



Universitat de Girona
Escola Politècnica Superior

Projecte/Treball Final de Carrera

Estudi: Enginyeria Industrial. Pla 1994

Títol:

Estudi d'impacte acústic de l'Avinguda Sant Jordi del municipi d'Olot

Document: Memòria i Annexes

Alumne: Gerard Pons Bosch

Director/Tutor: Josep Arnau Figuerola / Alex Deltell
Carbonell

Departament: Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Àrea de màquines i motors tèrmics

Convocatòria (mes/any): Febrer 2006



ÍNDEX

1.- INTRODUCCIÓ	4
1.1.- ANTECEDENTS	4
1.2.- OBJECTE.....	4
1.3.- ABAST.....	4
2.- ESTUDI DE SOROLL DE L'AV. SANT JORDI D'OLOT	6
2.1.- PROCEDIMENT	6
2.2.- TREBALL PREVI	6
2.2.1.- Teoria del soroll	6
2.2.2.- Cartografia de l'àrea d'estudi	7
2.2.3.- Tractament de la cartografia.....	8
2.2.4.- Planejament de la presa de mesures	10
2.3.- TREBALL DE CAMP	18
2.3.1.- Presa de les mesures de soroll	18
2.3.2.- Estudi de mobilitat	21
2.3.3.- Interpretació dels resultats experimentals	23
2.4.- ANÀLISIS AMB CADNA	27
2.4.1.- Importació de la cartografia al programa CADNA	27
2.4.2.- Modelització.....	28
2.4.3.- Verificació de les mesures de soroll.....	31
2.4.4.- Simulació del model.....	34
2.4.5.- Interpretació i estudi de resultats.....	41
2.4.6.- Avaluació del soroll segons la LLEI 16/2002.....	52
2.4.7.- Anàlisi i simulació de possibles millores	59
2.4.8.- Anàlisi i simulació d'un vial alternatiu	76
3.- RESUM DEL PRESSUPOST	90



4.- CONCLUSIONS GENERALS	91
5.- LLISTA DE DOCUMENTS	93
6.- BIBLIOGRAFIA.....	94
ANNEX A: TEORIA DEL SOROLL	97
A.1.- SO I SOROLL	98
A.2.- PROPAGACIÓ DEL SO.....	98
A.2.1.- Tipus de transmissió	98
A.2.2.- Elements que afecten la transmissió del so	99
A.3.- MESURA DEL S0 I ESCALA DECIBÈLICA.....	100
A.3.1.- Nivell de pressió sonora	100
A.3.2.- Nivell de potència sonora	102
A.3.3.- Freqüència, corbes de ponderació i bandes d'octava	102
A.4.- PARÀMETRES DE MESURA.....	105
A.4.1.- Nivell sonor equivalent: $L_{eq,T}$	105
A.4.2.- Nivells estadístics: L_N	106
A.4.3.- Nivell de contaminació del soroll: NPL.....	107
A.5.- EQUIPS DE MESURA	108
A.5.1.- Sonòmetres	108
A.5.2.- Calibradors	109
A.5.3.- Filtres.....	110
A.6.- CÀLCULS EN DECIBELS	110
A.7.- TIPUS DE FONTS DE SOROLL.....	111
A.7.1.- Fonts puntuals.....	112
A.7.2.- Fonts lineals.....	113
A.7.3.- Fonts superficials.....	114
A.8.- SOROLL DE TRÀNSIT	115



A.8.1.- Soroll generat per un vehicle.....	116
A.8.2.- Tipus i classes de vehicles.....	116
A.8.3.- Fonts de soroll dins del vehicle	117
A.8.4.- Normativa d'homologació dels vehicles	118
A.8.5.- Control de soroll dels vehicles	121
A.8.6.- Soroll generat pel trànsit.....	124
A.8.9.- Indicadors de trànsit	124
A.8.10.- Tipologies de trànsit	126
A.8.11.- Mesura del soroll del trànsit	127
A.8.12.- Determinació del soroll del trànsit	128
A.8.13.- Avaluació del soroll de trànsit.....	131
ANNEX B: SONÒMETRE CESVA SC-30.....	134
ANNEX C: PUNTS DE MESURA.....	143
ANNEX D: RECULL FOTOGRÀFIC	155
ANNEX E: ESTUDI ECONÒMIC	163



1.- INTRODUCCIÓ

1.1.- ANTECEDENTS

En els últims anys , abans des del GREMA (Grup de Recerca en Energia i Medi Ambient) i ara des del GREFEMA (Grup de Recerca en Enginyeria de Fluids, Energia i Medi Ambient), s'han fet diversos estudis d'impacte acústic, tant d'indústries com d'infraestructures viàries, en el marc de l'acústica ambiental.

