

Estudio de la implementación de sistemas de velocidad variable en la vía C-31N de acceso a la ciudad de Barcelona

M.A. de los Santos López, D. Gallegos Díez, F. Liesa Mestres

Dpto. de Ingeniería Mecánica, ETSEIB, UPC, Avda Diagonal 647, Barcelona, España.
tania.santos@upc.edu

En los últimos años, los sistemas de gestión inteligente del tráfico se están incorporando como una herramienta de futuro para la gestión de la movilidad en los accesos a las grandes ciudades. Los objetivos principales son la reducción de las colas y el tiempo de recorrido, la reducción de las emisiones y la reducción de los accidentes. En este trabajo se evalúan los potenciales beneficios que conlleva la instalación de los sistemas de velocidad variable en una de las vías de acceso a la ciudad de Barcelona –C31 Norte- que aún no dispone de dicho sistema de gestión que absorbe una gran parte de la movilidad de los accesos norte de la ciudad. Para dicha vía se ha caracterizado el flujo de tráfico y a partir de datos experimentales se ha obtenido un patrón de flujo. Así mismo se ha modelizado la vía y se ha realizado la simulación, mediante el programario AIMSUN, del comportamiento del flujo de tráfico al aplicar sistemas de velocidad variable en situaciones cercanas a la congestión, con el fin de valorar sus beneficios potenciales. Las variables de tráfico analizadas son la densidad (ocupación) e intensidad (flujo), el porcentaje de intensidad con respecto a la capacidad de la vía, el tiempo de recorrido y el tiempo de demora y parada, el número de paradas y la velocidad. Todas las variables se han analizado tanto a lo largo de toda la vía como en cada una de las secciones de la vía consideradas.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de gestión de tráfico en vías de alta capacidad mediante sistemas de velocidad máxima variable pueden englobarse dentro del paquete de tecnologías ITS (Intelligent Transport Systems), como una de las herramientas de implementación básica en vías de alta capacidad.

En la ciudad de Barcelona, estos sistemas de gestión inteligente de la velocidad se instalaron a principios del año 2009. Concretamente, en las vías fueron la C-31 Sur y la C-32 Sur, que son las vías principales de acceso de la ciudad de Barcelona desde el sur.

Las principales medidas y características que se introdujeron con la implementación de este sistema fueron:

- Limitación de la velocidad máxima de la vía, en función de las características del tramo (120 km/h; 100 km/h, 90 km/h, 80 km/h)

- Introducir un sistema de gestión de velocidad máxima variable, que funcionaba con los siguientes parámetros principales:

- a) 80 km/h en condiciones de baja intensidad y empleo, es decir, en condiciones de tráfico fluido.

- b) 40 km/h en condiciones de elevada intensidad y empleo, es decir, en condiciones de saturación y congestión.

- Instalación de indicador de velocidad máxima variable en los pórticos con paneles de información dinámica.

En este periodo de funcionamiento se han analizado los beneficios que aportan estos sistemas inteligentes de la movilidad y se ha podido constatar la mejora de la regulación del flujo de tráfico en función de las necesidades, obteniendo una gestión adaptativa, es decir, optimizando condiciones en la vía en tiempo real.

Las vías que potencialmente son candidatas a implementar estos sistemas en primer lugar serían aquellas que tienen una configuración geométrica aproximadamente constante en su recorrido. Este es el caso de la C-31 Norte, con 3 carriles hasta la entrada a Barcelona por Gran Vía para la cual se realiza el estudio.

2. ANÁLISIS DE LA VÍA

La C-31 Norte es la vía de alta capacidad de acceso a Barcelona que recoge el flujo de vehículos que provienen de las comarcas del Maresme y que quieren acceder a la ciudad de Barcelona. Concretamente, esta vía transcurre entre Montgat y el acceso de Barcelona por Gran Vía y la Ronda Litoral.

