

## Tecnologia

Un factor ambiental de primera magnitud

# L'estudi del soroll en els projectes de carreteres

Santiago Ferrer Mur

Enginyer de camins, canals i ports



Autopista A-16

L'entrada en vigor de la legislació relativa a l'avaluació de l'impacte ambiental, juntament amb el creixent rebuig social del fenomen del soroll, ha permès que el soroll comenci a ésser considerat com un factor ambiental de primera magnitud en els projectes de carreteres, aspecte que tradicionalment ha estat poc tractat, si no oblidat, en urbanisme, plans directors, estudis de contaminació, projectes, etc.

La recent publicació de la Llei de carreteres de Catalunya, que obliga a l'estudi de l'impacte ambiental en la construcció de noves carreteres o modificació de les existents, la pròxima publicació del Reial Decret que el Govern prepara per a regular la contaminació acústica a Espanya, i la recent celebració al CEDEX del «II Curs sobre el soroll: avaluació i mesures correctores», representen una ocasió adient per a repassar els aspectes que caracteritzen el fenomen.

Així, en aquest article s'exposen, en forma descriptiva i resumida, els conceptes i les magnituds principals que haurien de conèixer els qui intervenen en les diferents fases d'un projecte de carreteres, si més no per a formar criteri i permetre una adequada intercomunicació amb els especialistes en impacte ambiental.

### 1) Importància del soroll de la carretera

#### 1.1.- La contaminació per soroll

S'entén per soroll un so que supera certs nivells i que resulta molest o intempestiu. Les molèsties ocasionades pel soroll no són un problema nou: Isop deia que «a molt soroll poc enteniment», i Schopenhauer, que «la intel·ligència és una facultat humana inversament proporcional a la capacitat per a suportar el soroll». La molèstia s'associa a la resposta adversa que presenta l'individu, o la comunitat, davant d'una prolongada exposició a un determinat nivell de soroll ambiental, perquè considera que aquest li afecta de forma negativa la salut o el benestar.

Aquesta connotació de molèstia o sensació desagradable que acompanya i qualifica el so (fenomen físic), convertint-lo en soroll (percepció del so), té un component tècnic i un altre de psicològic. Allò que es consideri soroll o no, tindrà un alt contingut d'apreciació personal, purament subjectiu va: el grau de molèstia depèn de les característiques físiques del soroll, dels factors ambientals i d'aspectes subjectius i individuals com són el nivell socio-econòmic, l'educació, la complaença i el temps de permanència a la zona residencial, la valoració individual del descans, la facilitat d'identificació de la font, etc.

L'increment dels nivells de soroll a l'ambient i el fet que cada vegada és més gran el volum de població que els ha de suportar, ha fet que el soroll



sigui considerat un dels factors contaminants més molestos i que incideixen més directament sobre el benestar dels ciutadans. Globalment, el clima de soroll deriva en tres classes d'efectes desfavorables, que en conjunt constitueixen la molèstia produïda pel soroll: efectes fisiològics (pèrdua d'audició, esgotament, hipertensió,...), pertorbació de les activitats humanes (alteració de la son i de la concentració, execució de treballs, conversació,...) i acció sobre l'estat psíquic de les persones que el pateixen (alteracions del sistema nerviós).

## 1.2.- El transport com a font de soroll

En general, és molt difícil de discernir i de separar els sorolls produïts per les diferents fonts que coexisteixen, però com a ordre de magnitud podem acceptar que als països comunitaris un 80% de l'energia sonora total que s'emet a l'atmosfera té el seu origen en els automòbils, un 10% en la indústria, un 4% en el FC. i el 6% restant es deu als aeroports, la construcció, etc. Aquests valors varien lleugerament d'uns llocs a uns altres segons els diferents tipus d'infraestructura viària, el parc d'automòbils, la disciplina i educació viària, etc.

Aquesta importància dels sistemes de transport com a generadors de soroll, i per tant de molèstia, ha obligat les administracions dels diferents països a adoptar una política comuna que es desenvolupa en diferents fronts: la reducció del nivell de sorolls de cada font en particular, la reducció del nivell global a causa de la circulació i les mesures correctores individuals. Aquestes mesures no poden deslligar-se d'una adequada planificació de les infraestructures que permeti no tan sols la reducció dels nivells de soroll a les ja existents sinó que, a més, consideri adequadament el problema del soroll en els projectes de les noves.

En aquest sentit, la tendència actual de millora del transport per carretera,

agilitant els accessos a les grans urbs i modernitzant la xarxa de carreteres amb la creació de nous traçats o fent desdoblaments, aconsegueix millorar les situacions existents, traslladant, en molts casos, el problema a zones abans tranquil·les, que es veuen afectades pel nou traçat. Hom ha de tenir en compte, a més a més, que els nous traçats es projecten en general per canalitzar grans fluxos de trànsit amb alta velocitat, per la qual cosa el seu impacte pot ser molt elevat.

## 2) Caracterització del soroll

### 2.1.- Intensitat, sonoritat i nivells de pressió

El soroll, com a so no desitjat, és una de les formes d'energia més simple: l'ona sonora és el resultat d'una pertorbació de les condicions d'equilibri de la pressió en el medi transmissor on es propaga (necessàriament elàstic -el so no es propaga en el buit-), que es manifesta com una successió de compressions i dilatacions que es propaguen d'un punt de l'espai a un altre en forma d'ona longitudinal. Un so es caracteritza en la seva percepció per tres qualitats: intensitat, to i timbre.

