



A-8. Bilbao.

Influencia de una zona controlada mediante radares fijos en la distribución de las velocidades

POR JAVIER SAMPER,
JAVIER MARTÍNEZ,
VICENTE RAMÓN TOMÁS,

Y

JUAN JOSÉ MARTÍNEZ
INSTITUTO DE ROBÓTICA,
UNIVERSIDAD DE VALENCIA.

1. Introducción

Este artículo tiene como objetivo mostrar cómo afecta a la distribución de las velocidades en una vía de alta capacidad la instalación de una zona de

control mediante el empleo de radares fijos.

La prueba piloto se realizó en la zona metropolitana de Bilbao, en un tramo de la A-8 en el que había un rango de velocidades entre 80 y 120 km/h. La instalación de los radares está enmarcada en el

convenio que, en mayo de 1996, el Departamento de Interior del Gobierno Vasco y la Diputación Foral de Vizcaya firmaron para coordinar las actuaciones y aportaciones de ambos sobre la red de carreteras del Gran Bilbao. El principal objetivo de este acuerdo era el de unificar esfuerzos para dar solución a un conjunto de deficiencias y problemas detectados en la gestión y explotación de esta red viaria.

La zona de limitación fija de velocidad a 80 km/h, mediante un sistema de radares, se implantó en febrero de 1997 en las principales vías del Gran Bilbao (la autopista A-8, la N-637 y la BI-637), y corres-



Vista parcial de la A-8, en sentido a San Sebastián. Poste 20 m.

Un aspecto que se analizó antes de la toma de los datos fue cómo podía distorsionar el vehículo que se utilizaba, que permanecía estacionado en el arcén

ponde con una zona de 18,8 km por sentido. Los radares llevaban asociada una cámara fotográfica para sancionar a los conductores que infringiesen los límites de velocidad marcados.

2. Fases del estudio

El estudio se dividió en 3 fases: antes de la instalación de los radares, a los pocos días de la implantación de la medida y a los 8 meses de la instalación. En cada una de ellas se realizaron las siguientes tareas:

- a) Medición de la velocidad.
- b) Tratamiento y análisis de los datos:

b1. Obtención de unas tablas con información acerca de las velocidades medias, los

porcentajes de vehículos que superan los 120 km/h, los 100 km/h, los 80 km/h, la V_{85} y la V_{99} .

b2. Confección de unas gráficas de las velocidades medias para cada itinerario.

b3. Análisis descriptivo e histogramas de las variables.

b4. Análisis estadístico, con el fin de estudiar en detalle los distintos patrones del tráfico.

2.1 Campañas de mediciones, toma de datos

En la definición del estudio se establecieron tres campañas de mediciones. La primera de ellas se realizó con anterioridad a la implantación de la zona de control, la segunda de ellas al poco de haberse tomado la medida y la última 8 meses después de la puesta en marcha de los radares, una vez que se es-

timó que la nueva situación ya se había consolidado.

Estas tres campañas de mediciones han permitido comparar y analizar cuál ha sido el comportamiento de los patrones del tráfico al instaurar este tipo de medidas, mediante el estudio de las distribuciones de las velocidades resultantes.

En cada período de mediciones se estableció un conjunto de 20 puntos de medida. Para la ejecución de los trabajos se utilizó un turismo y un radar fijo, portátil, basado en el efecto "Doppler". El vehículo se colocaba en el arcén paralelamente al eje de la vía, y un equipo formado por dos personas realizaba las mediciones.

Un aspecto que se analizó antes de la toma de los datos fue cómo podía distorsionar el vehículo que se utilizaba, que permanecía estacionado en el arcén, el comportamiento normal del tráfico. Varias fueron las medidas que se adoptaron para minimizar este impacto:

- Se utilizaba siempre un coche de pequeñas dimensiones, modelo no usado por la Ertzaintza.