La longitud de la vía es de 7,8 km aproximadamente, con 3 carriles de forma constante durante todo su recorrido, tanto en dirección sur (acceso a Barcelona) como en dirección norte (salida de Barcelona). El esquema de la vía teniendo en cuenta los accesos y las salidas así como las limitaciones de velocidad en cada tramo de la misma se presenta en la figura 1.

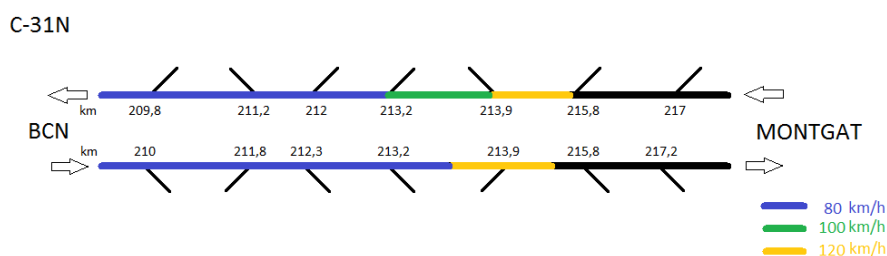


Figura1. Esquema de la C-31 Norte

A partir de los datos de flujo se ha obtenido un patrón en el comportamiento del flujo. Dicho patrón se ha determinado diariamente y semanalmente. La figura 2 muestra dicho patrón para diferentes puntos kilométricos.

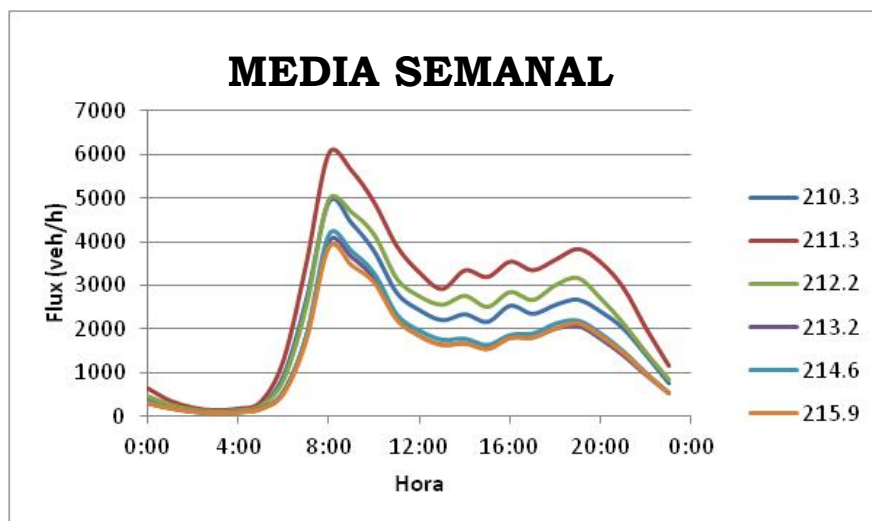


Fig. 2. Patrón de movilidad semanal referente a la C-31 Norte

El patrón pone de manifiesto que aparecen dos picos de flujo, uno entre las 8 h y las 9h cercano a 6000 veh/h y otro entre las 18 h y las 20 h cercano a los 4000 veh/h. Se observa así mismo que el tramo que absorbe mayor flujo de tráfico, cualquier día de la semana es el que corresponde al punto kilométrico de medida 211,3. Así considerando que la capacidad de la vía es constante, el potencial cuello de botella se sitúa en dicho tramo. Los valores de entrada para realizar la simulación se han obtenido del flujo patrón.

A partir del flujo patrón, se han configurado tres casos adicionales para reproducir situaciones de elevada congestión, con flujos potenciales de entrada iguales o superiores a la capacidad de la vía. Así para el Caso 1 se ha considerado un flujo de 6900 veh/h (igual a la capacidad de la vía), para el caso 2 se ha considerado un flujo de 7500 veh/h y para el caso 3 un flujo de 8000 veh/h, estos dos últimos flujos que suponen la saturación y, por tanto, congestión de la vía.