La intensitat d'un so es pot considerar des de dos punts de vista: el fisiològic o subjectiu i el físic. La intensitat fisiològica o subjectiva d'un so correspon a la sensació que ens produeix i, en conseqüència, depèn de l'observador. No hi ha proporcionalitat entre la intensitat física d'un so que arriba a l'oïda i la sensació sonora que produeix, la qual s'anomena sensació o sonoritat: dos focus sonors idèntics emetent simultàniament no produeixen una sensació doble que un de sol. Això és degut al fet que la sensació sonora obeeix, aproximadament, a la llei psicofísica de Weber-Fechner, que diu que la sensació és funció lineal del logaritme de l'excitació, és a dir, que la sensació creix en progressió aritmètica quan l'excitació ho fa en progressió geomètrica.

Com que la intensitat acústica és proporcional a la mitjana quadràtica de la pressió acústica, per a caracteritzar un so s'ha de mesurar (amb un sonòmetre) la seva pressió acústica en relació amb una pressió presa com a referència (la pressió acústica més petita que l'oïda jove pot detectar en condicions d'audició ideals).

Però la pressió acústica té un marge de variació entre 0,0002 i 2.000 microbars (1 atmosfera 1 bar) per la qual cosa s'ha fet usual la utilització de «nivells de pressió acústica» en lloc de pressions acústiques. Entre ambdues magnituds hi ha una relació logarítmica i s'adopta com a unitat de mesura dels nivells de pressió acústica el decibel (dB). Atès que el decibel és el logaritme de la relació entre dos valors, es pot utilitzar per a descriure l'energia relativa d'un so. L'ús d'una escala logarítmica implica que un augment geomètric de la pressió es tradueix en un augment aritmètic en el nivell (expressat en dB). En conseqüència, per a sumar dos nivells sonors de dues fonts que emetin simultàniament, haurem de convertir els decibels en potència sonora relativa, sumar-los i després convertir-los novament en decibels.

### 2.2.- Freqüència i corbes de ponderació

El to d'un so és la qualitat que ens permet distingir entre un so agut i un altre de greu; físicament aquesta qualitat correspon a la freqüència del so com a vibració: representa el nombre de fluctuacions de pressió per unitat de temps i es mesura en cicles per segon (Hz).

La freqüència, que és major en els aguts que en els greus, té una gran importància en la percepció dels sons per l'oïda humana atès que aquesta no percep igual un so greu que un d'agut. Dos sons poden tenir igual nivell de pressió sonora i presentar una distribució de freqüències completament diferents, però és més molest i irritant aquell en què major sigui el component en altes



freqüències (per exemple, un so amb freqüència de 3.000 Hz resulta quasi tres vegades més sorollós que un altre del mateix nivell de pressió amb freqüència de 500 Hz).

Per a poder avaluar els diferents sons que percebem és necessari que els sonòmetres facin correccions de les freqüències en cada banda de la distribució de freqüències, similars a la resposta de l'oïda humana, de manera que la mesura s'apropi a la sensació sonora percebuda per aquesta. Això s'aconsegueix amb corbes de ponderació freqüencial, que actuen com a filtres selectius i és la «A» la que millor s'adapta a les sensacions subjectives produïdes pels sorolls del trànsit. Les mesures del soroll obtingudes aplicant l'escala A de ponderació s'expressen en dB(A).

La gamma de freqüències audibles per l'oïda humana comprèn entre 20 i 20.000 Hz ( $\approx$  entre 17 m i 1,7 cm de longitud), però a la pràctica, a efectes de mesura del soroll, la gamma superior audible es limita aproximadament a 10.000 Hz. Per conveni, la gamma audible es divideix en vuit bandes (anomenades octaves i designades per la seva freqüència central), excepte la primera i l'última, que tenen un límit superior doble de l'inferior, la qual cosa representa que hi ha deu octaves entre els tons més aguts i els més greus ( $20.000/20 = 1.000 \approx 2^{10}$ ). Com més detallada sigui la informació que es requereix sobre el nivell de soroll, més estreta haurà d'ésser la banda de mesura utilitzada (octava, terci d'octava,...), però més costosos seran els instruments de mesurament o més complexa l'anàlisi posterior.

La propagació d'una ona sonora s'associa generalment a una ondulació periòdica sinusoidal, la forma més simple de la qual rep el nom de «to pur» i depèn únicament de la intensitat sonora i d'una única freqüència (fonamental); el timbre és degut al fet que, en general, un so no és pur, és a dir, que les ones sonores corresponents no són sinusoidals, sinó que les ondulacions reals resul-

ten ser la suma de diversos moviments periòdics sinusoidals purs superposats que acompanyen l'ona sinusoidal corresponent a la freqüència fonamental i donen, per aquest motiu, qualitats diferents al so resultant.

