GESTIÓ VARIABLE DE LA VELOCITAT A LES VIES D'ACCÉS A LES ÀREES URBANES

RESUM EXECUTIU

INFRAESTRUCTURES

Cambra de Comerç de Barcelona

GESTIÓ VARIABLE DE LA VELOCITAT A LES VIES D'ACCÉS A LES ÀREES URBANES

RESUM EXECUTIU

INFRAESTRUCTURES

Cambra de Comerç de Barcelona

Gestió variable de la velocitat a les vies d'accés a les àrees urbanes
Resum executiu

Juliol de 2009

© Cambra Oficial de Comerç, Indústria i Navegació de Barcelona

Direcció i elaboració de l'estudi:
Alfredo García
Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras
Instituto del Transporte y Territorio

Departamento de Transportes
Universidad Politécnica de Valencia

Direcció editorial:
Cambra Oficial de Comerç, Indústria i Navegació de Barcelona

Disseny gràfic:
Cambra Oficial de Comerç, Indústria i Navegació de Barcelona

Autoedició i fotocomposició:
Anglofort, SA

Impressió:
Ingoprint, SA

Dipòsit legal: B-31.367-2009

Índex

5 **1. ANTECEDENTS**

9 **2. INTRODUCCIÓ**

13 **3. EFECTES DE LA VELOCITAT**

21 **4. GESTIÓ DE LA VELOCITAT**

23 4.1. Infraestructura concebuda i dissenyada per a la seva funció de mobilitat
26 4.2. Límits de velocitat creïbles i assumibles
27 4.3. Vehicles que col·laborin en la gestió eficient de la velocitat
28 4.4. Conductors que comparteixin una mobilitat sostenible

29 **5. SISTEMES DE GESTIÓ DINÀMICA DE LA VELOCITAT**

31 5.1. Principals efectes dels sistemes de velocitat variable
33 5.2. Experiències internacionals
34 5.3. Funcionament del sistema
35 5.4. Aplicacions ITS per al control del vehicle i l'assistència al conductor
36 5.5. Investigacions sobre l'eficàcia i eficiència dels sistemes de gestió variable i dinàmica
36 5.6. Criteris d'eficiència dels sistemes de limitació variable de la velocitat
37 5.7. Conclusions sobre els sistemes de gestió dinàmica de la velocitat

41 **6. SISTEMA DE VELOCITAT VARIABLE A BARCELONA**

43 6.1. Zones de velocitat 80
44 6.2. Velocitat variable
47 6.3. Resultats publicats per la Generalitat de Catalunya
48 6.4. Conclusions sobre el sistema de velocitat variable a l'àrea de Barcelona
50 6.5. Proves pilot
51 6.6. Adaptació de la infraestructura viària
52 6.7. Procediment d'implantació del sistema de velocitat variable
52 6.8. Conclusions generals

57 **7. RECOMANACIONS DE LA CAMBRA DE COMERÇ DE BARCELONA**

ANTECEDENTS

1 Antecedents

La Cambra de Comerç de Barcelona ha impulsat un estudi sobre la gestió variable de la velocitat a les vies d'accés a les àrees urbanes. L'objectiu d'aquest treball ha estat contrastar les mesures que la Generalitat de Catalunya està aplicant als accessos de Barcelona a partir de criteris tècnics i científics vàlids i provats, amb la intenció de col·laborar en la millora de la seva eficiència per assolir els objectius establerts de millora de la qualitat de l'aire, de reducció de la congestió i de millora de la seguretat viària.

L'estudi ha estat realitzat pel Grup de Recerca en Enginyeria de Carreteres de l'Institut del Transport i Territori, de la Universitat Politècnica de València, sota la direcció del professor Alfredo García. El contingut del seu treball està resumit entre els punts 3 i 6 d'aquest document, mentre que al punt 7 es presenten les recomanacions per a la millora global del sistema implantat que proposa la Cambra de Comerç de Barcelona a partir de l'anàlisi realitzada.

INTRODUCCIÓ

2 Introducció

En la primera fase de l'estudi s'aborden les experiències i coneixements existents fins el moment sobre la gestió de la velocitat, en general, i sobre els sistemes de gestió dinàmica en particular. S'incorpora a l'anàlisi a tots els agents involucrats: la infraestructura, el vehicle, el conductor i la gestió tècnica i institucional.

En primer lloc es resumeixen els efectes de la velocitat, analitzant beneficis i problemes. A continuació es presenta una visió global de la gestió de la velocitat, per finalitzar amb un estat de l'art dels sistemes de gestió dinàmica de la velocitat. En aquest estat de l'art s'estudien tant els efectes com el funcionament d'aquests sistemes, a través d'experiències internacionals i investigacions que fins el moment s'han dut a terme arreu del món.

En la segona part del treball es realitza l'estudi més detallat sobre el sistema posat en marxa a l'àrea de Barcelona pel Servei Català de Trànsit, amb la intenció de contrastar-lo i plantejar possibles millores, tant en la seva concepció com implantació. Aquesta segona part de l'estudi ha inclòs l'obtenció d'informació documental sobre el sistema de gestió dinàmica de la velocitat a Barcelona a partir de contactes mantinguts amb el Servei Català de Trànsit.

EFECTES DE LA VELOCITAT

3 Efectes de la velocitat

El debat entre els beneficis de la velocitat, com a imatge de desenvolupament econòmic i millora de l'eficiència, i els problemes associats amb la velocitat excessiva no és un debat nou. Per això es requereixen nous punts de vista en el seu enfocament, donats per una societat on la seguretat i el desenvolupament sostenible tenen cada cop més importància.

Respecte als beneficis de la velocitat, els avanços a les infraestructures, als vehicles a motor i al transport per carretera han reduït els temps de viatge, i per tant, millorat la mobilitat. Aquesta millora s'ha traslladat a la qualitat de vida en general i ha contribuït al desenvolupament de l'economia. Un transport més ràpid permet la producció «just-in-time», augmentant el comerç amb clients d'altres regions i augmentant el rendiment. Aquest increment de la velocitat permet també millorar el transport públic, i altres serveis públics relacionats amb la mobilitat.

Pel que fa als problemes associats a una velocitat inadequada o excessiva, s'han de destacar dos aspectes primordials on la velocitat té conseqüències negatives: la relació entre velocitat i seguretat viària i la relació entre velocitat i medi ambient.

Velocitat i seguretat viària

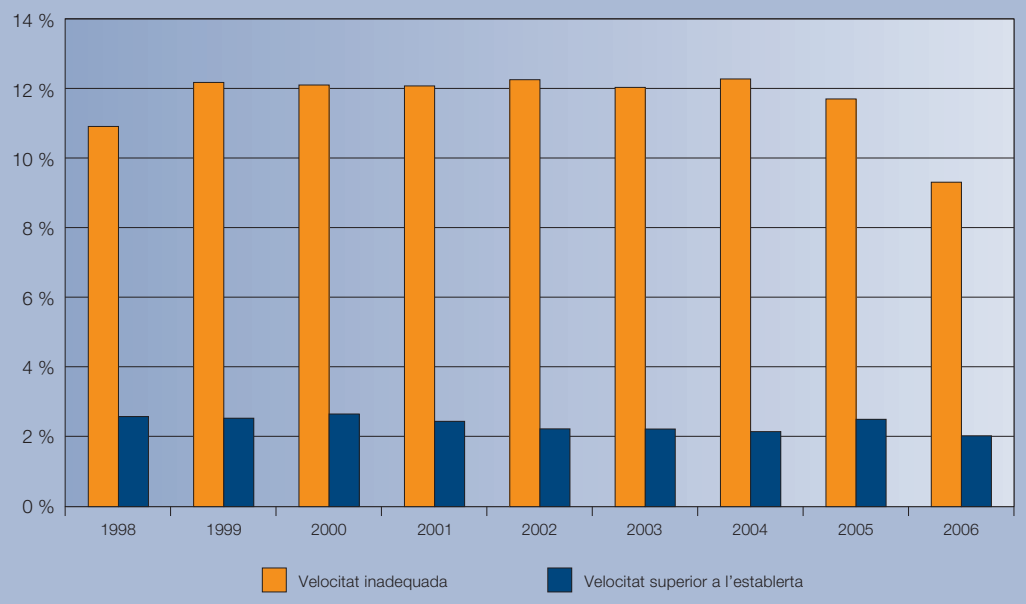
Per entendre millor la relació entre la velocitat i els accidents cal començar per comprendre la diferència entre velocitat inadequada i velocitat excessiva. Els conceptes bàsics són:

- Velocitat inadequada: conduir massa de pressa per les circumstàncies existents.
- Velocitat excessiva: conduir per sobre del límit de velocitat establert.

Existeix la creença que la velocitat excessiva és la causa d'un terç dels accidents mortals. No obstant això, la implicació de la velocitat en els accidents amb víctimes no sembla reflectir-se de forma coherent a les estadístiques:

- Segons dades nord-americanes (NHTSA, 2006), gairebé un 40% dels accidents mortals on van intervenir homes entre 15 i 20 anys va estar relacionat amb la velocitat. Aquesta proporció es redueix a major edat del conductor. A més, es combina amb altres factors com conduir sota els efectes de l'alcohol o no portar posat el cinturó de seguretat.
- En canvi, a Espanya, les estadístiques de la Dirección General de Tráfico indiquen que en els darrers anys, en accidents amb víctimes només un 10-12% en carretera i un 4-5% en zona urbana van cometre una infracció relacionada amb una velocitat inadequada. Aquestes dades baixen respectivament al 2-3% i al 1-1,5% si es refereixen a una velocitat excessiva (velocitat superior al límit establert).

Proporció d'accidents en què el conductor va cometre una infracció relacionada amb la velocitat



Font: Dirección General de Tráfico

Aquesta opinió, molt difosa, de què la sinistralitat disminueix amb la velocitat és excessivament simplista, i ignora la complexa relació entre velocitat i seguretat:

- Les autopistes alemanyes, on no hi ha limitació genèrica de la velocitat, no presenten una sinistralitat superior a les comparables a altres països.
- L'anul·lació del límit federal de 55 mph (88 km/h) a les autopistes dels EUA l'any 1995 no es va traduir en un augment sensible de la sinistralitat.

Cal observar que aquestes dades que es refereixen a les autopistes, tenen una sinistralitat dues o tres vegades menor que les carreteres convencionals, degut en part a la seguretat inherent al seu disseny.

No és fàcil demostrar que hi haurà una millora directa de la seguretat viària si s'aconsegueix reduir la velocitat. La realitat és més complexa, i s'hauran de tenir en compte molts altres factors relacionats amb la carretera, el vehicle, les condicions de trànsit o el comportament del conductor. Més que la velocitat en si mateixa, moltes vegades el determinant és la seva combinació amb altres causes (distraccions, no homogeneïtzació de velocitats entre vehicles, ...).

Qualsevol limitació de la velocitat ha d'anar acompanyada, doncs, de mesures que augmentin el risc percebut, com els controls de velocitats i vigilància, les mesures d'educació i divulgació o la senyalització de perill.

El que sí que sembla clar és que la velocitat contribueix a la gravetat dels accidents, tant per l'augment de la deformació dels habitacles dels vehicles a major velocitat en els accidents com per la pèrdua d'efectivitat dels dispositius de protecció dels passatgers. Fins i tot, està demostrat (Nilsson, 2004) que malgrat que els canvis de velocitat siguin petits, la probabilitat de resultar ferit de gravetat augmenta significativament.

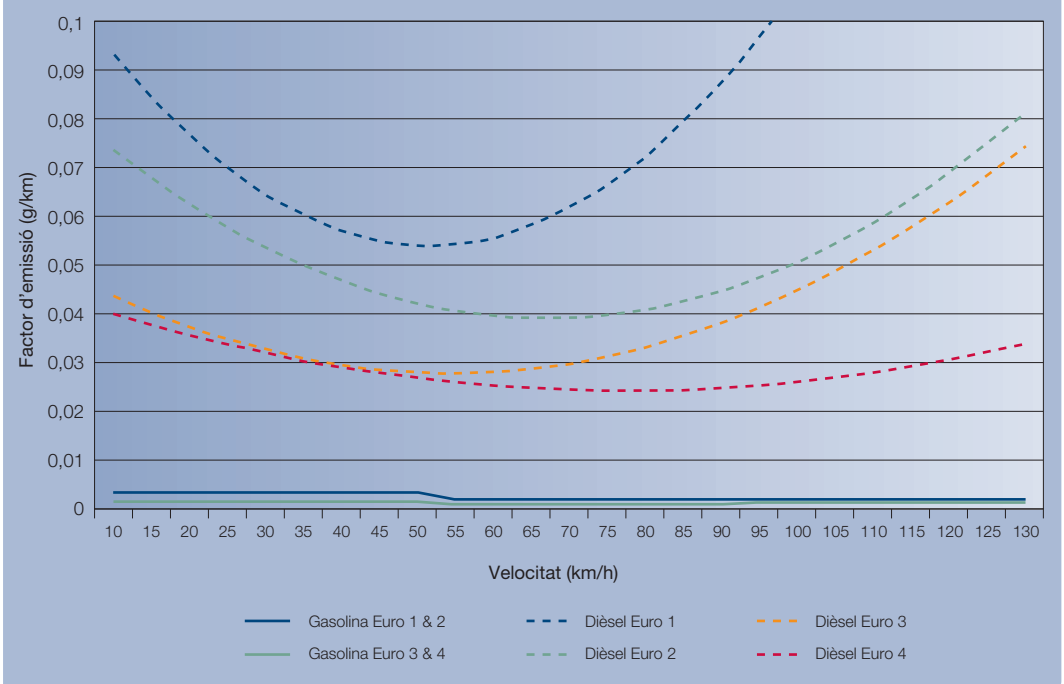
Velocitat i medi ambient

Els efectes que té la velocitat sobre el medi ambient es poden diferenciar en l'efecte sobre l'emissió de gasos contaminants, l'efecte sobre el consum de carburants i el soroll.