3. MODELIZACIÓN DE LA VÍA Y SIMULACIÓN

La modelización de la vía se ha realizado mediante el software de simulación AIMSUN®. En la modelización se ha mantenido el recorrido en planta de la vía y los accesos y salidas existentes los cuales se han trabajado específicamente, así como los puntos de señalización consistentes en paneles de información variable.

En la figura 3 se presenta una imagen de la modelización de la vía C-31 Norte (también se incluye el desarrollo longitudinal de la B-20 Norte).

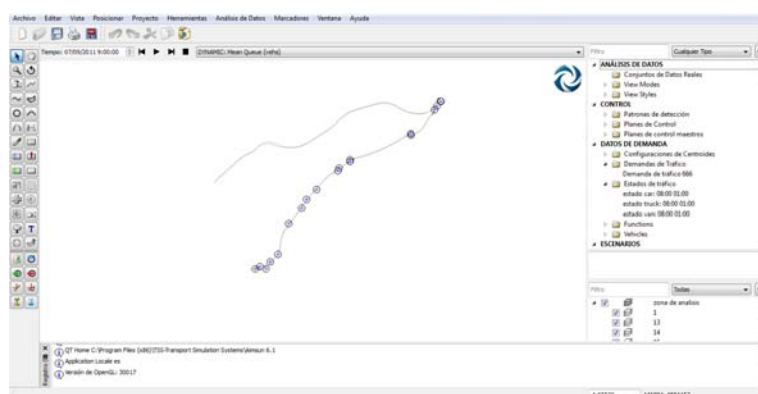


Figura 3. Modelo de la C-31 Norte, con los accesos y salidas

Para la situación actual, la modelización realizada de la vía incluye:

8 secciones de la vía. Cada sección de la vía tiene la posibilidad de variar la velocidad máxima y mantiene constantes las características de ésta. La capacidad de la vía se ha establecido en 6900 veh/h, es decir, cada carril tiene una capacidad de 2300 veh/ h*carril, capacidad considerada como estándar en estas vías de elevada capacidad, sin cambios de de alineamiento ni pendiente importantes.

5 entradas. Cada una de las entradas se ha modelizado incorporando un carril de aceleración, para facilitar la entrada de vehículos al flujo principal. Asimismo, las características de estos accesos son una capacidad de 1200 veh/h y una velocidad máxima en estas entradas de 60 km / h.

2 salidas. Cada una de las salidas se ha modelizado introduciendo un carril de desaceleración, con una velocidad máxima de 60 km/h y una capacidad de 1200 veh/h.

Para los casos de elevada congestión la modelización de la vía incluye las mismas características de secciones, entradas y salidas que para la situación actual, adecuadas al flujo máximo.

4. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES EN LA SITUACIÓN ACTUAL

Se ha realizado la simulación macroscópica de la vía analizándose variables de tráfico globales para estudiar su comportamiento. Estas variables son: la intensidad (flujo), la densidad (ocupación), la velocidad y las relacionadas con el tiempo de recorrido y el tiempo de demora.

En la situación actual se ha realizado un análisis exhaustivo en la franja horaria entre 7:00 h y 11:00 h donde el flujo es más elevado. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 1.

	7:00 – 8:00	8:00 – 9:00	9:00 – 10:00	10:00 – 11:00
Densidad [veh/km]	2,787	5,24292	4,41335	4,02194
Flujo [veh/h]	4.617	7.934	6.921	6.422
Longitud media de cola [veh]	0,095	0,396458	0,278542	0,226042
Tiempo de viaje [s/km]	40,293	44,9668	42.8593	42,0654
Tiempo de demora [s/km]	3,318	8,03234	5,86489	5,10435
Vehículos fuera [veh]	4.617	7.934	6.921	6.422
Velocidad [km/h]	91,2	82,5408	86,1499	87,6281

Tabla 1 Tabla resumen de valores obtenidos para las variables globales en varias franjas horarias

Se observa que, con los datos del patrón de flujo, en ningún caso se produce una situación de congestión global de la vía. Cabe recordar que al ser valores medios horarios no quedan representadas situaciones microscópicas en las que puede producirse puntualmente alguna situación más conflictiva.