### 3) El soroll del trànsit

#### 3.1.- Les fonts emissores

La font de soroll produït per la carretera són els vehicles, en els quals s'han de destacar dos focus de producció principals: els causats pels motors i els causats per la circulació per la carretera (rodolament, aerodinàmics,...). La importància relativa d'aquestes dues fonts varia amb la velocitat. A baixa velocitat, el motor és, amb diferència, la font predominant i el nivell de soroll produït és més gran com més petita és la protecció que aquest té, però quan es circula prop dels 100 km/h el soroll aerodinàmic i el produït pels pneumàtics es fan tan importants com el del motor.

Hi ha uns altres factors que influeixen en el soroll produït per la circulació: el pendent de la calçada (les rampes són més sorolloses), el traçat de la carretera (secció transversal preferible en trinxera), la categoria del vehicle (lleuger o pesant), el tipus i estat del ferm, la forma de conduir (pot augmentar fins a 7 dB(A) el nivell de soroll), l'antiguitat del parc automobilístic i el seu estat de conservació, etc.

El soroll del trànsit és fonamentalment discontinu. Quan un vehicle aïllat s'apropa al punt d'observació el nivell produït augmenta, arriba a un màxim, i decreix en allunyar-se el vehicle (el registre temporal d'aquesta variació del nivell sonor constitueix «l'empremta sonora» de l'esmentat vehicle); en canvi, un conjunt de vehicles formant un flux de trànsit mitjà o dens produeix un soroll més constant del qual sobresurten els pics causats pels vehicles amb silenciador en mal estat, vehicles pesants i

algunes motocicletes, que són els que condicionen en gran part la molèstia produïda pel trànsit.

La presència de camions en la circulació de tipus polsant (amb acceleracions i desceleracions, amb petits períodes de moviment i de detenció) fa pujar i desviar la distribució en el temps dels nivells sonors a mesura que la seva proporció en el total del trànsit augmenta. Això és degut fonamentalment al fet que els motors dels vehicles pesants tenen una gran relació potència/pes, i a la tendència a augmentar el règim de funcionament. A més, a causa de les característiques de la carrosseria o de l'estat de la càrrega, poden produir elevats nivells de soroll no causats pel motor.

La contínua variació temporal del nivell sonor és, doncs, la característica més destacada del soroll del trànsit. Aquestes fluctuacions del nivell amb el temps són degudes al caràcter aleatori del trànsit, a les diferents característiques mecàniques i d'emissió sonora dels vehicles, a les distintes velocitats i formes de conducció, a l'estat de conservació de vehicle i de la carretera, al traçat i el pendent, a la fluïdesa del trànsit, a les condicions de propagació sonora, etc.

#### 3.2.- Mesura del soroll del trànsit

A la vista de les variacions temporals que experimenta el soroll del trànsit, tractar de descriure'l en termes de nivell sonor en un moment determinat resulta molt ambigu, puix que aquest nivell només serà representatiu d'aquest instant i uns quants segons abans o després el nivell pot variar 15 o 20 dB(A), efecte que s'accentua quan el trànsit és molt fluid i poc intens.

Es planteja, doncs, el problema de trobar els índexs que representin adequadament les molèsties o els perjudicis del soroll sobre la població tenint en compte, a més de la intensitat, la seva durada (la pèrdua



d'audició, per exemple, va directament relacionada no sols amb la intensitat i freqüència, sinó també amb el temps d'exposició).

En aquest sentit, per permetre la descripció i la mesura de sorolls no uniformes mitjançant una expressió que resumeixi en una sola magnitud els distints nivells que es produeixen durant un interval de temps, s'ha generalitzat l'ús del nivell de pressió acústica equivalent ( $L_{eq}$ ), que representa el nivell de soroll hipotètic constant que en el mateix interval de temps conté la mateixa energia total que el soroll fluctuant que s'ha mesurat, i que resulta d'integrar el quadrat de la pressió sonora. Així, el nivell d'immissió en un punt receptor a causa de la presència d'una carretera amb unes condicions de trànsit determinades, durant un interval de mesura T que s'ha d'especificar, es defineix mitjançant el  $L_{eq}(T)$ , expressat en dB(A).