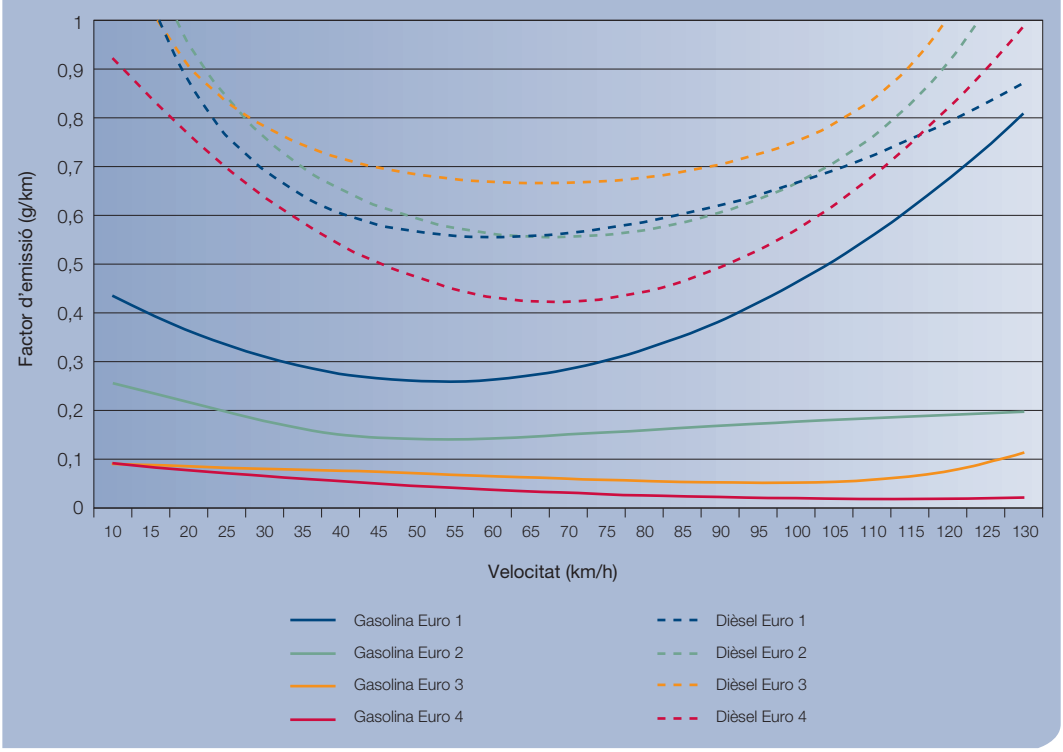
La circulació produeix emissions de gasos derivats de la combustió del motor. Respecte als gasos contaminants es pot diferenciar entre els contaminants d'efecte local (NO_X, CO, HC, partícules) i els contaminants d'efecte global, principalment CO_2, gas «transfronterer» que no es limita a l'àrea d'emissió local.

Els òxids de nitrogen (NO_x) es produeixen sobretot a temperatures elevades (com la conducció estable a alta velocitat). Per tant una reducció de la velocitat pot reduir aquestes emissions. En canvi, els efectes de les estratègies de reducció de velocitat no estan massa clars en l'emissió de monòxid de carboni i hidrocarburs, ja que els hidrocarburs (HC) es redueixen a velocitat més baixa, i en canvi el monòxid de carboni (CO) i les partícules (PM) presenten nivells més baixos d'emissió a velocitats mitges.

Relació entre velocitat i factor d'emissió de NO_x en els vehicles més moderns



Relació entre velocitat i factor d'emissió de PM en els vehicles més moderns



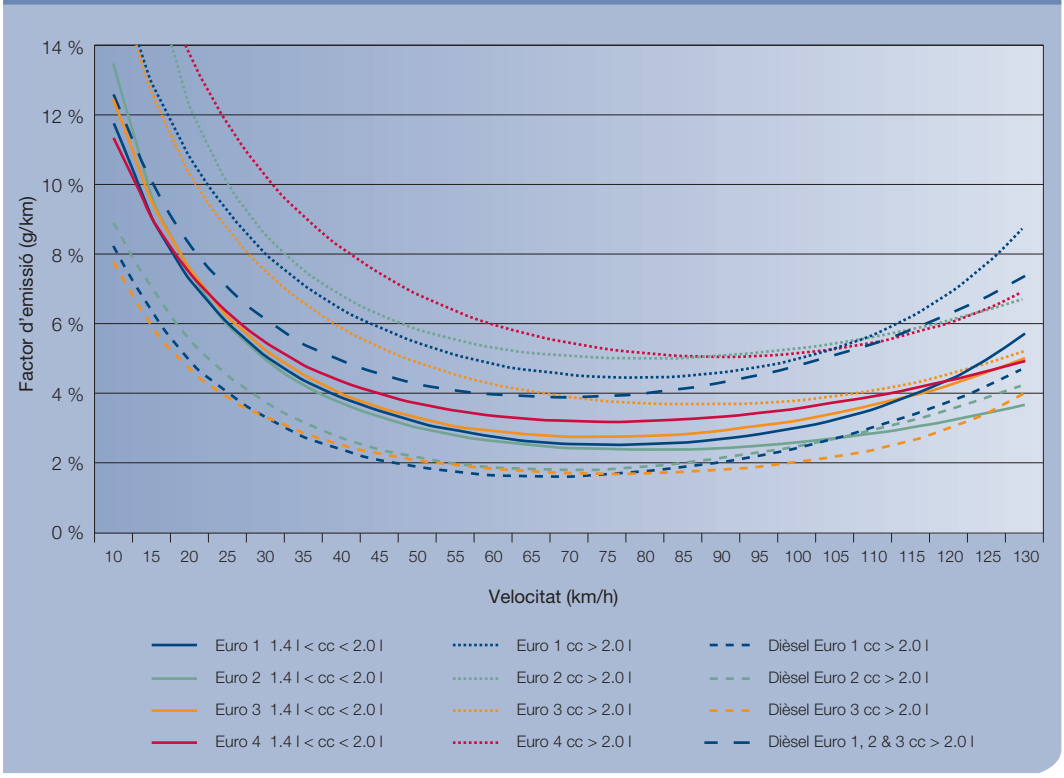
Les emissions de gasos contaminants s'estimen com la suma d'emissions en calent (el motor arriba a l'estabilitat a la seva temperatura de funcionament) i d'emissions en fred (abans d'aquest punt). Només les emissions en calent tenen una forta relació amb la velocitat, per tant són aquestes les que s'han estimat per descriure l'efecte de la velocitat sobre el medi ambient.

En general, els vehicles moderns amb noves tecnologies tenen nivells més baixos d'emissió de contaminants locals que els antics. De fet, l'emissió d'aquests vehicles són més sensibles a l'acceleració que a la velocitat mitjana.

Respecte als gasos d'efecte hivernacle (o contaminants d'efecte global), el més significatiu és el CO_2. Tot el seu factor d'emissió està directament relacionat amb el consum de combustible. L'emissió dels vehicles més moderns presenten escassa sensibilitat a la variació de velocitat entre 60 km/h i 100 km/h, arribant fins i tot els vehicles de tecnologia EURO 4 (cc > 2.0l) de benzina a tenir mínimes emissions de CO_2 a una velocitat de 90 km/h, i ser menors aquestes emissions a 100 km/h que a 80 km/h.

Per altra banda, les emissions d'aquests gasos són molt altes a velocitats de recorregut molt baixes. Les congestions tenen un efecte amplificador del nivell d'emissions de contaminants, reflectint les altes emissions que es donen en velocitats mitges – baixes (Barth i Boriboonsomsin, 2007). Per tant, **és més important l'homogeneïtzació de les velocitats del flux circulatori que el nivell absolut de les velocitats mitjanes de circulació**.

Relació entre velocitat i factor d'emissió de CO_2 en els vehicles més moderns



En diversos estudis s'ha observat que una mesura de gestió de velocitat, com una limitació de velocitat o sistemes intel·ligents de velocitat, tot i que disminueix la velocitat mitjana de circulació no té un efecte tan significatiu sobre les emissions de vehicles, ja que les acceleracions i desacceleracions que es produeixen redueixen molt les millores previstes per la reducció de la velocitat mitjana (Panis i altres, 2006).

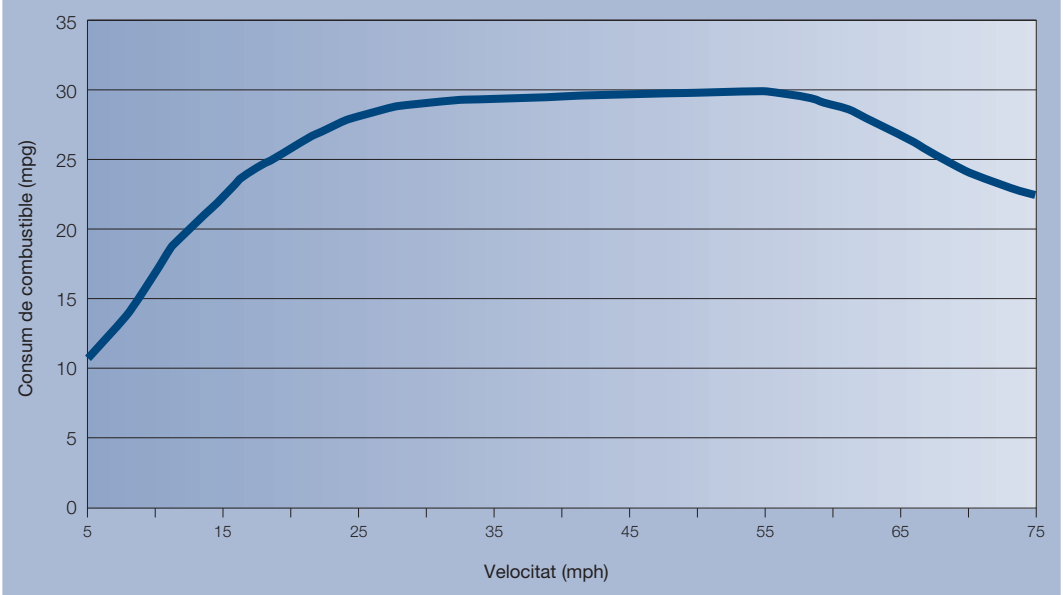
Pel que fa al consum del carburant, el transport representa prop de la tercera part de tot el consum final d'energia en els països membres de l'Agència Europea de Medi Ambient. **A velocitats altes, una reducció de la velocitat implica un descens del consum de carburant. En canvi, en nivells mitjos - baixos fins i tot augmenta el consum si es redueixen les velocitats, així com augmenta el consum amb les acceleracions - desacceleracions contínues.**

Per als vehicles amb tecnologia més moderna, el consum de carburant no té gaire sensibilitat davant variacions de velocitat entre 60 km/h i 100 km/h, i tal i com succeeix amb les emissions de CO_2, en els vehicles de tecnologia EURO 4 de benzina, el consum a 100 km/h és menor que a 80 km/h.

Als EUA, l'Agència de Protecció Mediambiental (EPA) associa el mínim consum de combustible amb velocitats de 55 mph (90 km/h).

Respecte a l'efecte de la velocitat en el soroll, **les dues fonts principals de soroll en el trànsit són el motor i la interacció pneumàtic-calçada.** A velocitats baixes, el soroll del motor és més

Relació entre la velocitat i l'eficiència de combustible



Font: Agència de Protecció Medioambiental, EUA

significatiu que el soroll emès per la rodadura. En canvi, a partir dels 30-50 km/h en vehicles lleugers el soroll de la rodadura augmenta de forma considerable, sent el més significatiu a altes velocitats.

El Llibre Verd de la Comissió Europea sobre la Política Futura de Lluita Contra el Soroll (1996) proposava uns límits per homologar els motors, però va reconèixer que no serien eficaços si no s'adaptaven mesures per solucionar el problema del soroll produït per la rodadura.