Para detectar cuellos de botella o bien aquellas situaciones cercanas a la congestión se debe hacer un análisis de cada una de las secciones modelizadas en la vía. Este análisis se realiza mediante una simulación microscópica.

Realizada la simulación microscópica en la configuración actual con el flujo patrón obtenido, las variables locales de tráfico que se han analizado para estudiar el comportamiento de la movilidad en la C-31 Norte son: la intensidad (flujo), la densidad (ocupación), porcentaje de flujo respecto a la capacidad de la vía (muy importante para ver cuellos de botella), velocidad en el tramo, porcentaje de tiempo de demora respecto al tiempo de recorrido y longitud media de la cola.

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos mediante la simulación de las variables escogidas en cada una de las 8 secciones de la vía para la franja horaria más conflictiva, que es de 8 a 9 h según la simulación macroscópica inicial y teniendo como límites de velocidad los de la figura 1.

Sección	Densidad [veh/km]	Flujo [veh/h]	Flujo / Capacidad [%]	Longitud cola [veh]	Tiempo demora/viaje [%]	Velocidad [km/h]
1	15.5	4640	67.2	0	7.25	101.4
2	17.3	5260	76.3	0.003	12	96.5
3	20.4	5760	83.5	0.14	14.6	93.8
4	15.3	4670	67.6	0	6.5	102.1
5	20	5580	80.8	0.08	13.6	91.4
6	33	6250	90.5	0.24	29.2	64
7	20	4900	71	0	6.9	81.5
8	24.5	5450	79	0.11	24	72.3

Tabla 2. Valores de las variables de análisis en las secciones del modelo

Con el análisis realizado, y con el patrón de movilidad diario creado, en caso de implementación de sistemas de velocidad variable, la Sección 6, detectada como cuello de botella, y las secciones previas son las que han de experimentar un especial análisis, ya que son los puntos claves para conseguir evitar la formación de la congestión y reducir la longitud de cola y el efecto acordeón (propagación del frente de onda de congestión).

5. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN EN SITUACIÓN DE CONGESTIÓN

Los resultados de la simulación macroscópica de los tres casos adicionales estudiados se presentan en la tabla 3.

	Flujo 6900 veh/h	Flujo 7500 veh/h	Flujo 8000 veh/h
Densidad [veh/km]	8,34	11,46	14,53
Flujo [veh/h]	8.556	8.637	8.725
Longitud media de cola [veh]	1,93	138,48	340,99
Número de vehículos espera [veh]	3	304	929
Tiempo de viaje [s/km]	63,43	79,54	98,58
Tiempo de demora [s/km]	26,49	42,55	61,57
Tiempo de parada [s/km]	1,74	3,89	5,63
Vehículos fuera [veh]	8.556	8.637	8.725
Velocidad[km/h]	62,13	50,11	40,28

Tabla 3. Tabla resumen de resultados obtenidos para las simulaciones de alta congestión

Los resultados muestran situaciones de congestión en la vía. Para evaluar los beneficios de sistemas de velocidad se ha seguido un procedimiento heurístico consistente en ir buscando alternativas de mejora mediante la aproximación de potenciales beneficios respecto a la situación actual. Este procedimiento ha consistido en variar los límites de velocidad y evaluar los resultados de la simulación para los flujos considerados. En caso de mejora se ha profundizado en los cambios introducidos y en caso de empeoramiento de resultados, se han deshecho los cambios y se han explorado nuevas vías de potencial mejora.

En el análisis de las mejoras potenciales, se han seleccionado 7 variables de tráfico, que son: el tiempo de viaje, el tiempo de demora, el tiempo de parada, la velocidad, el número de paradas, la densidad y la intensidad.