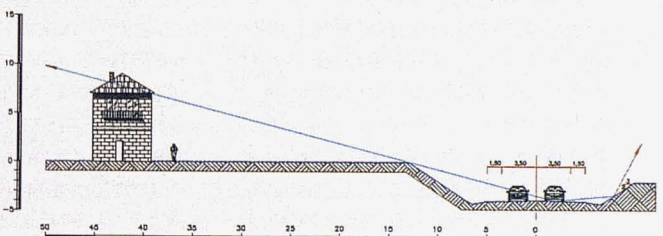
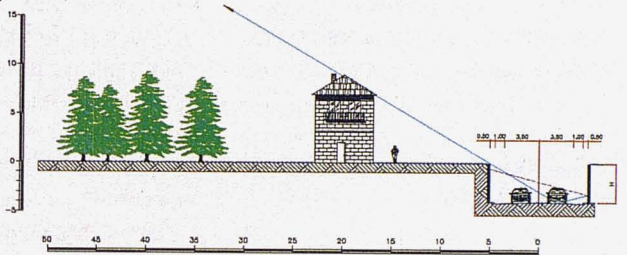
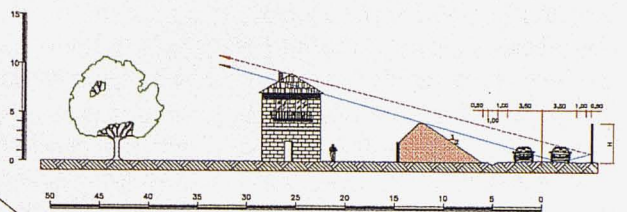
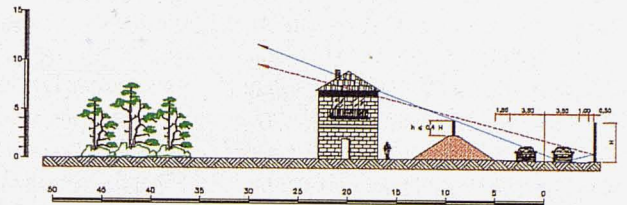
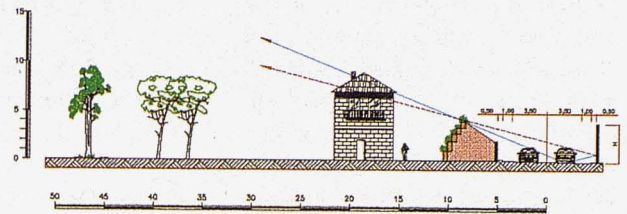
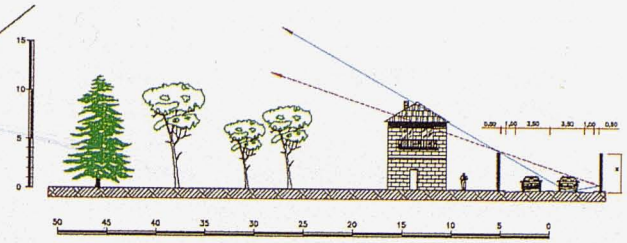
El  $L_{eq}(T)$  fa la suma de l'energia acústica rebuda durant el període d'observació i relaciona aquesta suma amb l'interval de temps. No s'ha de confondre amb el  $L_{màx}$ , que és el valor de nivell màxim de pressió sonora assolit durant tot l'interval d'estudi (si el  $L_{màx}$  assolit en un punt al pas d'un vehicle durant un segon fos 80 dB(A), el  $L_{eq}$  durant una hora seria aproximadament 45 dB(A); si en aquesta hora passa una altra vegada el mateix vehicle, el  $L_{màx}$  es mantindrà, però el  $L_{eq}$  serà  $\approx 48$  dB(A)).

A fi i efecte de reflectir l'impacte sonor de períodes de temps que poden comprendre intervals amb condicions de trànsit molt diferents, es defineixen els descriptors:  $L_{eq-dia}$  (T = 8 a 24 hores),  $L_{DN}$  ( $L_{eq}$  amb increment de 10 dB(A) per al nivell en període nocturn), etc.. Alguns països utilitzen encara en la seva legislació límits de soroll expressats en percentils o nivells estadístics  $L_n$  (nivell superat n% del temps T) la qual cosa exigeix una certa intensitat de trànsit (500 veh/h per a  $L_{50}$ ) perquè hi hagi prou representativitat en aplicar la llei de Gauss i certesa en els resultats

## EFICÀCIA SONORA DE DIFERENTS SOLUCIONS

### SOLUCIONS AL NIVELL DEL TERRENY

### SOLUCIONS EN TRINXERA





obtinguts.

#### **4) Factors que intervenen en la propagació del soroll**

##### **4.1.- Reducció per dispersió de l'energia a l'espai**

Si s'assoleix una intensitat de trànsit tal que el soroll sigui pràcticament constant amb el temps, la carretera pot assemblar-se a una font lineal caracteritzada per una certa potència acústica per unitat de longitud, en contrast amb la font puntual amb la qual es podria idealitzar un vehicle individual; ambdues situacions són ideals i aproximables sols en els dos casos extrems de molt alta i de molt baixa intensitat de trànsit.

Una carretera és una font lineal que exigeix, per a poder calcular el seu impacte, discretitzar-la en fonts que puguin considerar-se com a puntuals o com a lineals homogènies, i el més habitual és dividir-la en sectors que permetin suposar una de les dues condicions. Si la font es considera puntual, l'atenuació per l'allunyament del receptor és de 6 dB cada vegada que se'n duplica la distància; si es considera lineal (propagació cilíndrica) l'atenuació en doblar la distància del receptor a la font és de 3 dB.

Per una altra part, l'atenuació del so a l'aire és tan menor com major és el seu grau d'humitat relativa, resultant uns nivells de soroll majors en dies de boira que en dies clars.

##### **4.2.- Reflexió i atenuació per obstacles sòlids**

Per evitar la transmissió de les ones sonores des d'una font a un receptor en camp lliure es pot intercalar una barrera entre ambdós (murs de formigó-absorbents o reflectors, discs de terra i pantalles pròpiament dites - superfícies sòlides amb massa superior a 20 kg/m<sup>2</sup>-), impeding parcialment la transmissió i creant zones d'ombra acústica.