GESTIÓ DE LA VELOCITAT

4 Gestió de la velocitat

La gestió de la velocitat s'ha d'estendre a tots els participants en el transport per carretera (infraestructura, vehicle i conductor). **La fixació dels límits de la velocitat ha de ser un procés enfocat a l'elecció de la velocitat adequada, i ha d'anar acompanyada de mesures addicionals que reforcin aquest efecte.** La investigació posa de manifest que si un canvi en els límits de velocitat no va acompanyada d'altres mesures, no té l'efecte desitjat en la reducció de velocitat per part dels conductors.

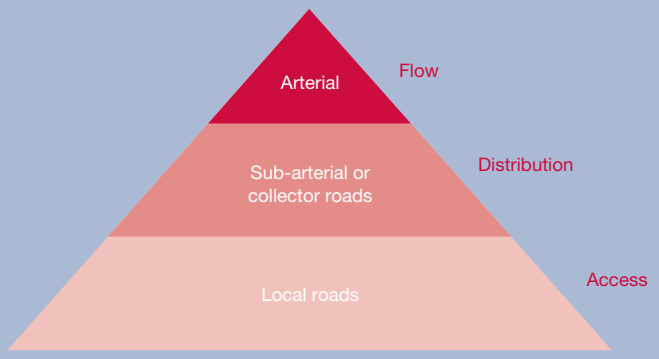
Aquestes mesures addicionals han de començar per les infraestructures, on el seu disseny ha d'incitar al conductor a escollir la velocitat adequada. Quant al disseny dels vehicles, aquests no han incitar als conductors a escollir una velocitat excessiva, i han d'incorporar les noves tecnologies com limitadors de velocitat i dispositius ISA (Intelligent Speed Adaptation), entre d'altres.

4.1. Infraestructura concebuda i dissenyada per a la seva funció de mobilitat

Funcionalitat de la via i jerarquització

La infraestructura ha de ser concebuda i dissenyada per complir la seva funció envers la mobilitat. Les vies tenen diferents funcions que requereixen una infraestructura i un ús específic. El principi de funcionalitat neix d'aquestes diferències i es basa en una categorització funcional de les

Jerarquia simple de les vies



Font: «Speed management: a road safety manual for decision-makers and practitioners»

carreteres (Buchanan, 1963). Així, es distingeixen tres tipus de vies, per tal de crear vies estandarditzades més fàcilment interpretables pels conductors:

- Circulació: vies concebudes per permetre el major flux de trànsit possible, dissenyades per a què el trànsit es desplaci entre dos punts a altes velocitats. L'ideal és que la major part del viatge sigui per aquest tipus de via.
- Distribució: connecten els altres dos tipus de via, o dues vies del mateix tipus. Tenen una funció d'intercanvi en les zones de les interseccions.
- Accés: vies que donen accés a diferents destinacions. En aquestes vies els vehicles conviuen amb ciclistes i vianants. La principal funció és la residencial o comercial, i el trànsit és secundari.

Disseny de les vies autoexplicatives

A banda de la jerarquització funcional de les vies, és important revisar el concepte de via autoexplicativa. Un tipus de via amb una funció determinada tindrà una velocitat adequada de circulació inferida pel disseny. Els conductors podran identificar una via i seran induïts per aquesta a circular a la velocitat adequada. L'objectiu del disseny de les vies autoexplicatives és el de crear una situació de trànsit simple i sense ambigüitats, clara i comprensible, fàcil d'utilitzar per part dels usuaris, sense deixar dubtes sobre el nivell raonable de la velocitat, la situació i els moviments dels altres usuaris. L'objectiu és simplicitat i claredat enfront a la complexitat i ambigüitat (Herrstedt, 2001).

Disseny de les vies de transició (o de distribució)

Especialment sensible és el disseny de les vies de distribució, sobretot en el cas de la transició d'una via on es circula a alta velocitat a una altra de menor velocitat. La transició no ha de ser ràpida en cap cas, i ha de ser suficientment clara per a que el conductor entengui i accepti que circula per un altre tipus de via i amb una velocitat menor.

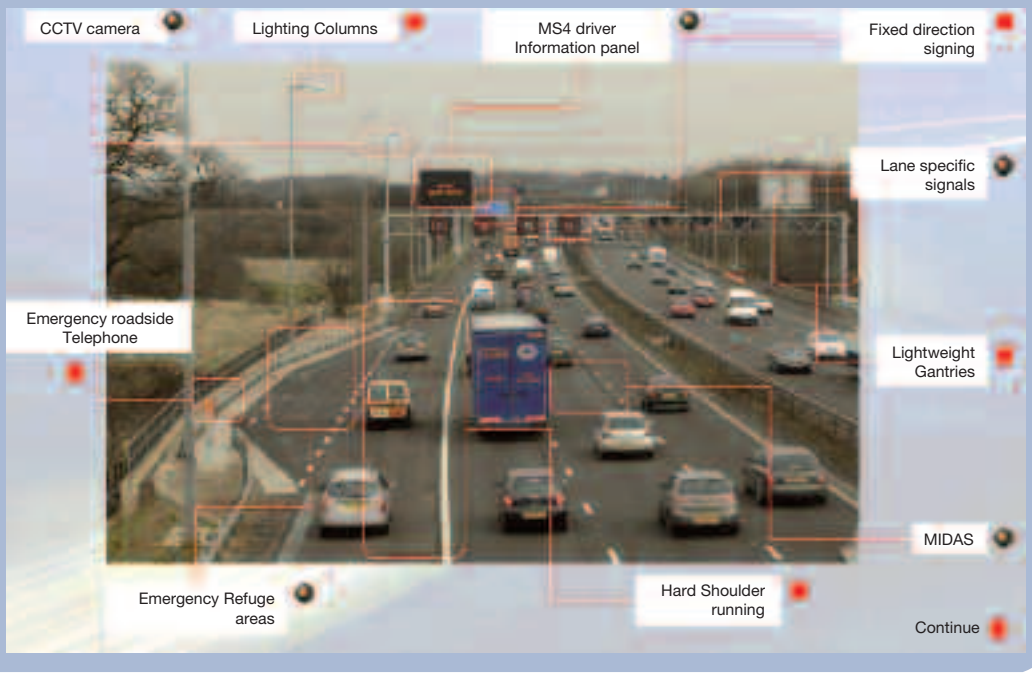
La mesura més efectiva és la combinació entre mesures físiques i visuals que reforcin la percepció del canvi de tipus de via i de reducció de la velocitat, com el canvi de paviment, glorietes, estretament de la calçada acompanyada d'introducció d'elements verticals, o qualsevol tècnica de «traffic calming».

Adaptació de la infraestructura pel canvi funcional

La funcionalitat d'una via és la base del seu disseny. Per això s'haurà d'adaptar la infraestructura a qualsevol canvi funcional. Si la velocitat es força a la baixa, és preferible un augment fix o temporal del número de carrils reduint la seva amplada i la dels vorals, assolint alhora més capacitat. Amb l'ús temporal d'un voral transitable (prèviament habilitat com a carril), la capacitat mitjana de la plataforma de tres carrils augmenta entre un 20% i un 25% (Geistefeldt, 2008). A més, la reducció de l'amplada dels carrils redueix la velocitat (Patterson i altres, 2000).

Una altra mesura significativa a tenir en compte seria la gestió dinàmica dels carrils en el sentit de la intensitat, habilitant més carrils en el sentit on hi hagi més circulació.

Esquema del sistema de gestió de trànsit de la M42 amb el voral transitable



L'experiència de la M42 (Regne Unit) amb voral transitable i gestió activa del trànsit va aportar uns resultats inicials amb beneficis en relació a la circulació: reducció en els temps de viatge, l'observança dels límits de velocitat fou molt alta, la mitjana mensual d'accidents amb ferits va baixar, i el soroll i el consum de combustible es van reduir juntament amb les emissions de contaminants.

Dotacions d'equipament i senyalització consistents amb la mobilitat

Igualment que la infraestructura, l'equipament de la carretera ha d'estar en consonància amb la funcionalitat de la via, per a que el conjunt del sistema sigui compatible. La senyalització ha d'estar d'acord amb la via i l'entorn d'aquesta, i a més, els diferents tipus de senyalització han de ser consistents. En aquest punt, és possible que els missatges dels senyals variables puguin crear confusió, ja que poden plantejar al conductor el problema d'establir una jerarquia entre aquests i els senyals fixes.

Els diferents sistemes de gestió de trànsit necessiten d'una dotació d'equipament que asseguri el seu correcte funcionament, des de la tecnologia necessària per la vigilància i control de la velocitat, fins equipaments per detecció automàtica de cues o telèfons d'emergència. L'equipament amb la tecnologia més moderna permetrà aplicar la gestió de la velocitat de forma més eficient.

4.2. Límits de velocitat creïbles i assumibles

És un fet constatable que el grau de compliment dels límits als països europeus és realment baix (per exemple la proporció d'infractors està entre el 30 i més del 50%, habitualment en major proporció en les autopistes i vies urbanes residencials). El fet anterior indica que les necessitats de mobilitat de la societat s'han imposat a les mesures purament coercitives per reduir la velocitat.

Aquesta situació d'inobservança, per imposició de les necessitats de mobilitat sobre les mesures coercitives per reduir la velocitat, deriva de l'actual situació dels límits de velocitat, en què els límits no semblen adequadament establerts, al menys des d'una perspectiva tècnica, i poden resultar poc raonables per la seva inflexibilitat.

Velocitat adequada

La importància del concepte de velocitat adequada (la màxima velocitat a la qual el conductor pot aturar el seu vehicle, dintre dels límits del seu camp de visió i davant qualsevol obstacle, tenint en compte l'estat de la via i les condicions meteorològiques) radica en què **la major part dels accidents amb víctimes relacionades amb la velocitat ho estan amb una velocitat inadequada**. Un factor important per establir la velocitat adequada està en el disseny de la via. Si les característiques del disseny de la via són favorables per a la seguretat, major serà la velocitat adequada.

La fixació del límit de velocitat

La fixació dels límits de velocitat és un complex balanç entre la seguretat, mobilitat, incidència ambiental i dependència energètica. Hi ha diferents punts de vista per plantejar els límits de velocitat:

- Perspectiva del projectista: la velocitat adequada seria la velocitat per a la qual la carretera ha estat dissenyada.
- Perspectiva del conductor: segons aquest punt de vista, la velocitat per sota de la qual circula la majoria dels usuaris d'una via necessàriament s'ha d'aproximar a la velocitat adequada.
- Perspectiva econòmica: el límit de velocitat seria el que produeixi una velocitat de trànsit amb cost mínim, una velocitat econòmicament òptima.
- Perspectiva ambiental: tant per l'emissió de contaminants com pel soroll, tal i com s'ha detallat en l'apartat de la velocitat i el medi ambient.
- Perspectiva social: la velocitat socialment òptima seria aquella que tingués menys costos socials, tenint en compte el temps de desplaçament, consum de carburant, sinistres, contaminació acústica i l'acceptació de la velocitat per part dels usuaris.
- Perspectiva de minimització dels danys, és a dir, l'adopció de velocitats que no puguin provocar danys greus ni morts.

Control i vigilància de la velocitat

Fins ara, el control de la velocitat s'ha basat en gran part en mesures legals, actuacions sobre la infraestructura i en mesures de vigilància i sanció. El resultat ha sigut que els límits de velocitat són superats de forma massiva: la proporció dels infractors és del 50%. Només amb mesures coercitives no s'aconsegueix una millora substancial en cap aspecte.

Per reduir aquesta elevada proporció a uns límits més raonables (10 al 30%), caldria recolzar-se en els següents aspectes:

- **Límits segurs**: que resulti gairebé impossible que un accident provoqui lesions greus.
- **Límits creïbles**: adaptats a la funcionalitat de la via.
- **Informació suficient al conductor** sobre els límits aplicables.
- **Vigilància creïble** per als que continuïn conduint massa de pressa.

Aquest aspecte de vigilància de la velocitat cal que estigui basat en la tolerància zero amb l'excés de la velocitat, consentint únicament els nivells de tolerància propiciats pels errors en els velocímetres, cada cop menors degut a les noves tecnologies.

4.3. Vehicles que col·laborin en la gestió eficient de la velocitat

Un altra aspecte destacable és la importància de què els vehicles col·laborin en la gestió eficient de la velocitat. **El seu disseny ha d'assolir un compromís òptim amb la seva funció de mobilitat, sense incitar als conductors a l'elecció d'una velocitat excessiva.**

Noves tecnologies dels vehicles

Les noves tecnologies proporcionen eines per a la gestió de la velocitat, donant suport al conductor per al control del vehicle, amb sistemes com «Adaptive Cruise Control - ACC», els sistemes d'anticol·lisió o l'EDR o caixa negra.