• La toma de los datos se realizó en los tres periodos con las mismas premisas

• Se estaba trabajando en una zona metropolitana donde no era anormal encontrar un vehículo detenido en el arcén.

En el último periodo de mediciones se establecieron unos puntos adicionales de medida exteriores a la zona de control, para estudiar el comportamiento del tráfico en las zonas próximas y observar si se producían ondas de choque al llegar a los radares.

Un aspecto importante en la definición de los periodos horarios en los que se realizaron las tomas fue que el nivel de servicio durante la medición no fuese igual o superior al D. Con esta hipótesis, se intentó asegurar que la velocidad de los vehículos en la vía no se viera condicionada por la intensidad del tráfico y, por tanto, estuviera sólo limitada por la señalización.

2.2 Tratamiento y análisis de los datos

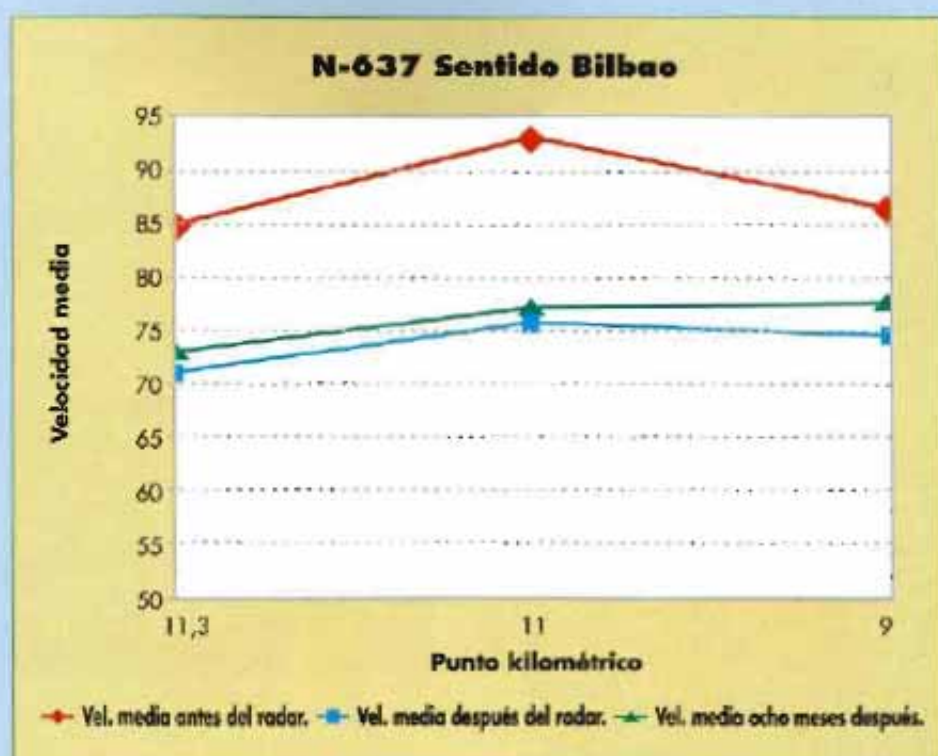
Una vez realizadas las pruebas de campo se analizaron los datos en el gabinete mediante el empleo de un conjunto de herramientas informáticas de explotación de bases de datos y de análisis estadístico.

2.2.1 Construcción de tablas y obtención de datos básicos

En primer lugar se construyó una tabla para cada uno de los emplazamientos de medida con los datos obtenidos en el campo. Una vez confeccionadas las tablas, se obtuvo un conjunto de parámetros básicos que permitiesen tener una primera aproximación a la información final.

Los datos obtenidos fueron:

1. Velocidad media.
2. % de vehículos que circulaban a más de 120 km/h.
3. % de vehículos que circulaban a más de 100 km/h.



4. % de vehículos que circulaban a más de 80 km/h.