L'atenuació d'una pantalla acústica va

des d'un mínim de 5 dB(A) per a freqüències baixes fins a un màxim pràctic al voltant dels 24 dB(A). La major o menor atenuació produïda per la pantalla depèn fonamentalment de la seva alçada i de l'angle d'ombra (visuals des de la font i el receptor a la pantalla), de manera que com més alta sigui la pantalla respecte a la font sonora i al receptor, major serà l'atenuació aconseguida. En tot cas, el receptor no ha de «veure» la font; així mateix, la major atenuació s'aconsegueix quan la pantalla es col·loca tan a prop com sigui possible de la font o del receptor.

Les variacions del vent i de la temperatura, per la influència en la velocitat del so en l'aire, donen lloc a reflexions i formació d'ombres (propagació molt atenuada), ocasionant que en situacions d'inversió tèrmica i de vents es produeixin canvis a les zones d'ombra, previsible en situacions sense vent i amb temperatures decreixents amb l'alçada. Aquest efecte pot ésser apreciable a distàncies superiors a 200 m de la font.

##### **4.3.- Reflexió i absorció pel terra**

També el terra dona lloc a reflexions, i la seva atenuació augmenta amb la porositat. La influència del terra sol tenir-se en compte per a la propagació del soroll a poca alçada (menys de 6 m) i quan el terra és absorbent (porós i amb vegetació atapeïda). En canvi, la influència d'espais oberts plantats de vegetació és petita en comparació amb la de barreres sòlides ( $\leq 3$  dB(A) cada 100 m d'herba escassa de 0,1 a 0,2 m d'alçada, i  $\leq 17$  dB(A) cada 100 m d'arbreda espessa de fulla perenne), essent arriscat confiar en valors  $>10$  dB(A) cada 100 m.

La naturalesa del paviment té importància, sobretot a velocitats mitjanes i altes, però no hi ha conclusions definitives ja que la influència del tipus i del dibuix dels pneumàtics també és gran. En els casos de certs revestiments especialment rugosos i en els

empedrats el nivell sonor pot incrementar-se en 10 dB(A). En dies de pluja forta es produeixen augments entre 0,5 i 4 dB(A) segons el tipus de paviment i la reducció de velocitat associada a la calçada mullada.

Els paviments menys sorollosos són els porosos: paviments amb una elevada proporció de buits ( $>20\%$ ), bons drenants, i que tenen una alta capacitat d'absorció del soroll, major en les altes freqüències ( $>1.000$  Hz), tant de l'emès pel motor del vehicle com del rodolament. L'atenuació produïda per aquests paviments se situa entre 4 i 6 dB(A) (depenent de l'augment de la velocitat, tipus de pneumàtic,...) i el seu gruix òptim per a  $v > 70$  km/h resulta ser de 4 cm. Però els paviments porosos, a causa de l'obturació dels buits amb el pas del temps, sofreixen variacions en les seves característiques drenants i d'absorció, que arriben fins i tot a quedar anul·lades.

##### **4.3.- El tipus d'emissores i la seva distribució a l'espai**

La velocitat de circulació té una gran influència sobre el soroll emès, i s'observa un augment entre 9 i 13 dB(A) en el nivell sonor quan es dobla la velocitat mitjana del trànsit. La velocitat òptima i en la qual resulta insignificant el soroll de rodolament, perquè queda englobat en el soroll total, és de 30 a 50 km/h per a vehicles lleugers i 40 a 70 km/h per a vehicles pesants. Un trànsit discontinu amb parades i arrancades freqüents provoca pics de soroll més alts, però pot disminuir el nivell mitjà; el trànsit lent i continu produeix un nivell baix amb pics importants, mentre que un trànsit continu a gran velocitat produeix nivells mitjans molt elevats.

Amb circulació a poca velocitat i amb vehicles pesants, el soroll varia considerablement a causa de la presència d'aquests, però les diferències disminueixen quan augmenta la velocitat i la densitat de circulació o quan disminueix la



proporció de vehicles pesants. Per a una velocitat mitjana constant, el nivell sonor mitjà augmenta en 3 dB(A) en doblar la densitat de vehicles. Així, a 5 m d'una carretera per la qual passen 1.000 veh/h i 5% de pesants, obtindrem aproximadament 74 dB(A), però si hi passen 4.000 veh/h i 5% de pesants obtindrem =80 dB(A), el mateix que s'obté amb 1.000 veh/h però amb 30% de pesants.

## 5) La reducció del soroll

### 5.1.- Models de predicció

Els nivells de soroll produït pel trànsit experimenten grans variacions d'un lloc a un altre, i en un mateix lloc entre el dia i la nit, o entre dies laborables i festius, i fins i tot es produeixen fluctuacions estacionals. Com a conseqüència, la caracterització precisa del soroll ambiental per mesuraments directes és un procés molt laboriós que facilita escassa informació o la fa molt costosa, a més de servir sols per a situacions existents.

Per aquest motiu, és preferible la utilització de mètodes de càlcul que permetin predir l'impacte d'acord amb els principals paràmetres que caracteritzen l'emissió i la propagació: estableixen alguna relació semiempírica entre els paràmetres que descriuen el soroll ( $L_{eq}$ ,  $L_n$ ,...) i els que descriuen el trànsit (intensitat, % de pesants, velocitat,...). S'utilitzen, a més, com a complement dels mesuraments acústics directes en la caracterització sonora d'àrees relativament extenses i per a simular noves situacions sonores a partir de dades reals introduint modificacions en les intensitats de trànsit, en els tipus de paviment, la ubicació dels receptors, etc.