Sistemes col·laboratius entre vehicles i entre vehicles i infraestructura

S'han d'emfasitzar els sistemes col·laboratius entre vehicles i entre vehicle i infraestructura, com la V2V, amb l'ajuda de la qual es pot desenvolupar una millor informació del trànsit i pot augmentar la seguretat viària. En aquest punt trobem el projecte europeu COM2REACT que està dirigit a la realització d'un sistema col·laboratiu de gestió del trànsit.

En aquest camp, destaquen els sistemes ISA, que alerten quan s'ha superat el límit de velocitat, i que poden ser informatius o de suport.

4.4. Conductors que comparteixin una mobilitat sostenible

Cal, no obstant, que els conductors comparteixin una mobilitat sostenible, per fer una elecció correcta de la velocitat. S'ha d'indicar, en qualsevol cas, que l'elecció de la velocitat és un camp complex, on pot influir el nostre comportament al volant segons l'edat del conductor, el sexe, el número de passatgers o la finalitat del desplaçament, entre d'altres.

Sembla clar que una bona estratègia seria la de **potenciar les mesures i normatives orientades a la seguretat mitjançant l'educació, la formació i la informació**, ja que els usuaris acceptarien millor aquestes mesures i comprendrien els motius i sabrien com aplicar-les.

En contraposició de les mesures que penalitzen una conducta incorrecta, i com a complement de les mateixes, **els incentius poden ser una eina eficaç per a la consecució de comportaments adequats i segurs**. En tot cas, les experiències en programes d'incentius són escasses i no permeten treure encara conclusions, per molt que els primers resultats semblen positius.

SISTEMES DE GESTIÓ DINÀMICA DE LA VELOCITAT

5 Sistemes de gestió dinàmica de la velocitat

Un nombre considerable de països implementen límits de velocitat variable i dinàmica, ja que els límits genèrics de velocitat no es corresponen amb la velocitat apropiada en totes les carreteres o circumstàncies. Cal fer una diferenciació entre els límits de velocitat variable i els límits de velocitat dinàmica. La primera es basa en criteris generals com l'hora del dia (diürn-nocturn) o l'estació de l'any (hivern-estiu), mentre que la segona té en compte les condicions reals del trànsit, les condicions meteorològiques o les condicions ambientals de l'entorn.

En l'apartat d'experiències internacionals, s'ha realitzat un estudi de les distintes casuístiques i objectius que van motivar la utilització dels límits de velocitat dinàmica a diferents països, així com els resultats obtinguts.

L'avaluació de cadascuna de les experiències pot determinar els elements necessaris per a un adequat funcionament del sistema, tant pel que fa a l'equipament tecnològic de la via, com del sistema de gestió i del control i vigilància.

Al mateix temps, pot ajudar a determinar quines noves aplicacions ITS per al control del vehicle i assistència del conductor tenen més èxit, destacant entre elles els ja esmentats sistemes ISA.

Amb aquestes tècniques, es poden millorar l'eficàcia dels sistemes de gestió variable i dinàmica de la velocitat més recents.

Finalment, es recullen una sèrie de criteris d'eficiència dels sistemes de limitació variable de velocitat basats en l'estudi realitzat.

5.1. Principals efectes dels sistemes de velocitat variable

Els principals efectes es poden classificar per la funcionalitat del trànsit, temps de recorregut i demores dels usuaris, sinistralitat, contaminació atmosfèrica, consum de carburants, transport públic interurbà i transport de mercaderies per carretera.

Funcionalitat del trànsit

Els sistemes de velocitat variable es presenten com una eina eficaç en la millora de la funcionalitat del trànsit. No obstant, per a la seva adequada aplicació, és necessari conèixer els efectes que tenen cadascuna de les característiques fonamentals del trànsit. Entre d'altres efectes es pot indicar que una adequada gestió dels límits de velocitat fa possible reduir la congestió disminuint la velocitat de la circulació aigües amunt i augmentant-la aigües avall. A més, l'homogeneïtzació de les velocitats fa que es disminueixi el número de maniobres d'acceleració i desacceleració. En la major part de les

experiències internacionals estudiades s'ha constatat una disminució de la velocitat mitjana de circulació, en disminuir les velocitats més altes (disminució entre 2 i 5 Km/h, si bé algunes experiències asseguren una disminució de 10 Km/h).

Es pot concloure que la implantació d'un sistema de límits de velocitat variable comporta generalment una millora en la uniformitat del flux del trànsit i de la congestió, té un efecte positiu en el tractament de les ones de xoc, disminueix la velocitat mitjana i la seva variabilitat, i per tant el número de maniobres de canvi de carril, així com redueix el percentatge d'intervals massa curts.

Temps de recorregut, demores dels usuaris i sinistralitat

Una reducció important dels límits de velocitat suposa un augment substancial dels temps de recorregut, disminuint l'eficiència del flux de trànsit.

No obstant, amb una adequada implantació dels límits de velocitat variable és possible reduir les esmentades ones de xoc i per tant disminuir la demora associada a aquestes.

En canvi, no està demostrat que s'aconsegueixin estalvis en els temps de recorregut ni en el règim de congestió. S'haurà d'aprofundir en un estudi econòmic rigorós, ja que el balanç global suposa una certa acumulació de demora en ser preponderants els períodes amb baixa o mitjana intensitat de trànsit amb velocitats forçades a la baixa.

Pel que fa a la sinistralitat, la disminució dels límits de velocitat pot comportar una reducció de les diferències de velocitat entre vehicles consecutius, el que deriva en una disminució de col·lisions per topades.

En les experiències estudiades els resultats són diversos i el número de casos estudiats són massa petits per deduir conclusions estadísticament vàlides. Per a una bona anàlisi de sinistralitat cal tenir dades d'accidents de tres anys, i en la major part dels casos les avaluacions es realitzen durant els 6 o 12 mesos posteriors a la iniciació del sistema.

Contaminació atmosfèrica i soroll

Respecte a la contaminació atmosfèrica, com ja s'ha comentat anteriorment, hi ha poca sensibilitat en les emissions de vehicles per a velocitats entre 60 i 90 km/h, encara més manifesta pels nous models de vehicles. Els sistemes que ajuden a reduir la congestió, com els sistemes de limitació de velocitat, redueixen les emissions en homogeneïtzar la circulació, però amb la millora progressiva de les noves tecnologies i la renovació de vehicles, és d'esperar que les emissions siguin cada cop menors.

Els sistemes de reducció de la congestió, com ara els sistemes de velocitat variable, redueixen les emissions entre un 5 i un 10%.

Quant al soroll, en general, els sistemes de limitació de velocitat variable comportaran una disminució dels nivell de soroll doncs les velocitats mitjanes són menors, i el trànsit és més uniforme

i comporta una disminució de les acceleracions i desacceleracions brusques. Però aquestes disminucions del soroll són mínimes en el soroll ambiental, especialment si es comparen amb reduccions que es poden obtenir actuant sobre els pneumàtics, paviments, disseny de la via i l'ús de pantalles. Amb aquests resultats, es pot concloure que **l'efecte de la velocitat sobre el soroll és mínim**, i que sobre aquest tenen més importància altres factors.

Consums de carburants

Cal esperar que la reducció i harmonització de les velocitats tingui un important efecte sobre el consum de combustible. Tanmateix, els nous models són més eficients energèticament, i les seves velocitats òptimes pel mínim consum són més altes, trobant-se, a la majoria de les ocasions, entre 80 i 90 km/h.

Transport públic interurbà i transport de mercaderies per carretera

La reducció dels límits de velocitat per als vehicles de transport públic interurbà i pel transport de mercaderies per carretera no tenen excessiva influència donats els límits als que ja estan afectats els subsectors. En qualsevol cas, aquests es beneficien de les millors condicions de circulació que s'obtenen amb els sistemes de límits de velocitat variable.

5.2. Experiències internacionals

Les raons per aplicar sistemes de límits de velocitat variable en diferents països solen ser per millorar la seguretat en determinades situacions (zones d'obres, accident, congestió, meteorologia adversa) i per garantir una millor fluïdesa del trànsit. Alguns països (per exemple Suècia, Finlàndia, Estats Units) els apliquen també per millorar la credibilitat dels límits de velocitat i la seva acceptació. Altres els utilitzen davant pics de contaminació.

A l'estudi es descriuen una sèrie d'experiències en diferents països d'Europa, Estats Units, Canadà i Austràlia. A França s'han establert sistemes variables de velocitat per exemple en autopistes com l'A-6, l'A-7 o l'A-9 entre d'altres. També s'han implantat aquests sistemes a Suècia, Finlàndia, Alemanya, Dinamarca, Països Baixos, Regne Unit amb especial atenció a les autopistes M-25 i M-42, Austràlia i Estats Units.

Els resultats de les experiències internacionals són molt dispersos ja que depenen de les característiques de cada tram, del flux del trànsit i del tipus de sistema adoptat. Molts resultats estan condicionats per la longitud del tram i el període de temps que fa que ha estat implantat el sistema. En la majoria d'experiències no s'han publicat els resultats obtinguts o els períodes avaluats són massa curts.

En la major part de les experiències s'ha instal·lat un estricte sistema de control de velocitat. Per això, els resultats no es poden associar únicament a la implantació dels sistemes de limitació de velocitat ja que una gran part dels beneficis són deguts als sistemes de control i vigilància. De fet, en la major part de les experiències no queda clar l'avantatge en seguretat viària degut al sistema de senyalització variable o al control estricte de velocitat associat.

5.3. Funcionament del sistema

Tal i com s'ha comentat anteriorment, en la implantació d'un sistema de gestió de velocitat s'han de tenir en compte tres camps d'acció per a un adequat funcionament del sistema: l'equipament tecnològic de la via, el sistema de gestió i el control i vigilància.

Respecte a l'equipament tecnològic de la via, cal considerar els instruments necessaris per a obtenir les dades amb les que es retroalimenta el sistema de gestió, a partir de les condicions de trànsit, meteorològiques i ambientals de l'entorn.

Són necessàries estacions meteorològiques per tenir dades de temperatura, estat del paviment o intensitat de precipitació, així com elements de sensorització del trànsit com espires embegudes en el paviment per obtenir dades en temps real sobre la intensitat, ocupació i velocitat. Addicionalment, cal instal·lar càmeres per tal de verificar les condicions obtingudes de la sensorització.

Un cop obtinguda la informació necessària, mitjançant el sistema de gestió es marcarà el límit de velocitat més adequat en cada tram, i mitjançant panells de missatge variable en pòrtics o en els marges de la carretera s'informarà als conductors.

És necessari definir un sistema de gestió per establir la velocitat més adequada. Aquests sistemes vindran definits per tres aspectes:

- Llindars a partir dels quals s'activi el sistema de senyalització variable.
- La duració de la intervenció.
- Les estratègies de control, és a dir, les diferents modificacions dels límits de velocitat que es poden implementar.

Quant als llindars, es poden calcular en funció de les característiques del trànsit (preferiblement basar-los en l'ocupació ajustats a cada tram de congestió, segons Papageorgiou, 2008), condicions meteorològiques o certs límits admissibles ambientals. Els llindars en la gestió dinàmica de la velocitat han de ser diferents baixant-la que pujant-la per a evitar histèresi.

Pel que fa la duració, si es tracta d'un període curt de temps pot provocar més pertorbacions que solucions, i si es manté en un període llarg de temps es pot considerar com un límit fix i llavors el sistema deixaria de funcionar per allò que s'havia dissenyat.

Les diferents estratègies de control haurien d'oscil·lar entre 100 i 50 km/h, tenint una consistència entre els límits variables i els específics. Els límits no haurien de ser inferiors a 80 km/h a excepció que es produeixi una aproximació a una retenció o accident, o les pròpies situacions d'una congestió. Únicament s'hauria d'utilitzar el límit de 50 km/h quan s'accedeixi a zona totalment urbana o a un perill immediat. Els límits variables han de ser consistents al llarg del tram, sense canvis bruscos ni oscil·lacions, i fent decrements de 10 km/h.

Per tal que el sistema guanyés en credibilitat s'haurien de posar en marxa mesures com:

- Apagar el sistema de gestió variable quan la densitat del trànsit fos baixa (donat que sempre va acompanyat de senyalització fixa del límit de velocitat), per tal de mobilitzar ràpidament la circulació quan hi hagués un embús.
- Evitar posar un senyal variable a sobre de cada carril per evitar distraccions i sobrecostos innecessaris, ni tampoc desdoblar els panells de control en carrils reversibles.

Totes aquestes accions i mesures han d'estar acompanyades d'un sistema de control i vigilància que impliqui el compliment dels límits variables de velocitat. Un aspecte crític en el control de velocitat és la tolerància admesa en el mateix.

5.4. Aplicacions ITS per al control del vehicle i l'assistència al conductor

Actualment, hi ha dues àrees en investigació i desenvolupament relacionades amb la velocitat. Per una banda les aplicacions per a l'assistència als conductors i per una altra les tecnologies de control de velocitat dels vehicles.

