conjunto de los usuarios.**

Independientemente del medio en el que se distribuya el mensaje que contiene la información de valor añadido (página web, aplicación móvil, radio, TV, teletexto, navegador del vehículo, paneles de mensaje variable en carretera, etc), **el principio fundamental de un sistema de información de tráfico debe asentarse sobre los siguientes criterios:**

- **Veracidad.**
- **Actualidad.**
- **Claridad.**
- **Concisión**
- **Exactitud.**
- **Accesibilidad.**

- **Rapidez.**
- **Economía.**

El canal de transmisión puede permitir que el flujo de la información entre el Centro de Gestión de Tráfico (CGT) y el usuario, sea en un único sentido o en ambos. En este caso y cuando la comunicación se establece entre el CGT y el usuario individual se consigue alcanzar la personalización del mensaje, de manera que aquél proporciona a éste, exclusivamente, la información que solicita.

En este sentido, las nuevas tecnologías basadas en el concepto de “vehículo conectado”, abren la posibilidad de personalizar los mensajes (de información, advertencia, recomendación y reglamentación) adaptados al tipo de vehículo, a la vía por la que circula, y al tipo de conductor, ya que los CGT podrán emitir mensajes codificados que sólo reciban los vehículos diana a los que se dirige el dato. Por ejemplo, si existe una restricción a la circulación de vehículos pesados durante una franja horaria en un tramo determinado de carretera, el CGT emitirá en dicha franja horaria un mensaje dirigido exclusivamente a los vehículos pesados que se detecten en dicho tramo. Otro ejemplo podría ser la emisión de mensajes de reglamentación del límite de velocidad, obligación de utilizar los sistemas de retención, o de advertencia por circular en situaciones administrativas irregulares (seguro obligatorio, ITV, situación de baja temporal/definitiva), etc.

De este modo, los mensajes emitidos desde los CGT pasarán a adquirir una máxima tasa de incidencia en los conductores ya que siempre que reciban un mensaje o dato, éste estará adaptado a su itinerario y a su vehículo.

La información vial puede clasificarse de acuerdo con diversos criterios:

1. Según la generación y difusión
2. Según el contenido
3. Según el receptor
4. Según el medio de difusión

ANEXO

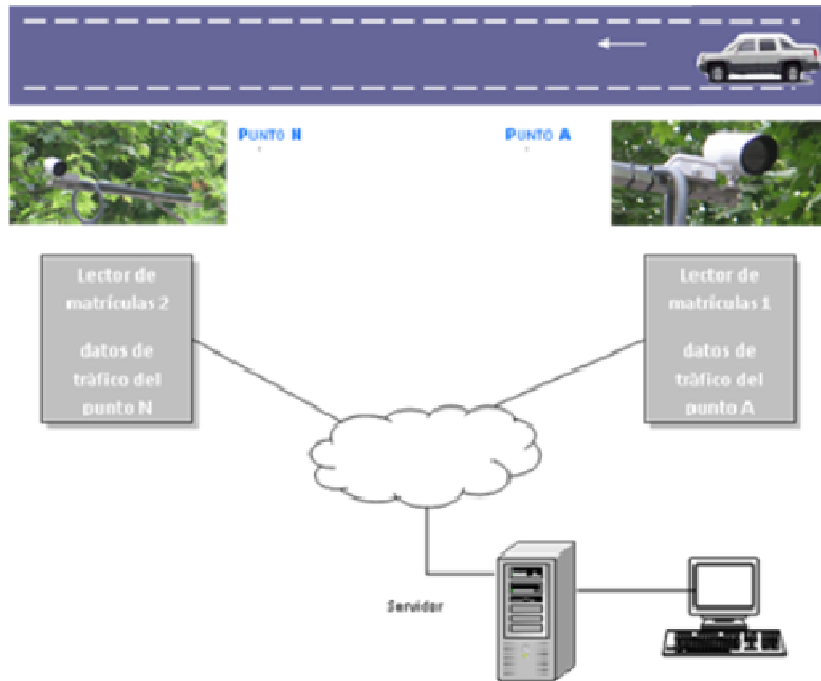
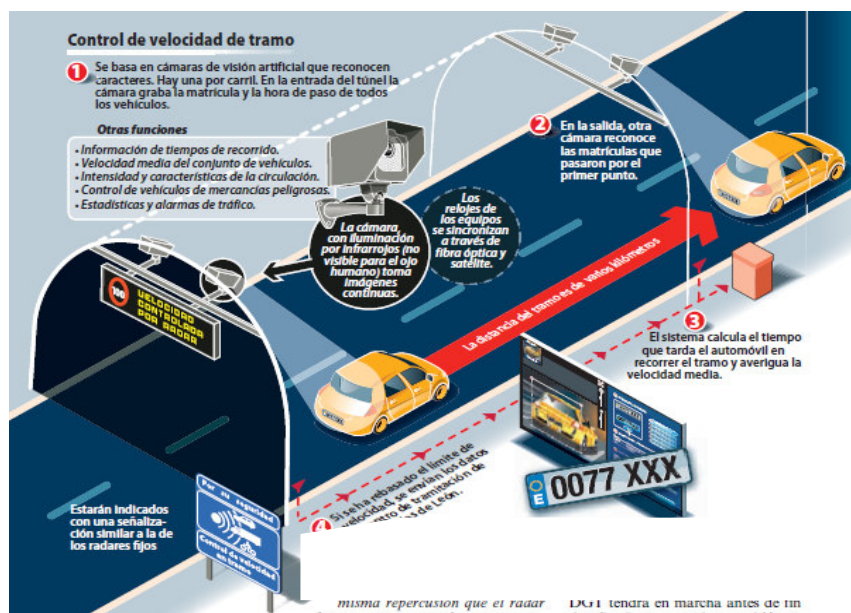