Els mètodes de predicció, a més de ser els sistemes més adequats per a conèixer l'impacte d'una carretera, són l'eina imprescindible per a calcular, quan són adequades, les solucions d'apantallament necessàries per a atenuar l'impacte amb un dimensionament òptim, aspecte

aquest molt important atès l'elevat cost d'aquestes solucions.

L'objectiu final dels estudis de soroll és la predicció, en un punt de l'espai, del soroll causat pel moviment dels vehicles en unes condicions donades, segons les variables del trànsit, el perfil viari, la topografia natural, el disseny urbà i la ubicació de l'emissor respecte a l'observador. Ens trobem, doncs, amb tres etapes de càlcul:

\* soroll generat per cada font sonora en cada punt de l'espai;

\* atenuació motivada per la separació entre cada font i l'observador; i

\* suma dels sorolls ponderats segons l'angle d'incidència sonora sobre l'observador.

La majoria de països industrialitzats han desenvolupat metodologies i normes pròpies: MODEL 77 i Stl 86 (Suïssa), MICROBRUIT i MITHRA (França), etc. A Espanya, el MOPU proposà el 1983 una metodologia per a avaluar el soroll de trànsit urbà i interurbà. El País Basc, des de 1986, finança una sèrie d'estudis que permetin arribar a una metodologia contrastada per a la seva pròpia orografia (algorisme de càlcul, emissions de diferents tipus de vehicles, influència del paviment i de la topografia, efectivitat de pantalles,...), i Navarra compta amb una normativa pròpia des de 1987.

Des del punt de vista acústic, la validesa de cada mètode descansa en les formulacions matemàtiques sobre les quals estigui construït i en la seva capacitat per a simular la influència de tots els fenòmens que intervenen en la propagació del soroll. En la pràctica, les característiques de la situació que cal analitzar poden restringir la utilització a aquells mètodes que permetin considerar, per exemple, una gran quantitat de punts d'immissió, presència d'obstacles diversos, topografia, traçats complexos, etc. Tanmateix, no s'ha d'oblidar que qualsevol model de predicció es basa en uns nivells d'emissió que poden variar d'una zona a l'altra, en estar

inlluïts per aspectes locals, com el parc de vehicles, la forma de conduir o els tipus de paviment habituals. Per tot això, és necessari adaptar el model emprat quan s'utilitza en una zona diferent d'aquella per a la qual s'ha dissenyat, contrastant els seus resultats amb casos reals que permetin calibrar el model.

### 5.2.- Estratègies de lluita contra el soroll

Les estratègies de lluita contra el soroll poden incidir:

#### 1. Sobre la font sonora

1.1. Establint els límits d'emissió dels vehicles (motor, pneumàtics,...)

1.2. Regulant la circulació (velocitats, limitacions de trànsit,...)

#### 2. Sobre la propagació

2.1. Adoptant mesures preventives de planejament (normes sobre aïllament acústic en l'edificació i sobre la ubicació de les activitats més sensibles al soroll, evitant incompatibilitat d'usos del sòl, establint zones de transició, modificant el perfil de les infraestructures,...)

2.2. Adoptant mesures preventives en la fase de disseny (des de l'estudi previ fins al projecte) de la carretera (elecció de punts de pas del traçat en planta, perfil longitudinal, secció transversal, capa de trànsit,...) o dels edificis (distribució, orientació, aïllament,...).

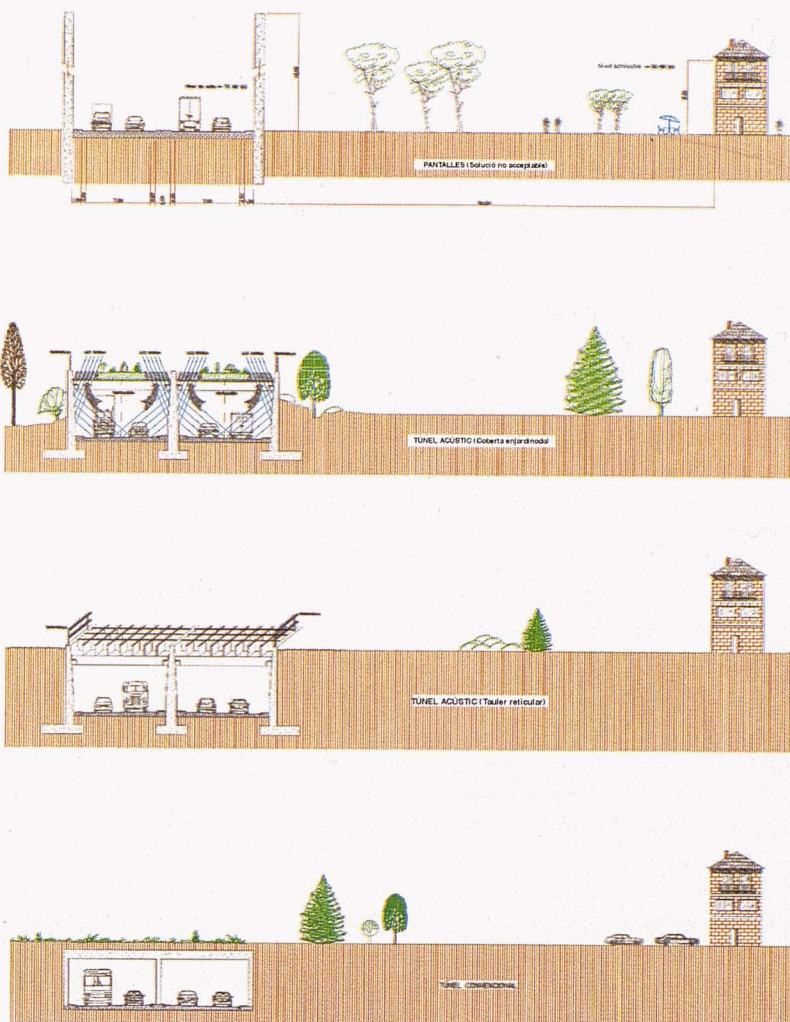
2.3. Mitjançant dispositius addicionals de protecció (pantalles acústiques, colines o dics de terra, cobriment parcial o total -túnel acústic-,...).