ISA: Sistemes d'Adaptació Intel·ligent de la Velocitat

Els sistemes ISA tenen com a objectiu donar suport al conductor en l'adaptació de la velocitat del vehicle als límits de velocitat. Aquests sistemes poden dividir-se en dues categories:

- ISA d'informació: principalment mostren el límit de velocitat al conductor i li indiquen quan el supera a través d'advertències visuals o sonores. Poden ser activats manualment o ser obligatoris.
- ISA de suport o d'intervenció: el sistema intervé a través de la gestió de l'aportació de combustible i en alguns casos actua sobre el sistema de frens per reduir la velocitat. Altres augmenten la resistència de l'accelerador al trobar-se al límit de la velocitat o per sobre. En qualsevol cas es pot anul·lar en cas d'emergència.

Els sistemes ISA són un mitjà per reduir els accidents en carretera mitjançant la reducció de velocitat. Al mateix temps, la reducció i harmonització tindria un efecte positiu en quant a la reducció de les emissions de gasos i soroll, i en el consum de combustible.

Segons estudis fets per Carsten i Tate (2005), l'ús obligatori de sistemes ISA de suport podria reduir fins un 50% el número d'accidents greus. També tindria un clar efecte sobre la variació de la velocitat doncs totes les velocitats per sobre del límit quedarien excloses en el cas d'un sistema ISA obligatori, tot i que podria haver efectes negatius en períodes de transició degut a les diferències de velocitat entre els vehicles equipats i els que no.

A banda de l'efecte negatiu durant el procés de transició, es poden produir altres efectes secundaris com l'excés de confiança per part dels conductors, més concentració en assumptes aliens a la conducció, frustració per les limitacions de la velocitat, conducció més ràpida en zones on no estiguin instal·lats els sistemes ISA, i reducció de la distància entre vehicles dificultant les incorporacions.

Les conclusions que es poden extreure referent a les proves realitzades a Europa i a Austràlia són les següents:

- És possible tècnicament assolir grans avanços, i els models indiquen que hi hauria una reducció en el número i gravetat d'accidents.
- S'ha demostrat que el sistema ISA més eficaç és el pedal accelerador actiu, tot i que els usuaris accepten més el sistema de senyals auditius.
- No s'ha demostrat que cap dels sistemes interfereixi amb la resta de funcions de conducció.

Cal indicar que les proves han estat dissenyades per a un ús local, per tant hi ha problemes tant d'implantació com per a l'establiment de bases de dades de límits de velocitat amb cobertura i qualitat suficient, i l'actualització i comunicació de la informació dels límits de velocitat.

Altres noves tecnologies

Hi ha altres tecnologies que busquen autopistes intel·ligents on la infraestructura es comuniqui amb el vehicle, o poder controlar activament al vehicle des de la carretera.

Alguns projectes relacionats amb la velocitat són el projecte SASPENCE (sistema per assegurar la conformitat amb els conceptes de velocitat i distància segura), el projecte SafeMAP (informació digital per a una conducció més segura), aplicacions GALILEO (navegació per radio satèl·lit), i el projecte SARI (cooperació entre la carretera i el vehicle)

5.5. Investigacions sobre l'eficàcia i eficiència dels sistemes de gestió variable i dinàmica

Durant els últims anys s'han portat a terme investigacions en trams experimentals, simuladors de conducció, microsimuladors i macrosimuladors amb la finalitat d'avaluar els efectes d'aquests sistemes, així com la seva eficàcia i eficiència. Com a norma general, aquestes investigacions mostren com una adequada gestió dinàmica de la velocitat pot convertir-se en una eina eficaç per a aconseguir millorar la seguretat viària, la fluïdesa del trànsit i els nivells d'emissió. No obstant això, és necessari portar a terme més estudis, especialment amb dades reals de trànsit.

5.6. Criteris d'eficiència dels sistemes de limitació variable de la velocitat

A l'hora de definir un sistema de gestió de limitació variable de velocitat cal tenir en compte una sèrie de criteris que es detallen a continuació:

- Per definir els llindars a partir dels quals s'activa el sistema de senyalització variable, és preferible utilitzar l'ocupació en lloc de la intensitat o la velocitat de flux, i utilitzar diferents llindars per augmentar i disminuir la velocitat.

- La duració de la intervenció ha d'evitar períodes massa llargs d'intervenció (actuarien com a límits fixes) o massa curts (crearien més pertorbacions al flux).
- Per establir les diferents estratègies de control, el rang de variació de la velocitat variable hauria d'oscil·lar entre els 50 i 100 km/h, sense límits inferiors a 80 km/h a excepció que es produeixi una aproximació a una retenció o accident, o les pròpies situacions d'una congestió. Mai s'hauria d'utilitzar un límit variable de 40 km/h o inferior.
- **La decisió de restringir algunes zones o vies la velocitat per sota de 100 km/h cal que es correspongui amb una anàlisi rigorosa, ja que s'ha demostrat l'eficàcia en ocasions, però no s'ha demostrat que la velocitat òptima sigui 80 km/h davant de 90 km/h.**
- Una limitació de 80 km/h suposa que la majoria de vehicles circulen entre 75 i 80 km/h, el que pot suposar una reducció d'una marxa comportant majors consums i emissions.
- **Els consums òptims es troben entre 80 i 90 km/h, per tant un límit de 80 km/h presenta un balanç energètic negatiu.**
- No està suficientment i vàlidament demostrada la variació de sinistralitat degut a un canvi de velocitat entre 80 i 90 km/h emprant un sistema de gestió dinàmica de velocitat.
- Sempre serà més creïble pels conductors per densitats de transit reduïdes un límit de 90 km/h amb un marge de tolerància reduït que un límit lax de 80 km/h.
- Qualsevol senyalització de nou límit de velocitat ha d'anar acompanyada de la informació corresponent per millorar l'acceptació dels conductors.
- S'aconsella apagar el sistema de senyalització variable quan la demanda de trànsit sigui baixa i no hi hagi cap incident, i quan hi hagi algun embús, per tal de millorar l'acceptació dels conductors.
- **Els efectes favorables dels sistemes de gestió de la velocitat dinàmica de la velocitat es veuen potenciats si a més s'incorporen altres mesures de gestió d'entrada i sortida com l'augment de la longitud dels ramals, el número de carrils dels mateixos i la capacitat de la seva entrada en la següent via.** Al mateix temps, l'habilitació temporal de la circulació del voral, dotat de suficient amplada, té millor efecte sobre les congestions que tan sols la gestió variable de la velocitat.
- En qualsevol cas, l'eficiència del sistema passa en primer lloc per pal·liar els problemes relacionats amb les situacions de congestió, millora de la seguretat viària, amb un efecte ambiental limitat, i tot això a costa d'un augment assumible de les demores.

5.7. Conclusions sobre els sistemes de gestió dinàmica de la velocitat

La velocitat s'identifica com una imatge d'eficiència i motor de la mobilitat i del desenvolupament econòmic, però una velocitat excessiva o inadequada porta associada una sèrie d'efectes adversos, sobre la seguretat viària, el medi ambient i fins i tot l'habitabilitat de zones residencials.

Les conclusions que es poden extreure de l'estudi dels sistemes de gestió dinàmica de la velocitat es detallen a continuació:

- Malgrat que els efectes de la velocitat sobre emissions de contaminants o consum de combustible han estat àmpliament estudiats, els efectes dels límits variables de velocitat sobre les emissions de contaminants o consum de combustible no s'han estudiat suficientment. Sembla aventurat establir un límit òptim per minimitzar els impactes mediambientals ja que per a un rang ampli de velocitats aquests impactes tenen molt poca sensibilitat.
- S'ha de fixar uns límits des d'un punt global que inclogui la perspectiva del projectista i del conductor, la perspectiva econòmica, ambiental i social i de minimització de danys.
- Cal incloure en la gestió de la velocitat a tots els agents participants: infraestructura, vehicles i conductors.
- Es requereix una adaptació funcional de la infraestructura: el disseny de la carretera ha d'incitar al conductor a triar la velocitat adequada.
- Les noves tecnologies permeten desenvolupar sistemes que faciliten al conductor a triar l'elecció adequada de la velocitat.
- És necessària una adequada educació, formació i informació per tal de completar les mesures anteriors, així com valorar la forma d'incentivació.
- Els límits variables de velocitat es basen en el canvi del límit segons, per exemple, l'hora del dia o estació de l'any, mentre que els límits dinàmics tenen en compte les condicions de trànsit i condicions meteorològiques o ambientals.
- Amb una adequada gestió dinàmica és possible aconseguir una disminució de la velocitat mitjana i de les variacions de la velocitat en el flux, millorant la seguretat viària al minorar també els canvis de carrils.
- És possible reduir les afeccions de la congestió i de les onades de xoc amb aquests sistemes.
- Amb l'aplicació d'aquests sistemes no està comprovat que es redueixin els temps de recorregut ni les demores inclús en condicions de congestió.
- En l'homogeneïtzar la circulació disminueix de forma apreciable el consum de combustible i les emissions, tot i que en condicions de flux lliure aquesta disminució no és tan significativa.
- Per a la implantació d'un sistema de gestió de velocitat variable cal tenir en compte l'equipament tecnològic de la via, la configuració del sistema de gestió i els mètodes de control i vigilància. No és possible donar uns criteris generals per a la implantació del sistema de gestió dinàmica de la velocitat ja que depèn de les característiques geomètriques i del trànsit de cada tram de carretera, a més de l'objectiu que es persegueix (homogeneïtzació del trànsit, reducció d'accidents, reducció d'emissions).
- La decisió de restringir algunes zones o vies la velocitat per sota de 100 km/h cal que es correspongui amb una anàlisi rigorosa, ja que s'ha demostrat l'eficàcia en ocasions, però no s'ha demostrat que la velocitat òptima sigui 80 km/h davant de 90 km/h. Les diferències en emissions són mínimes. Els consums òptims es troben entre 80 i 90 km/h, presentant el límit de 80 km/h un balanç energètic negatiu.
- No està suficientment demostrada la variació de sinistralitat deguda a un canvi de velocitat entre 80 i 90 km/h, emprant gestió dinàmica de la velocitat.

- Sempre serà més creïble pels conductors un límit de 90 km/h per densitats de trànsit reduïdes amb un marge de tolerància reduït que un límit lax de 80 km/h. Les velocitats mitjanes resultants poden ser molt similars.
- El sistema de gestió dinàmica de velocitat pot complementar-se amb sistemes d'adaptació intel·ligent de la velocitat (ISA).

Finalment, tot i que s'han implementat sistemes de gestió dinàmica i variable de velocitat en un gran número de països, i que s'han portat a terme investigacions sobre l'eficiència i eficàcia d'aquests sistemes, és necessari realitzar més estudis amb la finalitat de convertir aquests sistemes en una eina eficaç per a la millora de la funcionalitat del trànsit, seguretat viària i nivells d'emissions, especialment per a cada nou pla d'actuació en un àmbit concret que tindrà les seves peculiaritats.

SISTEMA DE VELOCITAT VARIABLE A BARCELONA

6 Sistema de velocitat variable a Barcelona

La Generalitat de Catalunya va aprovar el 10 de juliol de 2007 un pla per a la millora de la qualitat de l'aire a l'àrea metropolitana de Barcelona. Aquest pla inclou 73 mesures per a la reducció dels nivells de contaminació, com òxids de nitrogen i les partícules en suspensió inferiors a 10 micres.

La mesura més destacada és la limitació de la velocitat màxima permesa a 80 km/h a part de les carreteres d'accés a Barcelona (16 municipis que estableixen la «corona metropolitana»), incloent autovies i autopistes.

Posteriorment, el Servei Català de Trànsit ha posat en funcionament el sistema de velocitat variable a les vies C-31 i C-32.

6.1. Zones de velocitat 80

Les noves zones de velocitat a 80 km/h entren en vigor l'1 de desembre de 2007 amb l'objectiu de reduir els nivells de contaminació i aconseguir una conducció més còmoda i segura i amb menys accidents. Però no és fins l'1 de gener de 2008 que no s'aplica, realitzant una campanya informativa i de sensibilització el Servei Català de Trànsit fins aquesta data per tal de conscienciar als ciutadans dels beneficis d'aquesta mesura. A partir d'aquesta data també va entrar en vigor la recomanació de circular a 90 km/h a les vies ràpides de la segona corona.

Aquesta mesura **afecta a un total de 80,7 km de carretera i a 16 municipis**.

Zona d'aplicació de la limitació de 80 km/h i recomanació de 90 km/h.

6.2. Velocitat variable

Aquesta mesura va entrar en vigor el 15 de gener de 2009 a l'autovia de Castelldefels, C-31, i a l'autopista del Garraf, C-32. Les bases i l'execució van ser obtingudes d'una recopilació d'informació in situ de diferents trams en servei existents a Europa.

Aquesta primera fase suposa un canvi en la concepció de gestió de la circulació i suposa la modificació del límit de velocitat entre 100 i 40 km/h en funció de:

- Condicions del trànsit en saturació.
- Possibles incidents en la seguretat viària (accidents, incidents, obres, …).
- Condicions de contaminació.
- Inclemències meteorològiques.