Ilustración 1



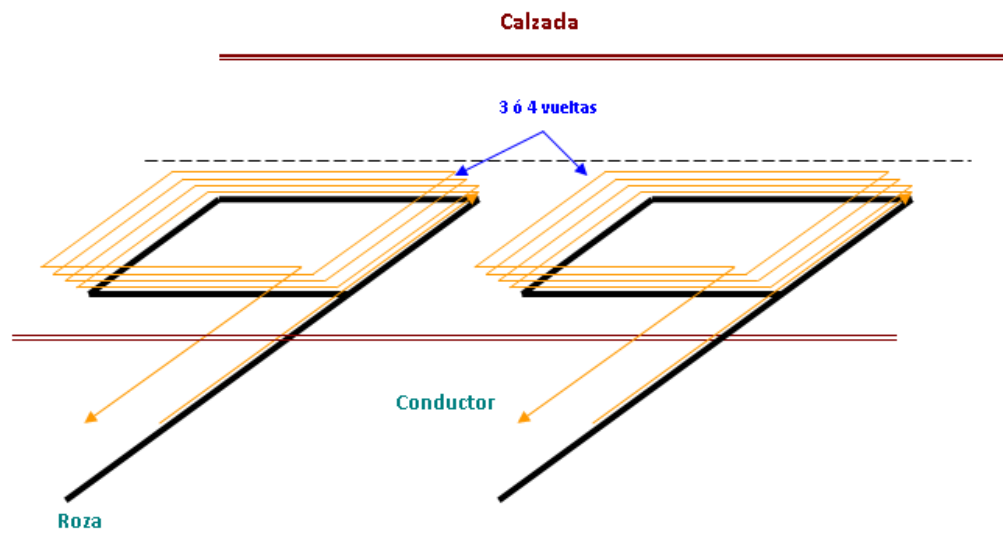


Ilustración 2

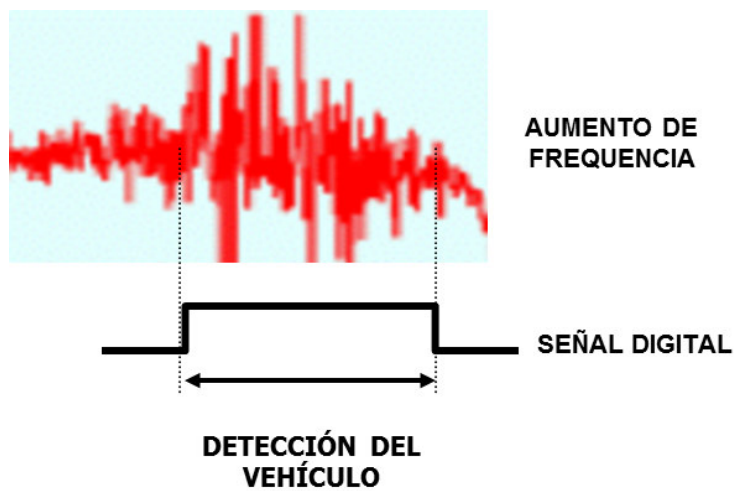


Ilustración 3