5. V_{15} (Velocidad superada por el 15% de los vehículos).

6. V_{95} .

En la primera campaña de mediciones, antes de la implantación de los radares, este conjunto de datos permitió obtener varias conclusiones:

• En algunos puntos, la velocidad media era superior a la limitada por la señalización vertical.

• La V_{95} superaba, en casi todos los puntos de medida, los 100 km/h, llegando en dos puntos a 114 y 120 km/h.

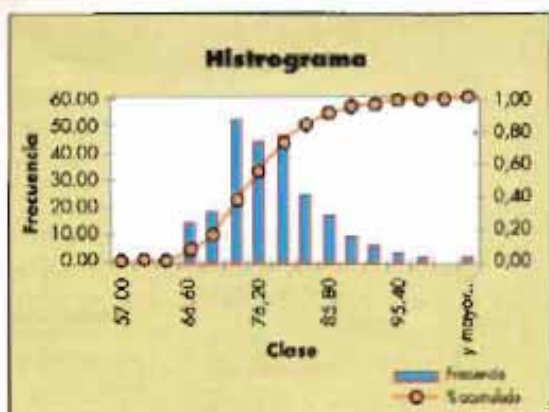
• La V_{95} era, en la mayoría de los casos, superior a 120 km/h.

Comparando esta información con los datos de accidentes, de los que un gran número correspondían a salidas de la calzada, y con un análisis del trazado de la vía, en el que se analizaron las velocidades específicas, se determinó que el factor que más influía en la siniestralidad era una velocidad excesiva. Estos datos motivaron que se decidiese la instalación de los radares y se implantase una zona de control de la velocidad a 80 km/h.



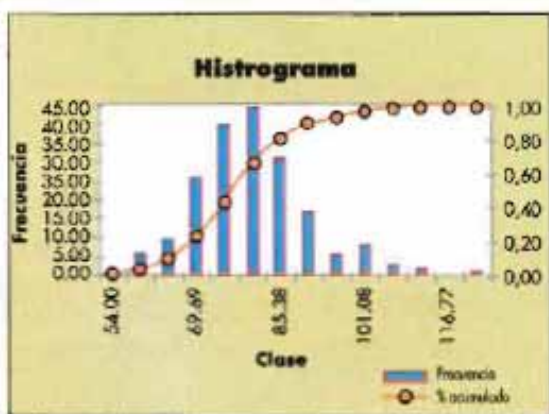
Inmediatamente después de la instalación

Media	76,22
Error típico	0,46
Mediana	76,00
Moda	78,00
Desviación estándar	7,10
Varianza de la muestra	50,39
Curtosis	1,56
Coefficiente de asimetría	0,68
Rango	48,00
Mínimo	57,00
Máximo	105,00
Suma	18 140,00
Cuenta	238,00
Nivel de confianza (95%)	0,91



Antes de la instalación de los radares.

Media	77,22
Error típico	0,77
Mediana	76,00
Moda	72,00
Desviación estándar	10,77
Varianza de la muestra	115,91
Curtosis	1,44
Coefficiente de asimetría	0,72
Rango	68,00
Mínimo	54,00
Máximo	122,00
Suma	15 057,00
Cuenta	195,00
Nivel de confianza (95%)	1,52



El protocolo de trabajo se repitió en las distintas etapas de medición; el análisis de los datos se realiza en los apartados siguientes.

2.2.2 Análisis de los itinerarios

Para cada carretera se construyeron una serie de gráficas que permitían observar cómo iba evolucionando la velocidad a lo largo de un itinerario. De esta forma se puede observar si el patrón de tráfico es homogéneo o sufre variaciones bruscas.

En la fase de instalación, se analizó la posibilidad de que se produjesen zonas de aceleración y frenado producidas por la presencia del radar. Teniendo en cuenta esto, los radares se instalaron en batería, cubriendo toda la zona de control. En cada punto de control se dispusieron dos o tres radares en una distancia de entre 1 y 1,5 km. Las gráficas que se mues-

tran permiten estudiar este tipo de efectos.