Existeixen uns trams que es poden considerar conflictius. El primer correspon a la C-31 ja que aquest accés a Barcelona finalitza en el semàfor de «La Campana», suposant una reducció de la capacitat que provoca retencions. A la mateixa carretera hi ha diferents punts problemàtics per estretament de la calçada. Pel que fa a la C-32, hi han diversos trams que es poden considerar conflictius per la reducció de la capacitat que suposa la seva configuració. Com més pròxims a la ciutat més conflictius.

Objectius

Els objectius d'aquesta mesura són:

- **Reducció i minimització de congestions**: fer que les congestions siguin més curtes en durada i longitud, i reduir les parades i arrencades dels vehicles. Segons la Generalitat de Catalunya, les retencions de l'àrea metropolitana de Barcelona representen aproximadament el 80% del total de la mobilitat obligada registrada en el conjunt de la xarxa viària catalana en dies laborables.
- **Millora de la seguretat viària**: disminuir la sinistralitat i millora de la seguretat viària per tal de reduir en el 2010 a un 50% els morts en carreteres respecte al 2000 tal i com marca l'objectiu de la Unió Europea.
- **Reducció de la contaminació**: millorar la qualitat de l'aire i reduir els nivells de contaminació.
- **Reducció d'aturades i arrencades**: aconseguir una homogeneïtzació de la mobilitat i una conducció més eficient, fent que el consum de carburant i les emissions de contaminants disminueixin.
- **Reducció dels temps de recorregut**: a través de les simulacions s'estima reduir entre un 15 i 20% el temps de recorregut en els períodes punta de demanda de trànsit.

Funcionament del sistema

Per desenvolupar aquest projecte de gestió dinàmica de velocitat, el Servei Català de Trànsit (SCT) ha disposat un equipament per tal d'evitar variacions brusques de limitació i garantir el compliment de la mesura. S'han instal·lat 175 senyals lluminosos, ubicats en pòrtics cada quilòmetre aproximadament, i senyals laterals. En aquestes senyals s'avisa als conductors de la velocitat però no sempre s'informa de la causa per la qual es demana la disminució de la velocitat. Aquests senyals es combinen amb senyals fixes ja existents i equips de mesura de velocitat i de volum de vehicles.

El sistema funciona a través d'una xarxa de comunicació en fibra òptica que connecta l'equip de camp amb el Centre d'Informació Viària de Catalunya (CIVICAT) del SCT, on es porta a terme el control central. Darrerament s'ha instal·lat un centre de gestió satèl·lit de l'anterior a les oficines del SCT.

Pòrtic amb senyals lluminoses de límit de velocitat i senyals de gestió de carrils.

Per una altra banda, s'han instal·lat diverses estacions de presa de dades (ETD) i espires per la recollida de dades (tant per comptar els vehicles com per mesurar les velocitats). No obstant això, no es disposa de dades en els accessos a les vies ja que no hi ha instal·lat ETDs, dificultant l'estudi del trànsit procedent dels accessos.

També s'han instal·lat equips de lectura de matrícules per calcular el temps de recorregut i dues estacions de mesura de la qualitat de l'aire (PM10 i NOx). S'indica que les estacions ambientals estan localitzades sobre els pòrtics, per tant hi ha dubtes respecte a les seves mesures ja que podrien estar entre emissions i immissions. En quant a les estacions meteorològiques, únicament es disposa de mesures bàsiques sobre algun pòrtic. No es disposa d'estacions acústiques permanents, ni s'han realitzat mesures de soroll abans ni després d'implantar el sistema.

El funcionament tècnic i de gestió del trànsit, tal i com s'ha comentat anteriorment, es controla des del CIVICAT i pot funcionar en mode automàtic, manual o horari. El sistema està dividit en 4 vies (C-31 entrada, C-31 sortida, C-32 entrada, C-32 sortida) i cadascuna d'aquestes vies està dividida en trams. Cada tram engloba el tram de carretera comprés entre dos pòrtics de velocitat variable consecutius. Cada un d'aquests trams pot contenir una o varies ETDs, que s'utilitzen per mostrar el valor en el pòrtic.

L'aplicació informàtica es basa en dos algoritmes principals de control:

- **L'algoritme de congestió té com a principal finalitat modificar els límits màxims de velocitat de la via abans del punt de congestió, per aconseguir un efecte d'harmonització de velocitats, reduint el número de parades i arrencades, i millorar les condicions generals de circulació.** Cal considerar la informació de tots els trams per tal de portar a terme correctament la limitació de velocitat, i no tenir en compte únicament les dades del tram en qüestió. En definitiva, es requereix d'un procés de modulació.

- **L'algoritme de contaminació té com a finalitat modificar els límits màxims de velocitat per minimitzar l'emissió d'agents de pol·lució com els NO_x (òxid de nitrogen) i PM10 (partícules en suspensió).** En principi, aquest algoritme només actua fora dels períodes de congestió, ja que l'anterior algoritme preval sobre aquest. Aquest algoritme no treballa sobre els mateixos trams que els definits pel de congestió; cada tram de congestió està format per «n» trams de contaminació, cada un dels quals està definit per la secció de mesura d'una ETD.

  Les variacions de velocitat es realitzen sempre en intervals de 10 km/h, si la velocitat és menor s'adverteix amb llums intermitents durant 3 segons, i si és major es canvia directament.

- **El límit a la baixa és de 40 km/h, i el límit màxim és de 80 km/h**, coincidint amb el límit de velocitat fix en les zones de velocitat de 80 km/h. El mode d'operativa «normal» és l'automàtic. L'ús manual es porta a terme per operadors del CIVICAT per senyalitzar accidents, incidents o treballs de manteniment.

Vigilància i control

Aquesta mesura és d'obligatori compliment i els conductors podran ser sancionats si no respecten les limitacions. Els cinemòmetres instal·lats tenen sensors instal·lats a la calçada, sota el paviment, que s'activen amb el pas del vehicle en dos punts consecutius, d'aquesta manera es determina la velocitat i s'envia un senyal elèctric a la càmera encarregada de prendre la prova fotogràfica. Aquests sistemes tenen una alta fiabilitat tot i que hi ha llacunes de control en els carrils lents per no estar sensoritzats.

Difusió i ampliació a altres accessos

Durant el mes de gener de 2009, el SCT va realitzar una campanya informativa i de conscienciació en les dues carreteres de la primera fase.

Hi ha previstes ampliacions a finals de 2009 (AP-7/AP-2/B-23 des de Martorell fins la Diagonal), 2010 i posteriors (accés nord a Barcelona AP-7/B-30 entre Mollet del Vallès i el Papiol, i C-16), i

ampliacions que s'han ajornat degut a la coincidència de les obres del carril BUS-VAO (C-58). La limitació de 80 km/h existent en els setze municipis es mantindrà i no s'ampliarà de moment.

6.3. Resultats publicats per la Generalitat de Catalunya

Anàlisi de la zona de velocitat 80

Els resultats es divideixen en quatre categories: funcionalitat del trànsit, seguretat viària, contaminació i percepció dels conductors.

- Funcionalitat del trànsit

Com a resum, durant el primer semestre de 2008, la velocitat mitjana es va reduir un 16,5% a l'entrada a Barcelona i un 18,4% a la sortida. Paral·lelament, s'han reduït les congestions des del punt de vista del volum de trànsit a la B-20, B-23, C-31 i C-32.

- Seguretat viària

Durant el primer semestre de 2008 els resultats mostren una reducció a la meitat dels morts i ferits greus. La reducció en el número d'accidents amb víctimes fou del 26,17%, del 33,33% de víctimes mortals, i del 54,17% de ferits greus.

- Contaminació

El setembre de 2008, es va presentar els resultats d'un estudi encarregat pel Departament de Medi Ambient i Habitatge. L'estudi fa una avaluació dels sis primers mesos d'implantació, tenint en compte, que segons les directius europees, cal un any complert per tenir resultats suficientment representatius. De l'estudi es desprèn, en comparar dades de 2007 i 2008, que l'impacte de la limitació ha representat una disminució de la contaminació. La reducció de les emissions s'estima entre el 3,5 i 4% pel NOx, i del 3,5% pel PM_{10}. La mesura també ha favorit la reducció de CO_2 aproximadament en un 3,7%, i el descens en el consum de combustible del 3,7%, significant un estalvi en 2008 de 44,43 milions d'euros.

Segons un estudi encarregat a l'empresa Applus, la reducció del límit de velocitat va contribuir a la disminució de la intensitat del soroll en 3 decibels.

En aquest estudi, també es fa menció d'un informe realitzat per la BSC per avaluar ambientalment la mesura pels 11 primers mesos de 2008, comparant dades de 2007 i 2008. L'informe afirma que la mesura és eficient i que ha permès una reducció de l'11% de les emissions, millorant la qualitat de l'aire.

- Resposta ciutadana

Dels comentaris realitzats pels ciutadans en fòrums d'internet s'extreu que consideren més útils una senyalització variable de velocitat límit que no pas fixa. També s'indica que conduir a 80 km/h obliga a conduir amb marxes més curtes i per tant a augmentar el consum de combustible i emissions.

Anàlisi del sistema de velocitat variable a l'àrea de Barcelona

Després dels primers dies d'implantació es van poder observar diferents aspectes a considerar. Com a resum destaquem els següents:

- La densitat de senyalització es massa elevada segons els usuaris, amb una mitjana cada 20 segons.
- El SCT va indicar després del primer dia que el sistema va ser òptim però millorable en alguns aspectes com millorar la velocitat a la que es transmeten les dades.
- Va haver errors de sincronització però es van corregir en uns 5 segons un cop detectades.
- En el primer dia la meitat dels panells informatius estaven apagats.
- Es van realitzar un total de 30 canvis de límits de velocitat.
- Es va respectar majoritàriament el límit de 80 km/h, sent el límit més baix de 60 km/h a l'entrada de la ciutat per la C-32 i de 50 km/h a la plaça Cerdà per la C-31.

A banda d'aquestes consideracions, no es té constància que s'hagi realitzat un estudi exhaustiu del sistema. Únicament s'han aplicat certes avaluacions dels anys 2007 i 2008, i estudiat l'evolució del 2009. Fins ara, en el seguiment que es porta a terme es considera: temps recorregut i la seva variació, volum d'evacuació de vehicles, intensitat de control, corbes de factor de retenció, avaluació mitjançant un vehicle flotant el temps de recorregut, número d'aturades i velocitat, distribució de velocitats i relació intensitat - velocitat.

Quant a la seguretat, s'han portat a terme una anàlisi simple i directa dels valors absoluts en períodes equivalents, sense involucrar cap altra variable.

6.4. Conclusions sobre el sistema de velocitat variable a l'àrea de Barcelona

Anàlisi de l'equipament

- Per a la implantació del sistema de gestió dinàmica de la velocitat en els accessos a Barcelona s'han instal·lat senyals lluminosos en pòrtics acompanyats freqüentment de senyals de gestió de carrils i senyals laterals. En els pòrtics s'ha disposat d'un senyal lluminós de limitació de velocitat per carril però no sempre s'ha disposat de senyals que informin de la causa de limitació de velocitat, especialment a la C-31.
- Seria més recomanable instal·lar un únic senyal lluminós acompanyat d'un panell amb la causa de la modificació del límit, en lloc d'un senyal per carril.
- No s'han d'utilitzar limitacions de velocitat diferents per carril per evitar canvis de carril. No és necessari disposar d'un senyal per carril per evitar una saturació innecessària d'informació i contaminació lumínica, a més d'un sobrecost innecessari.

- No té sentit desdoblar els panells de gestió de carrils reversibles. On hi hagi gestió de carrils és suficient amb un missatge sobre cada carril que s'utilitzi indistintament per la gestió del carril o per la velocitat variable.
- Quant a la presa de dades, es disposa d'ETDs en les vies principals, i no es té en compte els accessos. A més, s'hauria de sensoritzar els ramals de sortida per poder registrar els volums i les congestions.
- Es recomana la instal·lació d'estacions meteorològiques en els marges per obtenir dades com la temperatura i estat del paviment, quantitat i intensitat de precipitació, tipus de precipitació… A més, calen estacions de control ambiental a l'entorn de les carreteres per a caracteritzar els nivells d'immissió.