L'Avinguda Sant Jordi és un punt conflictiu en quan a l'impacte acústic que causa a la zona pel fet de ser una via de comunicació molt transitada que uneix dos extrems de la ciutat. Els veïns de la zona tenen un cert malestar per aquest tema i han manifestat en diferents ocasions aquest fet. Com habitant de la ciutat d'Olot i com a veí de la zona afectada, estudiar la repercussió acústica que té aquesta avinguda dins el marc del nucli urbà pot ser una bona causa per intentar millores en aquest tram, en la mesura del possible, si realment queda reflexat que els nivells de soroll són excessius.

1.2.- OBJECTE

L'objecte principal d'aquest Projecte Final de Carrera és realitzar una sèrie de mesures de soroll adequades, previ estudi de les característiques del tram de carretera a avaluar, per tal de crear un model amb el programa CADNA a partir del qual poder valorar els nivells de soroll generats per l'Avinguda Sant Jordi a la ciutat d'Olot i veure com afecten en els veïns de la zona.

1.3.- ABAST

L'abast d'aquest Projecte Final de Carrera serà el que permeti poder fer una avaluació de l'impacte acústic que genera aquesta avinguda i l'afectació que provoca a la zona propera. L'estudi es centra en el tram del vial d'aproximadament 900 m de longitud on es concentra la majoria de la població afectada.



Aquest estudi inclourà els nivells de soroll que provoca aquest vial en una espai almenys de tres illes al seu voltant i l'impacte que provoca no només a nivell de carrer sinó en diferents alçades dels edificis.

Posteriorment i amb independència dels resultats obtinguts, s'estudiaran diferents hipòtesis per a poder disminuir aquests nivells de soroll.

Les hipòtesis seran les següents:

- Pantalles acústiques
- Asfalt sonoreductor o porós
- Restricció del pas de vehicles pesants
- Reducció de la velocitat de circulació

No obstant, també s'avaluarà l'efecte que produiria en els nivells acústics de l'Avinguda Sant Jordi la construcció d'un vial alternatiu.

Les coordenades UTM, amb precisió de metres, de les dues rotondes entre les quals s'avalua l'impacte acústic generat per la carretera N-141 són (477.875; 4.646.361; 31; N) i (478.975; 4.646.370; 31; N).



2.- ESTUDI DE SOROLL DE L'AV. SANT JORDI D'OLOT

2.1.- PROCEDIMENT

El procediment seguit per a la realització d'aquest estudi consta dels següents passos:

1. Recopilació i anàlisi de la teoria del soroll (general i específica de trànsit).
2. Recopilació d'informació sobre la cartografia de l'àrea d'estudi i sobre les característiques del trànsit.
3. Tractament de la cartografia.
4. Planejament de la presa de mesures.
5. Presa de les mesures de soroll
6. Estudi de mobilitat (quantificació, velocitat i tipus de trànsit)
7. Interpretació dels resultats experimentals
8. Importació de la cartografia al CADNA
9. Modelització.
10. Verificació del model.
11. Simulació del model
12. Interpretació i estudi de resultats
13. Avaluació del soroll segons la norma
14. Anàlisi i simulació de possibles millores
15. Anàlisi i simulació d'un vial alternatiu

2.2.- TREBALL PREVI

La primera fase per a la realització de l'estudi de soroll consta de la recopilació de les diferents dades que posteriorment es necessitaran per a poder realitzar la simulació amb el programa informàtic CADNA.

2.2.1.- TEORIA DEL SOROLL

S'adjunta com annex un resum de la teoria bàsica usada en l'elaboració del present projecte. En aquest resum s'ha dedicat especial atenció a la definició dels diferents



paràmetres acústics emprats, comportament del soroll de trànsit, equips de mesura, tipus de fonts de soroll, etc.

2.2.2.- CARTOGRAFIA DE L'ÀREA D'ESTUDI

El punt de partida d'aquest estudi de soroll es basa en el mapa de la zona on es vol fer l'estudi.

Aquest mapa de la zona és una base topogràfica 1:5000 en 3D creat per l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), i respon a l'actualització del Mapa topogràfic de Catalunya v1.5 finalitzat l'any 1995. La principal font d'informació de l'actualització és la restitució fotogramètrica, en estacions fotogramètriques digitals, a partir de fotografies aèries de diverses escales.