#### 3. Sobre els receptors

3.1. Protegint la població més exposada mitjançant l'aïllament acústic de les façanes dels edificis i l'aïllament de buits, indemnizant, etc.

L'experiència actual a diversos països posa de manifest que les mesures de planificació constitueixen el mètode menys costós i més eficaç de lluita contra el soroll. Es pot millorar el nivell sonor a l'interior dels edificis quan en el seu disseny s'ha tingut en compte el soroll exterior al qual estaran





## COMPARACIÓ DE SOLUCIONS PER A UNA REDUCCIÓ ACÚSTICA $\geq 23$ dB (A)

exposats, bé considerats en conjunt o individualment: s'apliquen solucions com són edificis que actuen com a barrera del soroll per a uns altres, i els més exposats es dediquen a activitats menys sensibles al soroll; l'orientació cap a patis interiors amplis, d'esquena a la font, o la distribució interior dels habitatges són unes altres solucions.

La reducció del soroll als edificis també es pot aconseguir mitjançant barreres acústiques, que poden integrar les barreres de seguretat col·locades a les vores de les vies de circulació. Però l'adopció de mesures

d'insonorització als edificis pot ser en molts casos la mesura més eficaç i menys costosa per a reduir tant l'exposició als sorolls exteriors com els interiors. La instal·lació de dobles finestres, per exemple, permet millorar l'aïllament acústic fins a  $\approx 6$  dB(A) en doblar la massa de la superfície aïllant.

### 5.3.- Límits admissibles

Independentment de les accions que hagi de prendre el legislador, limitant l'emissió de soroll dels vehicles, establint una normativa legal coordinada entre Llei de carreteres - plans

generals d'urbanisme - plans parcials - etc., s'ha d'actuar sobre la via (com a font sonora) i sobre l'entorn (com a receptor). I per a considerar l'adopció de qualsevol tipus de solució és necessari que prèviament s'hagin establert (en forma de norma legislativa o de simple recomanació) uns límits (valors màxims tolerables) a partir dels quals haurà d'ésser estudiada alguna solució.

L'avaluació de la qualitat del medi ambient sonor es determina per factors com l'activitat dels receptors del soroll (lligades a l'espai i al temps) de manera que un soroll suportable en unes determinades circumstàncies pot no ser-ho en unes altres. Respecte a l'espai, el control del soroll es pot fer establint distints límits admissibles del valor del  $L_{eq}$  segons els usos del sòl (residencial, industrial, hospitalari,...). Respecte a la distribució temporal del soroll, s'ha comprovat que les reaccions de la població són molt diferents segons el període del dia. En general, el soroll és més tolerat durant el període d'activitat diürna, menys en els períodes de descans de tarda-nit, i molt menys en el període nocturn.

Per poder tenir en compte aquestes variacions s'utilitzen distints límits admissibles del  $L_{eq}$  segons el període i la zona. La majoria de les reglamentacions dels països del nostre entorn distingeixen entre  $L_{eq-dia}$  (generalment  $T = 6$  a 22 hores) i  $L_{eq-nit}$  ( $T = 6$  a 22 hores). Un  $L_{eq-dia}$  de 65 dB(A) i un  $L_{eq-nit}$  de 55 dB(A) es consideren com a valors màxims acceptables en façanes d'edificis d'habitatges, encara que serien desitjables nivells de 55 i 45 dB(A) respectivament (convé apuntar que duplicar la intensitat acústica representa afegir 3 dB(A) al nivell); per a vies existents i per a zones comercials o industrials a aquests valors poden afegir-se de 5 a 10 dB(A), mentre que per a zones d'ensenyament i d'hospitals s'han de reduir 10 dB(A).