Anàlisi del funcionament tècnic i gestió del trànsit

- Un dels aspectes més importants és la definició dels llindars a partir dels quals s'activa el sistema. És preferible utilitzar l'ocupació en lloc de la intensitat o la velocitat del flux, variables que s'utilitzen en el sistema implantat a Barcelona. Tanmateix, és necessari utilitzar diferents llindars per augmentar o disminuir la velocitat, per evitar la histèresi.
- El sistema implantat a Barcelona realitza una anàlisi per trams englobant cada un d'ells el tram de carretera englobat entre dos pòrtics consecutius. Amb aquest funcionament no es pot controlar el sistema en un tram determinat en funció de les condicions de trànsit aigües amunt o aigües avall, fet que li resta eficàcia.
- Els límits no haurien de ser inferiors a 80 km/h a excepció que es produeixi una aproximació a una retenció o accident, o les pròpies situacions d'una congestió. Únicament s'hauria d'utilitzar el límit de 50 km/h quan s'accedeixi a zona totalment urbana o a un perill immediat. Tot això acompanyat de la informació corresponent a cada causa a través de panells de missatge variable.
- Mai no s'hauria d'utilitzar un límit variable de 40 km/h perquè prèviament s'haurà assenyalat en cascada i el trànsit ja estarà minorat i advertit del perill. De fet, velocitats de 40 i 50 km/h proporcionen beneficis similars, però l'augment del temps de viatge és molt superior per límits de 40 km/h.
- Es podria apagar el sistema de gestió variable quan es produeixi un bloqueig del trànsit per guanyar en credibilitat, i per tal de mobilitzar ràpidament la circulació quan hi hagués un embús.
- Quant a la duració de la intervenció cal tenir en compte que si es tracta d'un període curt de temps pot provocar més pertorbacions que solucions, i si es duu en un període llarg de temps es pot considerar com un límit fix i llavors el sistema deixaria de funcionar per allò que s'havia dissenyat. No han d'haver-hi canvis freqüents de velocitat ni oscil·lacions ja que pot provocar en els conductors una necessitat de percepció i autocontrol excessius.
- El funcionament de l'algoritme de contaminació pren com a base la velocitat límit en cada moment. Una limitació de 80 km/h suposa que la majoria de vehicles circulen entre 75 i 80 km/h, el que pot suposar una reducció d'una marxa, comportant majors consums i emissions.

- La decisió de restringir a algunes zones o vies la velocitat per sota de 100 km/h cal que es correspongui amb una anàlisi rigorosa, ja que s'ha demostrat l'eficàcia en ocasions, però no s'ha demostrat que la velocitat òptima sigui 80 km/h davant de 90 km/h. Les diferències d'emissions són mínimes i amb la millora dels vehicles es poden arribar a invertir. Els consums òptims es troben entre 80 i 90 km/h, per tant un límit de 80 km/h presenta, a més, un balanç energètic negatiu.
- No està suficientment demostrada la variació en sinistralitat deguda a un canvi de velocitat entre 80 i 90 Km/h.
- No s'ha desenvolupat i incorporat un algoritme meteorològic que tingui en compte la meteorologia adversa. Hi ha inclemències com la boira o la neu que requereixen un límit inferior als 80 km/h.

Anàlisi de la infraestructura viària

- L'efectivitat del sistema es multiplica, si a banda de la instal·lació d'un bon equipament, es complementa amb modificacions de la infraestructura que afavoreixin l'eliminació de les congestions i facilitin la circulació del trànsit.
- A les autovies C-31 i C-32 no s'ha realitzat cap intervenció a la infraestructura viaria. Seria recomanable considerar la introducció de mesures complementàries que podrien millorar considerablement el sistema.

6.5. Proves pilot

Per fer front a les puntes de demanda cal un adequat control del trànsit per saber com es desenvolupa la circulació, i a continuació acomodar l'oferta a la demanda mitjançant tècniques de control i senyalització. Abans d'implementar el sistema és convenient portar a terme una revisió de l'estat de l'art dels sistemes que ja es troben en funcionament, incloent l'equipament, algoritmes de gestió i processos de control i vigilància, així com dels efectes detectats.

És convenient portar a terme proves pilot per avaluar el funcionament i modificar-lo en el seu cas. Per això, i en tenir ja el sistema implantat a les carreteres C-31 i C-32 es recomana considerar-les com a proves pilot per a un estudi més detallat del sistema abans d'ampliar l'àmbit de la gestió variable de la velocitat.

Un cop el sistema està ja implantat en una carretera, és necessari realitzar l'avaluació del mateix, abans i després de la implantació. En aquesta avaluació cal estudiar les següents variables:

- Funcionalitat del trànsit: capacitat, congestions, ones de xoc, temps de recorregut, velocitat, ocupació, intervals.
- Seguretat viària: accidents, víctimes, control de migració d'accidents.
- Contaminació.
- Soroll.

- Percepció dels conductors.
- Avaluació econòmica.
- Indicadors secundaris: utilització de carrils, diferències de velocitat entre carrils, % temps amb velocitat, distribució de velocitats, relacions fonamentals, demora horària dels vehicles, capacitat dels accessos.

Es recomana estudiar les condicions de circulació de les vies C-31 i C-32 amb el sistema apagat, per tal de realitzar les proves oportunes i poder realitzar una avaluació del sistema, i així estudiar i perfeccionar els algoritmes de gestió.

Un cop portada a terme l'avaluació del sistema, és necessari, a partir de les dades obtingudes, modificar els algoritmes de control amb la finalitat de millorar les condicions de circulació i mitigar els errors detectats. Posteriorment és necessari una nova avaluació de control i realitzar seguiments.

6.6. Adaptació de la infraestructura viària

Un altre factor important a tenir en compte és l'adaptació de la infraestructura viària. **Un canvi de funcionalitat hauria de portar associada una adaptació de la via**. A Barcelona, per a la implantació del sistema únicament s'ha tingut en compte el tronc principal, sense prestar atenció als accessos.

Algunes de les adaptacions de la infraestructura que es poden portar a terme són:

- **Millora de sortides per augmentar la capacitat de la sortida sense disminuir la velocitat en el tronc**: implantació d'un carril addicional prèviament a la sortida, augment del número de carrils en el ramal, augment de la longitud d'emmagatzematge, facilitar els girs a dreta en el propi carril, sortides d'altes prestacions.
- **Millora d'entrades per regular els accessos a la via principal reduint embussos i excés de demanda**: augment de la velocitat d'inserció en el flux principal, millora de la visibilitat i dosificació d'accessos.
- **Millora de trenats per millorar el funcionament de l'enllaç i tronc principal**: augmentant la separació d'entrada i sortida, introducció d'una estructura de separació de nivells, carril col·lector - distribuïdor, dissenyar l'entrada amb un carril de continuïtat.
- **Augment de carrils per aconseguir més capacitat**: disminució de la calçada, carril de circulació alternativa.
- **Vorals transitables temporalment per augmentar la capacitat**: habilitació de vorals per circular, es precisen refugis d'emergència.
- **Carrils dedicats en calçada compartida per millorar la funcionalitat de la via i afavorir la mobilitat.**

6.7. Procediment d'implantació del sistema de velocitat variable

En la implementació d'un sistema de velocitat variable cal que col·laborin diferents institucions i entitats amb l'administració, per involucrar a tota la societat en el perfeccionament i adopció del sistema de gestió dinàmica de la velocitat. Seria necessari facilitar informació de l'estat i avaluació del sistema.

A més, cal fer partícips als conductors, com a principals actors del sistema. Cal un bon nivell d'informació a través de campanyes d'informació i conscienciació.

Les mesures sobre les infraestructures han d'anar encaminades a una estandardització de les vies per a una funció específica, on el seu disseny inciti al conductor a escollir la velocitat adequada.

Pel bon funcionament del sistema cal un compliment dels límits de velocitat per tant el control i la vigilància són un aspecte fonamental, així com els marges de tolerància descrits en apartats anteriors.

Tenint en compte la necessitat d'ampliar l'anàlisi detallat dels trams pilot en funcionament que permeti perfeccionar el sistema, i el desenvolupament de criteris per a l'adaptació de la infraestructura per ser més eficient, cal un ajornament en el desenvolupament dels nous trams previstos.

Això també beneficiaria una major implicació dels usuaris, institucions, i entitats socials i empresarials a Barcelona, ja que s'aconseguiria una millor retroalimentació del sistema i una assumpció raonable i madurada.

El més adequat seria un període de gestació prolongada al menys d'un any més, respecte al calendari inicialment previst.

6.8. Conclusions generals

Un cop descrit i analitzat el sistema posat en marxa a la C-31 i C-32, s'indiquen les principals conclusions sobre el seu diagnòstic i sobre la seva possible millora.

Tot i que no s'han desenvolupat com a trams pilot, de fet estan funcionant com a tals, ja que el SCT està portant a terme una acció intensiva d'anàlisi, dintre de les seves possibilitats, per a millorar el sistema de gestió de trànsit i la velocitat. Els terminis de posada en marxa de les actuacions són relativament curts en el temps.

Abans d'implementar el sistema de forma generalitzada és convenient portar a terme una revisió de l'estat de l'art dels sistemes que ja es troben en funcionament, incloent l'equipament, algoritmes de gestió i processos de control i vigilància, així com dels efectes detectats atribuïts directament a la posada en marxa del sistema.

Es recomana considerar el sistema implantat a la C-31 i C-32 com a prova pilot, abans d'ampliar l'àmbit de la gestió variable de la velocitat, tenint en compte que per la implantació d'un sistema variable de velocitat cal portar a terme un estudi de les característiques geomètriques, estructurals i de flux de trànsit del mateix. És necessari realitzar una millora i ampliació d'anàlisi per extreure dels dos trams pilot el millor sistema possible.

L'avaluació del sistema ha de començar amb l'avaluació de la circulació en la carretera on es pretén implantar. En el cas de Barcelona es recomana estudiar les condicions de circulació de les vies C-31 i C-32 amb el sistema apagat, ja que malgrat que es disposa de dades anteriors a la posada en marxa no són totes les necessàries per l'anàlisi intensiu que s'ha plantejat. L'apagada del sistema es podria plantejar com part de les proves de l'avaluació o simplement com fallada temporal del sistema.

Equipament tecnològic

- Instal·lar un o dos senyals lluminosos complementats d'un panell de missatge variable amb la causa de la modificació del límit, en lloc d'una senyal per carril, augmentaria la credibilitat del sistema.
- No s'han d'utilitzar limitacions de velocitat diferents per carril per evitar canvis de carril. No és necessari disposar d'un senyal per carril per evitar una saturació innecessària d'informació i contaminació lumínica que pot ser molesta pels conductors de nit, a més d'un sobrecost.
- Tampoc té sentit desdoblar els panells de gestió de carrils reversibles. On hi hagi gestió de carrils és suficient amb un panell reduït de missatge variable sobre cada carril que s'utilitzi indistintament per la gestió del carril o per la velocitat variable.
- A més de la sensorització del tronc s'hauria de sensoritzar els ramals d'entrada i sortida per poder registrar millor les congestions en aquestos ramals i quantificar els volums corresponents.
- Es necessària la instal·lació d'estacions de control ambiental a l'entorn de les carreteres per a caracteritzar els nivells d'immissió, donant que les actuals estan sobre pòrtics.
- Quant a les estacions meteorològiques, només es disposa de mesures bàsiques sobre algun pòrtic. Per tant es recomana la instal·lació d'estacions meteorològiques en els marges per obtenir dades com la temperatura i estat del paviment, quantitat i intensitat de precipitació, tipus de precipitació, visibilitat, etc.
- També seria convenient instal·lar estacions acústiques permanents en l'entorn o, en el seu cas, realitzar mesures amb equips mòbils.

Sistema de gestió

- L'algoritme de congestió té com a paràmetres fonamentals les velocitats e intensitats. En canvi, és preferible utilitzar com a variable primària l'ocupació ja que és més consistent davant variacions aleatòries i meteorològiques, deixant les altres com variables addicionals.
- Els llindars que s'estableixin en la gestió dinàmica de la velocitat han de ser diferents per augmentar o disminuir la velocitat, per evitar la histèresi i perjudicis al flux circulatori.

- Els límits no haurien de ser inferiors a 80 km/h a excepció que es produeixi una aproximació a una retenció o accident, o les pròpies situacions d'una congestió. Únicament s'hauria d'utilitzar el límit de 50 km/h quan s'accedeixi a una zona totalment urbana o a un perill immediat. Tot això acompanyat de la informació corresponent a cada causa a través de panells de missatge variable.

- Mai no s'hauria d'utilitzar un límit variable de 40 km/h perquè prèviament s'haurà assenyalat en cascada i el trànsit ja estarà minorat i advertit del perill. De fet, velocitats de 40 i 50 km/h proporcionen beneficis similars en la seguretat viària, però l'augment del temps de viatge és molt superior per límits de 40 km/h.

- Quan es produeixi un bloqueig del trànsit, es podria apagar el sistema de gestió variable en el tram afectat, per guanyar en credibilitat, i per tal de mobilitzar ràpidament la circulació quan hi hagués un embús.

- No han de establir-se canvis freqüents de velocitat ni oscil·lacions, ja que poden provocar en els conductors una necessitat de percepció i autocontrol excessius.

- El funcionament de l'algoritme de contaminació hauria de prendre la velocitat mitjana resultant i no la base de velocitat límit en cada moment. Aquesta decisió pot suposar una reducció de velocitat de 2-3 Km/h, fet que pot suposar una reducció d'una marxa comportant majors consums i emissions.