Como ejemplo puede servir la gráfica en la que se muestra la evolución de la velocidad

media en la N-637 en el sentido de entrada a Bilbao.

2.2.3 Análisis descriptivo de las variables

El siguiente paso fue el análisis descriptivo de las variables, cuyo resultado se presentó en forma de tablas y de su histograma. Con este análisis se obtuvieron los parámetros que se necesitaban para realizar un análisis estadístico avanzado de los datos obtenidos.

A continuación (gráfica de la página anterior), se muestran los resultados para un punto particular de la muestra, que corresponde al p.k. 11 de la N-637, en el sentido Getxo - Bilbao. Los resultados obtenidos son los que aparecen en las gráficas superiores.

Este análisis permite observar cómo el histograma de las muestras obtenidas antes de poner en marcha la medida presenta una dispersión mucho mayor, con una desviación estándar de 16; claramente se observa cómo había una fuerte diferencia de velocidades. En los muestreos efectuados una vez instalados los radares se obtuvo que la dispersión de las velocidades era mucho me-



Vista parcial de la A-8, en sentido a Santander. Poste 20 m.

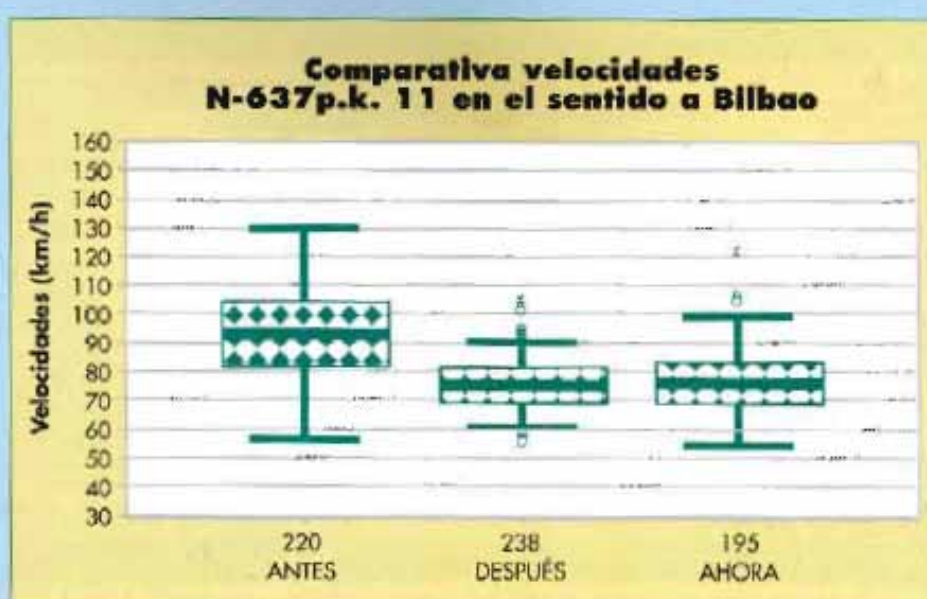
nor y aparecían mucho más concentradas alrededor de la media, siendo la desviación estándar de 7 y 10. Como se observa en los resultados, la medida consiguió obtener una distribución de velocidades más homogénea y, por tanto, se consiguió calmar el tráfico. Cabe decir que la velocidad media bajo casi 15 km/h.

2.2.4 Análisis estadístico

El análisis estadístico ha consistido en un contraste de la igualdad de medias, una técnica que permite comprobar si hay una prueba estadística de que las medias de dos muestras son diferentes. Previamente, se ha realizado un contraste de la bondad de ajuste, para comprobar si podía considerarse que las variables obtenidas provenían de una distribución normal, lo cual facilita los posteriores contrastes.