El sistema de referència és el sistema oficial anomenat ED50 (European Datum 1950) com a reglamentari pel Decret 2303/1970 i constituït per El·lipsoide Internacional (Hayford 1924) i Datum Postdam (Torre de Helmert).

Les cotes estan referides a la superfície definida pel nivell mitjà del mar a Alacant.

Els vèrtexs geodèsics estan extrets de la base de vèrtexs de la ICC.

El sistema de representació plana és la projecció conforme Universal Transversa de Mercator (UTM), fus 31 (inclou Catalunya) establerta com a reglamentària pel Decret 2303/1970.

L'equidistància entre les corbes de nivell és de 5 metres, amb corbes de nivell mestres etiquetades cada 25 metres. En zones extremadament planes les corbes de nivell són cada 2,5 metres.

En el cas que ens ocupa, la base topogràfica utilitzada té el codi 257-1-8 en coordenades relatives i 297-88 en coordenades absolutes segons el tall 1:5000 de l'institut català de cartografia..

2.2.3.- TRACTAMENT DE LA CARTOGRAFIA

El mapa obtingut mitjançant l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) és un mapa en format digital, la qual cosa permet utilitzar el programa Autocad per tal de fer el tractament de dades necessari. A partir d'aquest mapa, i una vegada havent fet les modificacions pertinents, es podrà entrar en el software informàtic CADNA per tal de tenir la base per poder fer la simulació.

El mapa facilitat de la zona és correcte però pel fet de ser una versió nova, o no s'ha d'excloure que puguin ser errors del mapa, comporta haver de fer unes modificacions extres que potser en altres casos no s'haurien de fer.

Primerament s'han de repassar totes les capes que interessin del mapa per tal de que no hi falti cap element o simplement estigui en una capa que no li correspongui.

Posteriorment s'ha d'assegurar que les línies que conformen els elements siguin en forma de polilínies i que els elements que representen els edificis estiguin tancats, en cas contrari el programa no interpretarà bé el seu significat. També es comprovarà que el mapa facilitat i la situació actual siguin fidels, en cas contrari s'actualitzarà mitjançant l'Autocad i en forma de polilínies.

Finalment s'haurà de dibuixar l'eix central i el número de carrils de l'Avinguda per tal de saber perfectament com és el recorregut exacte de la carretera, una manera de fer-ho és dibuixant les voreres i els possibles aparcaments laterals que hi puguin haver.

La Figura 1 mostra el plànol en format Autocad, una vegada havent fet les modificacions pertinents esmentades en aquest apartat, que s'entrarà en el programa CADNA.