- S'hauria de desenvolupar un algoritme meteorològic que tingués en compte la meteorologia adversa per regular les velocitats, per tal de circular de forma segura davant aquestes adversitats.

- S'hauria d'aprofundir en l'anàlisi del sistema relacionat amb la funcionalitat del trànsit, a través de les següents variables: temps de recorregut, ones de xoc, congestió, velocitat, ocupació i intervals (mesura temporal de l'espai entre vehicles consecutius).

- L'anàlisi de la seguretat viària ha de superar l'anàlisi de variacions d'un any per un altre, fins i tot a nivell de períodes similars, donada la seva insuficiència de significació estadística. S'hauria de millorar l'anàlisi per tres vies:

  - Cal realitzar estudis d'eficàcia «abans-després». Son necessàries dades de sinistralitat d'un període mínim de tres anys abans i després de la implantació del sistema. A més, s'hauria de seleccionar una mostra de trams de carreteres de característiques similars on no s'hagi efectuat cap actuació en el mateix període.

  - S'ha de controlar el número total i tipus d'accidents, incloent-hi els que només comportin danys materials. L'avaluació ha de tenir en compte la influència a la circulació dels accidents.

  - És important considerar el fenomen de migració d'accidents en l'avaluació del sistema, especialment en les vies de sortida.

- Pel que fa als nivells de contaminació, només s'han estudiat amb models generals, per tant es proposa una nova metodologia per caracteritzar de forma individualitzada les emissions.

- S'hauria d'avaluar la variació del soroll amb el mètode normalitzat SPB, mesurar el nivell de soroll en dB(A) i la velocitat de cada vehicle a un costat de la carretera, a una distància establerta.

- Per conèixer el nivell d'acceptació dels usuaris cal realitzar enquestes, tant a les àrees i estacions de servei com altres de caire més general o domiciliari.

- La percepció dels conductors depèn del nivell d'informació, credibilitat del sistema i nivell de tolerància que s'apliqui en el control i vigilància de la velocitat. Sempre serà més creïble un límit de 90 km/h amb un marge de tolerància reduït que un límit lax de 80 km/h.
- Es precisa d'una avaluació econòmica que contempli costos socials, fent un estudi de demores associant un valor econòmic al temps perdut. Al mateix temps, s'haurien d' incorporar aspectes com: consum de carburant, sinistres, contaminació acústica i contaminació per emissions.

Adaptació de la infraestructura viària

- La funcionalitat d'una via és la base del seu disseny, per tant, un canvi a la seva funcionalitat ha de portar associada una adaptació de la via. En cas de no realitzar-se aquesta adaptació, els conductors seguiran percebent la via de forma errònia i el seu comportament no s'adequarà a les noves condicions.
- Hi ha una ineficiència en les infraestructures dissenyades per velocitats altes que són utilitzades amb velocitats baixes, disposant carrils amb excessiva folgança, fet que pot representar que el conductor circuli a velocitats altes.
- A Barcelona no s'ha tingut en compte cap canvi en la infraestructura, en la implantació del sistema únicament s'ha tingut en compte el tronc principal, sense prestar atenció als accessos.
- És recomanable agregar modificacions a la infraestructura que disminueixin les congestions i facilitin la circulació del trànsit, com ja s'ha indicat anteriorment.
- Per una altra banda, els trams d'autopista de peatge poden veure disminuït el seu atractiu si es redueix a la baixa la velocitat. Es pot provocar una descompensació de la demanda amb altres itineraris alternatius, que tingui com a conseqüència la pèrdua o disminució de la rendibilitat de la concessió i sobrecàrrega en vies alternatives, que poden produir un efecte global negatiu.
- El punt anterior fa que es requereixi d'un estudi detallat de la sensibilitat de la mobilitat davant canvis en els límits de velocitat.

Procés d'implantació del sistema

- Per aconseguir una implantació eficient del sistema cal que col·laborin diferents institucions i entitats amb l'administració.
- Seria convenient l'establiment de contactes continus amb les diverses institucions i entitats per involucrar a tota la societat en el desenvolupament i perfeccionament del sistema de gestió dinàmica de la velocitat. Seria adequat facilitar de forma continua informació de l'estat i avaluació del sistema.
- A més de les institucions s'ha de fer partícips als conductors, per tant és necessari un adequat nivell d'informació via campanyes d'informació i conscienciació o la realització de tríptics informatius per entregar a les àrees de servei i qüestionaris a la web del SCT.
- Addicionalment es podria establir un sistema d'incentius basat en la col·laboració amb associacions d'automobilistes amb la finalitat d'establir un incentiu voluntari en les assegurances. Es tractaria d'incentivar una mobilitat compassada, segura i respectuosa.

- Les mesures sobre la infraestructura cal que portin a una estandardització de les vies amb una mateixa funció específica. Mitjançant el disseny de la carretera, s'ha d'incitar al conductor a triar la velocitat adequada. L'efectivitat del sistema de gestió dinàmica de velocitat pot veure's molt millorada amb modificacions de la infraestructura que afavoreixin l'eliminació de colls d'ampolla i congestió.

- Pel bon funcionament del sistema, cal el compliment dels límits de velocitat. Per tant el control i la vigilància són un aspecte fonamental. Els marges de tolerància, així com la informació als usuaris dels mateixos com la localització del elements de control, són factors essencials a considerar. S'ha de plantejar, en qualsevol cas, un sistema que sigui més incentivador que sancionador.

- Tenint en compte la necessitat d'ampliar i estendre l'anàlisi detallat del dos trams pilot i el desenvolupament de criteris per l'adaptació de la infraestructura per guanyar eficiència, cal un ajornament en el desenvolupament dels nous trams previstos. Això redundaria en una major implicació dels usuaris, entitats, i institucions socials i empresarials de Barcelona. Per això, el més adequat seria un període de gestació perllongat al menys un any més.

RECOMANACIONS DE LA CAMBRA DE COMERÇ DE BARCELONA

7 Recomanacions de la Cambra de Comerç de Barcelona

Un cop estudiat i analitzat el present informe, la Cambra de Comerç de Barcelona recomana portar a terme, entre d'altres, les següents accions per tal d'implementar i ampliar el sistema de gestió variable de velocitat amb la finalitat d'aconseguir una millora en la seva eficiència i eficàcia.

- La decisió de restringir a algunes zones o vies la velocitat per sota de 100 km/h cal que es correspongui amb una anàlisi rigorosa, ja que s'ha demostrat l'eficàcia en ocasions, però no s'ha demostrat que la velocitat òptima sigui 80 km/h davant de 90 km/h. Les diferències en emissions són mínimes. Els consums òptims es troben entre 80 i 90 km/h, presentant el límit de 80 km/h un balanç energètic negatiu. Addicionalment, no està suficientment demostrada la variació de sinistralitat deguda a un canvi de velocitat entre 80 i 90 km/h, emprant gestió dinàmica de la velocitat.
- En homogeneïtzar la circulació disminueix de forma apreciable el consum de combustible i les emissions, tot i que en condicions de flux lliure aquesta disminució no és tan significativa.
- Sempre serà més creïble pels conductors un límit de 90 km/h per densitats de trànsit reduïdes amb un marge de tolerància reduït que un límit lax de 80 km/h. Les velocitats mitges resultants poden ser molt similars.
- Es requereix una adaptació funcional de la infraestructura. El disseny de la carretera ha d'incitar al conductor a triar la velocitat adequada.
- Es recomana considerar el sistema implantat a la C-31 i C-32 com a prova pilot, abans d'ampliar l'àmbit de la gestió variable de la velocitat, tenint en compte que per la implantació d'un sistema variable de velocitat cal portar a terme un estudi de les característiques geomètriques, estructurals i de flux de trànsit del mateix. És necessari realitzar una millora i ampliació d'anàlisi per extreure dels dos trams pilot el millor sistema possible.

Des d'un punt de vista de *l'equipament tecnològic*:

- Instal·lar un o dos senyals lluminosos complementats d'un panell de missatge variable amb la causa de la modificació del límit, en lloc d'un senyal per carril, augmentaria la credibilitat del sistema.
- No s'han d'utilitzar limitacions de velocitat diferents per carril per evitar canvis de carril. No és necessari disposar d'un senyal per carril per evitar una saturació innecessària d'informació i contaminació lumínica que pot ser molesta pels conductors de nit, a més d'un sobrecost.
- Tampoc té sentit desdoblar els panells de gestió de carrils reversibles. On hi hagi gestió de carrils és suficient amb un panell reduït de missatge variable sobre cada carril que s'utilitzi indistintament per la gestió del carril o per la velocitat variable.

Pel que fa als *sistemes de gestió*:

- Els llindars que s'estableixin en la gestió dinàmica de la velocitat han de ser diferents per augmentar o disminuir la velocitat, per evitar la histèresi i perjudicis al flux circulatori.
- Mai no s'hauria d'utilitzar un límit variable de 40 km/h perquè prèviament s'haurà assenyalat en cascada i el trànsit ja estarà minorat i advertit del perill. De fet, velocitats de 40 i 50 km/h proporcionen beneficis similars en la seguretat viària, però l'augment del temps de viatge és molt superior per límits de 40 km/h.
- No han d'establir-se canvis freqüents de velocitat ni oscil·lacions, ja que poden provocar en els conductors una necessitat de percepció i autocontrol excessius.
- Quan es produeixi un bloqueig del trànsit, es podria apagar el sistema de gestió variable en el tram afectat, per guanyar en credibilitat, i per tal de mobilitzar ràpidament la circulació quan hi hagués un embús.
- L'anàlisi de la seguretat viària ha de superar l'anàlisi de variacions d'un any per un altre. Són necessàries dades de sinistralitat d'un període mínim de tres anys abans i després de la implantació del sistema.
- La percepció dels conductors depèn del nivell d'informació, credibilitat del sistema i nivell de tolerància que s'apliqui en el control i vigilància de la velocitat. Sempre serà més creïble un límit de 90 km/h amb un marge de tolerància reduït que un límit lax de 80 km/h.

Es consideren necessàries algunes millores en *l'adaptació de la infraestructura viària*:

- Hi ha una ineficiència en les infraestructures dissenyades per velocitats altes que són utilitzades amb velocitats baixes, disposant carrils amb excessiva folgança, fet que pot representar que el conductor circuli a velocitats altes.
- El sistema de control de la velocitat a Barcelona no ha contemplat cap canvi a la infraestructura. En la implantació del sistema dinàmic de velocitat únicament s'ha tingut en compte el tronc principal, sense prestar atenció als accessos. A l'apartat d'adaptacions de la infraestructura viària es detallen les possibles actuacions a dur a terme.

Respecte al *procés d'implantació del sistema*:

- Les mesures sobre la infraestructura cal que portin a una estandardització de les vies amb una mateixa funció específica, i, mitjançant el disseny de la carretera, s'ha d'incitar al conductor a triar la velocitat adequada. L'efectivitat del sistema de gestió dinàmica de velocitat pot veure's molt millorada amb modificacions de la infraestructura que afavoreixin l'eliminació de colls d'ampolla i congestió.
- Pel bon funcionament del sistema, cal el compliment dels límits de velocitat. Per tant, el control i la vigilància són un aspecte fonamental. Els marges de tolerància, així com la informació als usuaris dels mateixos com la localització del elements de control, són factors essencials a considerar. S'ha de plantejar, en qualsevol cas, un sistema que sigui més incentivador que sancionador.

- Tenint en compte la necessitat d'ampliar i estendre l'anàlisi detallat del dos trams pilot, i el desenvolupament de criteris per l'adaptació de la infraestructura per guanyar eficiència, cal un ajornament en el desenvolupament dels nous trams previstos. Això redundaria en una major implicació dels usuaris, entitats, i institucions socials i empresarials de Barcelona. Per això, el més adequat seria un període de gestació perllongat al menys un any més.

Altres recomanacions de *caràcter tècnic* són:

- A més de la sensorització del tronc s'hauria de sensoritzar els ramals d'entrada i sortida per poder registrar millor les congestions en aquestos ramals i quantificar els volums corresponents.
- Es necessària la instal·lació d'estacions de control ambiental a l'entorn de les carreteres per a caracteritzar els nivells d'immissió, donant que les actuals estan sobre pòrtics.
- Quant a les estacions meteorològiques, només es disposa de mesures bàsiques sobre algun pòrtic. Per tant es recomana la instal·lació d'estacions meteorològiques als marges per obtenir dades com la temperatura i estat del paviment, quantitat i intensitat de precipitació, tipus de precipitació o visibilitat.
- També seria convenient instal·lar estacions acústiques permanents en l'entorn o, en el seu cas, realitzar mesures amb equips mòbils.
- L'algoritme de congestió té com a paràmetres fonamentals les velocitats e intensitats. En canvi, és preferible utilitzar com a variable primària l'ocupació ja que és més consistent davant variacions aleatòries i meteorològiques, deixant les altres com a variables addicionals.

Oficines i serveis
Av. Diagonal, 452 - 08006 Barcelona
Telèfon 902 448 448
cambra@cambrabcn.org