2.2.4.1 Contraste de bondad de ajuste

Para todos los muestreos se realizó el cálculo del estadístico de Kolmogorov-Smirnov, obteniéndose valores inferiores al 0,1; por lo que se puede concluir que la distribución de



La homogeneización del tráfico y la reducción de velocidad ha permitido reducir en más de un 50% el número de accidentes en esta zona, pasando de 956 en 1996 a 457 en 1997

las velocidades se ajusta a una distribución normal.

2.2.4.2 Contraste de la igualdad de las medias

Se han realizado tres con-

trastes entre los tres muestreos, para todos los puntos de medida. El más importante es el que se realizó entre las muestras antes de la colocación de los radares y las que se tomaron ocho meses después de la implantación.

Este último contraste se realizó para comprobar cómo había repercutido el paso del tiempo en la medida adoptada. Este análisis nos permite comprobar si los conductores ya se habían acostumbrado a la nueva situación y mantenían unas velocidades medias por debajo de 80 km/h o si, por el contrario, se había vuelto a la situación anterior con una velocidad media alta.

Una vez comprobada la normalidad de todas las variables, se realizó el contraste de medias, mediante un test *t* para muestras independientes.

Los resultados obtenidos demuestran que la diferencia de las medias entre la situación



Otro tramo de pruebas de la A-8.

anterior y las dos posteriores está en torno a 15 km/h, con un intervalo de confianza del 95%. Por ello, se puede decir que la situación se mantuvo después de ocho meses de estar la medida en funcionamiento.

En el caso de la comparación de los dos muestreos realizados después de la implantación, se obtuvo una diferencia entre las medias de casi una unidad. Pero no hay suficiente significación estadística para rechazar la hipótesis de igualdad de las medias, ya que $\text{signif} = 0,249 > 0,05$ y el intervalo de confianza obtenido incluye el valor 0.

En conclusión, se aprecia un claro descenso de las velocidades medias obtenidas después de la instalación del radar respecto a las anteriores a dicha instalación, situándose dicho descenso en cifras que varían entre los 13 y los 19 km/h.

2.2.4.3 Gráficos "boxwhiskers"

Para completar el estudio, se hace uso de una herramienta estadística que permite visualizar de una forma gráfica y muy sencilla el aspecto de las distribuciones de diversas variables con objeto de compararlas. Los gráficos que se obtienen se denominan "boxplots" o "boxwhiskers", y representan el grado de variabilidad o dispersión de las variables en estudio.

Este tipo de gráficos consta de una línea central gruesa que representa la mediana de la distribución, una caja limitada por los cuartiles primero y tercero (es decir, los percentiles 25 y 75) de la distribución, y unas líneas de menor grosor llamadas "patillas" o "bigotes", que representan el doble del rango intercuartilico (diferencia entre los percentiles 25 y 75), por encima y por debajo de la mediana. En el in-

terior de la caja quedarían incluidos el 50 % de los valores. El resto de puntos (valores extremos o atípicos) se marcan fuera (por encima o por debajo) de las patillas.

Por tanto, una caja pequeña y unas patillas no muy distantes entre sí vendrían a significar que la distribución de la variable está muy condensada en torno a su mediana. Por contra, si la caja es grande y las patillas están muy alejadas, la distribución de la variables se consideraría dispersa, indicando un alto índice de variabilidad.

Colocando más de un boxwhisker en el mismo gráfico, podremos comparar las distribuciones de más de una variable, mediante la comparación de sus medianas, el tamaño y la situación de sus cajas y patillas, y el número de valores atípicos o extremos.

En la parte superior se presenta un ejemplo de este tipo de representación para la muestra que se ha estado utilizando en todo el artículo, el p.k. 11 de la N-637, en el sentido a Bilbao, siendo N el nú-

mero de muestras tomadas.