En cualquiera de las simulaciones se han seguido los siguientes criterios, que se corresponden con algunos de los criterios utilizados actualmente en vías que tienen instalados sistemas de gestión de la velocidad máxima variable:

- 1) Entre dos secciones consecutivas no puede haber más de un escalón de diferencia en la velocidad máxima, considerando cada escalón de 10 km/h.
- 2) La velocidad máxima fijada se mantiene constante en toda la sección.
- 3) La velocidad máxima posible es de 120 km/h y la velocidad mínima posible es de 40km/h.

En la tabla 4 se presentan los resultados para el caso 1, así como las mejoras porcentuales que se pueden conseguir con las diferentes opciones de velocidades máximas preestablecidas.

	Actual	Potencial	Mejora [%]
Densidad [veh/km]	11,46	11,16	2,62
Flujo[veh/h]	8.637	8.835	2,29
Longitud media de cola [veh]	138,48	45,47	67,16
Número de paradas [paradas]	0,26	0,26	0
Número de vehículos espera [veh]	304	145	52,3
Tiempo de viaje [s/km]	79,54	77,51	2,55
Tiempo de demora [s/km]	42,55	39,53	7,09
Tiempo de parada [s/km]	3,89	3,44	11,57
Velocidad [km/h]	50,11	50,45	0,68

Tabla 4. Resultados de la simulación para el caso 1 (6900 veh/h)

Como se puede observar en la tabla 4 hay una mejora en la gestión del tráfico cuando se realiza una gestión adaptativa de la velocidad en la vía. En las diferentes combinaciones

preconfiguradas en las simulaciones, todas las variables de tráfico consideradas como indicadores experimentan mejoras. Globalmente, las mejoras porcentuales son más importantes en situaciones cercanas a la saturación, es decir, en aquellas situaciones de cola incipiente. Para aquellas situaciones de elevada congestión, también experimentan mejoras, pero mucho más discretas. Potencialmente, las variables de tráfico consideradas como indicadores que presentan las mejoras más importantes son: la longitud media de cola, el número de vehículos esperando para poder entrar en la vía y el tiempo de parada.

6. CONCLUSIONES

El modelo de vía generado para realizar las simulaciones se correlaciona con la situación real en la vía, ya que se reproducen los valores de flujo para las secciones en todas las situaciones reproducidas.

El análisis el patrón de movilidad configurado a partir de los datos registrados por aforadores en las diferentes secciones de la vía indica que no se producen situaciones de congestiones severas, pero sí que se producen situaciones de cola incipiente y niveles de flujo próximos a la capacidad de la vía y, por tanto, la aplicación de sistemas inteligentes de gestión de tráfico pueden presentar beneficios potenciales importantes.

No hay secciones que representen una disminución de capacidad de la vía por variación de las características de ésta. El cuello de botella de la vía está determinado por la entrada de flujos de los accesos a la vía, registrando una sección mayor flujo en la vía.

Las simulaciones realizadas con un planteamiento básico de sistemas de gestión mediante velocidad máxima variable muestran que existen beneficios importantes en la movilidad en la vía, principalmente en aquellas situaciones que representan niveles de flujo próximos a los niveles de capacidad. En situaciones en que hay congestiones severas, los beneficios potenciales son reducidos.

7. REFERENCIAS

- [1] M. Patriksson. *The traffic assignment problem. Models and methods.*
- [2] D. Gallegos, M.A. de los Santos. *Gestión del tráfico.*
- [3] MAP Taylor. *Understanding traffic systems: data, analysis and presentation.*
- [4] C.A. O'Flaherty. *Transport planning and traffic engineering.*
- [5] M. Taylor, M.P. Bonsal, W. Young. *Understanding Traffic Systems: Data, Analysis and Presentation.* Ashgate, 2000.
- [6] Anuari estadístic del Servei Català de Trànsit