### 5.4.- Sistemes d'esmoreïment sonor

En interposar una barrera sòlida en-



tre la font de soroll i el receptor, es produeix un efecte d'atenuació del soroll que depèn fonamentalment, a més de la seva ubicació respecte de la font i del receptor, de les dimensions de la barrera, que són les que determinen la contribució de l'energia directa i de la difractada, i de l'aïllament que aporta la barrera en oposar-se a la transmissió del soroll, que depèn principalment dels seus materials, i en menor mesura del seu gruix.

En el disseny de barreres s'han d'harmonitzar quatre aspectes: acústic, estètic o d'intrusió visual, econòmic i de seguretat viària. A més de disminuir el nivell sonor, les barreres han d'ocultar la font sonora i en el seu estudi convé incloure el coneixement de l'opinió dels receptors, amb la qual cosa s'aconsegueixen efectes psicològics favorables sobre els receptors del soroll. En canvi, un apantallament mal adaptat al lloc o mal integrat en l'entorn pot ser motiu de rebuig (excessiva proximitat i reducció de llum a les cases, sensació de monotonia i mineralització dels marges de la carretera, reducció de la visibilitat transversal,...)

Unes altres consideracions que cal tenir en compte per al disseny de barreres acústiques són les següents:

\*superfície disponible, usos del sòl a les proximitats de la via (actuals i futures) i expectatives d'ampliació d'aquesta;

\*l'eficàcia augmenta amb l'alçada de la barrera (en qualsevol cas ha de tallar la línia imaginària que uneix la font i el receptor), no ha d'incloure ranures (les portes requereixen dissenys especials) i el seu cantell superior ha d'estar a la menor distància possible de la via;

\*l'alçada ha de mantenir-se constant en trams llargs (les seves variacions donen lloc a oscil·lacions del nivell sonor) i la seva longitud ha d'ultrapassar l'objecte que cal protegir segons l'atenuació per la

distància (poden caldre fins a 150 m), o s'han de tancar els laterals del receptor amb trams perpendiculars a la via per a atenuar l'energia directa rebuda pels extrems;

\*la barrera s'ha d'integrar en l'entorn (consideracions estètiques generals, de seguretat de l'usuari de la via, psicològiques i d'acceptació del receptor) i no s'ha d'alterar la vida social ni modificar la configuració de l'entorn urbà de la població que s'hagi de protegir (visuals interiors i exteriors, paisatge i microclima -ombres, vents,...);

\*les barreres acústiques han d'oferir protecció contra les fonts de risc i no crear situacions de perill potencial (limitació de visibilitat en zones d'accés i sortida de la via, distracció de l'atenció, enlluernament, monotonia,...) i en el seu càlcul s'han de considerar totes les accions exteriors i càrregues estructurals a què poden estar sotmeses i assegurar llur adequada resistència i estabilitat.

Barreres acústiques són, doncs, elements o obstacles que, per la seva situació i característiques, protegeixen del soroll un receptor respecte d'una font sonora (es reserva el terme pantalla per designar els murs de gruix relativament petit concebuts com a barreres acústiques), i presenten distintes tipologies, a saber:

**Plantacions:** d'escassa efectivitat (no mai immediata) com a mesura antisoroll, però útils en combinació amb unes altres accions i per a la millora del paisatge; requereixen disposar de prou terreny i reg durant els primers anys de vida.

**Motes o turons de terra:** poden reduir uns 10 dB(A) a les zones d'ombra però no se solen pas construir amb alçades superiors a 5 m; tenen bones qualitats estètiques i poden ser econòmics si es construeixen amb terres sobrants del lloc; poden estalviar barreres addicionals de seguretat, ocupen molt espai i els cal manteniment.

**Pantalles:** l'alçada màxima (que

defineix la seva eficàcia acústica òptima) no ha de tenir més de 3 o 4 m (per raons estètiques) i la mínima perquè siguin efectives és d'1 m; amb igualtat de la resta de condicions té major eficàcia una pantalla antisoroll ubicada al nivell del terreny i a la vora de la carretera que no pas una trinxera o un turó d'igual alçada (el cantell de difracció queda a cota més baixa pel talús); han de reduir el nivell global en 6 dB(A) com a mínim (és normal exigir una reducció de 10-15 dB(A)) per a la qual cosa hauran d'absorbir 20-22 dB(A) dels nivells que ultrapassin la pantalla; es consideren obstacles perillosos als marges de les carreteres, per la qual cosa s'imposa l'acompanyament amb barreres de seguretat, que augmenten el seu cost d'instal·lació; la longitud de la pantalla ha de ser suficient perquè l'energia de les ones sonores que accedeixen al receptor directament pels laterals no resulti superior a la que rep per difracció (els punts d'intersecció amb obres de fàbrica i les discontinuïtats requereixen atenció específica).

**Motes de terra de talussos escarpats:** solució mixta, amb efectivitat inicial parcial, que millora l'aspecte estètic de les pantalles, encara que ocupa més terreny, i que, per sobre de tot, necessita una pluviositat regular, o reg automàtic, per a establir i mantenir la vegetació.

**Solucions especials:** falsos túnels o túnels acústics en zones urbanes molt denses i amb edificis alts, que aconseguixen reduccions d'uns 25 a 30 dB(A) (a més d'evitar l'efecte trompeta als accessos propis dels túnels convencionals), turons coronats amb plantacions, murs amb reblliment de terra i vegetació, etc.