Las variables Antes, Después y Ahora hacen referencia al período en el que se realizó la toma de datos en relación a la puesta en funcionamiento de los radares. La variable Antes hace referencia a una campaña de mediciones que se realizó en enero de 1997; la variable Después corresponde a una campaña de mediciones que se hizo en marzo de 1997; y Ahora, a otra campaña realizada seis meses después, en septiembre de 1997.

En la gráfica se observa claramente cómo los valores obtenidos antes de los radares eran mucho mayores (téngase en cuenta que la caja representa el 50 % de los valores alrededor del valor central), y posteriormente descendieron con la implantación de la medida.

También cabe destacar el mayor grado de dispersión o variabilidad en la primera de las tomas. Una vez implantada la medida, la distribución de velocidades presenta menos dispersión y unos valores más pequeños. Como rasgo común



N-637. Vista panorámica del nudo de Kukularra.

a todas, cabe citar que aparecen unos valores extremos que reflejan unas velocidades atípicas en cada una de las tomas.

3. Conclusiones

El estudio ha permitido analizar cómo influye el establecimiento de una zona de control de la velocidad en su distribución, mediante la toma de datos antes y después de la puesta en funcionamiento.

La zona de control mediante radares ha supuesto cambiar una zona de una vía en la que se circulaba a una velocidad entre 80 y 120 km/h (según la señalización) a una zona de velocidad homogénea a 80 km/h, consiguiéndose una disminución de la velocidad media entre 13 y 19 km/h. La disminución de velocidad tuvo éxito porque se usaron los radares para sancionar a los conductores que infringían el límite de 80 km/h.

Esto ha supuesto, así mismo, una reducción importante en la dispersión de las velocidades de los vehículos. De esta forma, se ha conseguido que el patrón de tráfico sea más uniforme, ya que ahora la gran mayoría de vehículos circula en unos márgenes de velocidad muy cercanos. Esto ha posibilitado que se reduzca la distancia entre los vehículos, se han reducido los cambios de carril, se ha aumentado la capacidad efectiva de la vía, etc.

La homogeneización del tráfico y la reducción de velocidad ha permitido reducir en más de un 50% el número de accidentes en esta zona, pasando de 956 en 1996 a 457 en 1997. Así mismo, la gravedad de los accidentes se ha reducido en una proporción similar.

Otra consecuencia directa de la reducción de accidentes fue la reducción en el número de periodos de congestión que

El estudio ha permitido analizar cómo influye el establecimiento de una zona de control de la velocidad en su distribución, mediante la toma de datos antes y después de la puesta en funcionamiento



Carretera BI-637 a su paso por La Avanzada.

se producían en este tramo, ya que hay que tener en cuenta que esta subred funciona durante gran parte del día cerca de su capacidad, lo que supone que ante el más mínimo incidente la congestión estaba asegurada.

4. Referencias

"Bilbao, seis meses después de la instalación de radares en la A-8". Jornadas Técnicas de Seguridad Vial y Equipamiento de la Carretera. Traffic'97. Javier Martínez Plumé, Juan Ignacio Sánchez, Vicente Ramón Tomás López, Juan José Martínez Durá, José Javier Samper Zapater.

"Aplicación de un Simulador Macroscópico en el área metropolitana de Bilbao". Jornadas Técnicas de Seguridad Vial y Equipamiento

de la Carretera. Traffic'97. Javier Martínez Plumé, Juan Ignacio Sánchez, Vicente Ramón Tomás López, Juan José Martínez Durá, José Javier Samper Zapater.

"Estudio de Seguridad Vial en el área metropolitana de Bilbao". Ponencias y comunicaciones del XIV Symposium Nacional de Vías y Obras de Administración Local VYODEAL. I Congreso nacional de carreteras locales, Asociación Española de la Carretera. Martínez J., Estefanía C., Egiara I. y otros (mayo 1997).

"Instrucción de Carreteras Norma 3.1-IC trazado" Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Dirección General de Carreteras.

Concise Encyclopedia of Traffic & Transportation Systems. M. Papageorgiou. Editor. ■