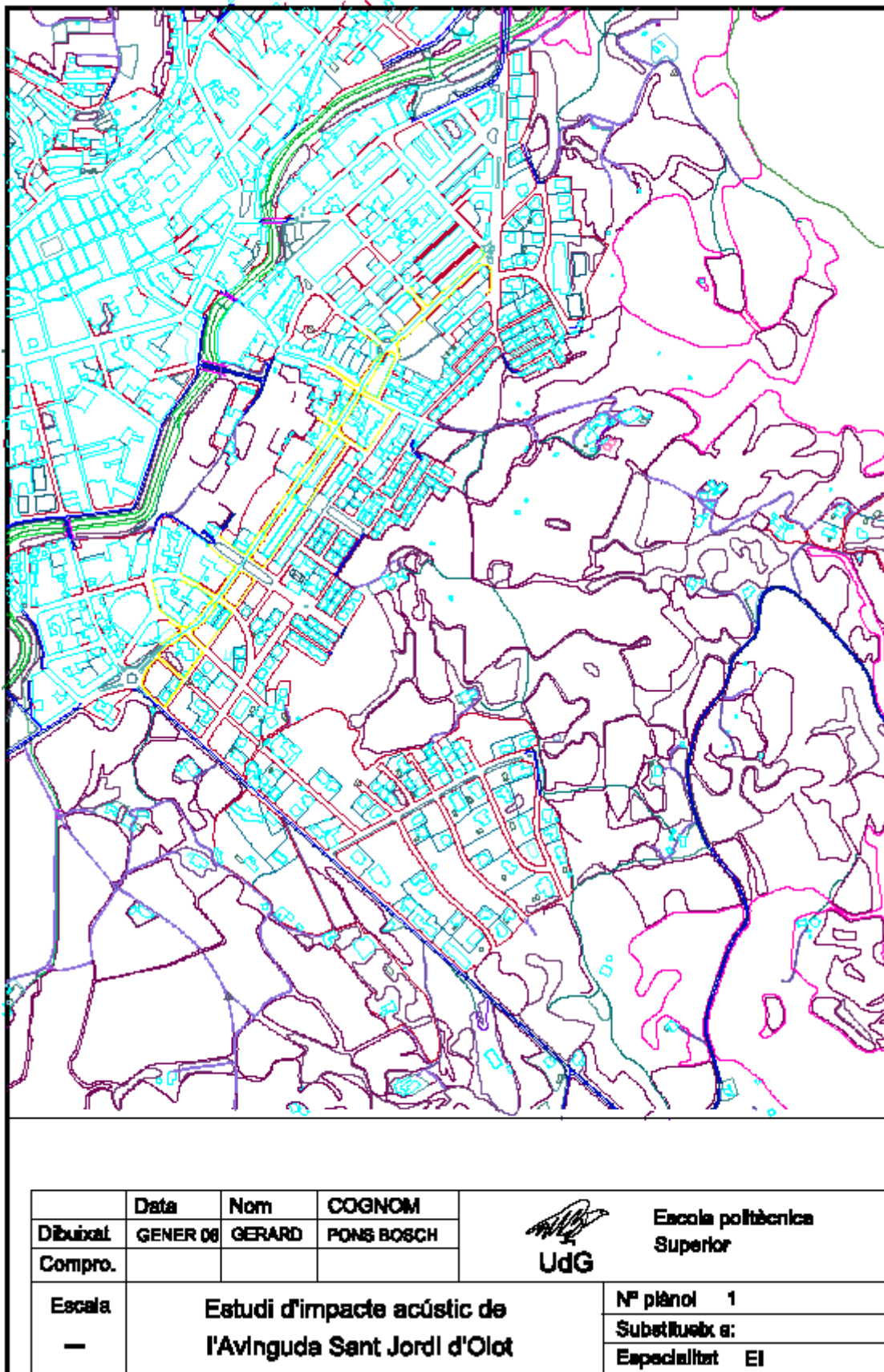


Figura 1. Plànol en format Autocad a introduir en el programa CADNA



2.2.4.- PLANEJAMENT DE LA PRESA DE MESURES

Per a poder fer un bon estudi de l'impacte acústic s'han de seleccionar els punts de mesura per tal de poder tenir una mesura fiable i representativa de la realitat acústica de cada punt on realitzarem el treball de camp, per tant s'haurà de tenir en compte una sèrie de condicionants:

- Trànsit en diferents trams de l'Avinguda: Aquest condicionant implica tenir en compte els encreuaments de carrers. Permet tenir mesures abans i després de cada encreuament per veure si hi han percentatges significatius de trànsit que es desvien per aquests carrers.
- Quantitat de mesures: S'han de posar els punts de mesura que un cregui necessari per a l'estudi i per a la precisió que es vulgui aconseguir.
- Característiques del punt de mesura: S'han d'escollir punts on al darrera de la posició del sonòmetre tinguem o una paret el més regular possible o simplement no hi tinguem cap element.

Aquest condicionant és degut a que a l'hora d'entrar les dades al programa CADNA, com veurem posteriorment, aquest no té en compte els elements que modifiquen les parets ja siguin balcons, finestres, entrades,...

- Fonts de soroll: En aquest estudi s'ha d'analitzar el soroll que genera el trànsit rodat, intentant evitar, en la mesura que sigui possible, les altres fonts de soroll per tal d'aconseguir unes mesures netes.
- Selecció de les hores de mesures: Els fluxos horaris de vehicles, tant en vials urbans com interurbans depenen del temps en que s'estudiïn. Bàsicament es poden diferenciar 3 períodes diferents, el diürn, el nocturn i les hores punta.

La distribució d'aquests períodes depèn estrictament de l'indret a estudiar, però en general es pot acceptar que les ciutats tenen un comportament comú, que fixa aquests períodes en unes hores més o menys determinades.



És per tant important conèixer quan es realitzen les diferents mesures, per poder interpretar-les i avaluar-les correctament.

La millor manera de poder veure quan realitzar les mesures de soroll és mitjançant una mesura de 24 hores on es pugui veure la tendència que segueix el trànsit.

Aquesta mesura serà significativa ja que es podrà veure l'evolució del nivell de soroll, tot i ser en un punt determinat.

En aquest estudi s'han seguit els condicionants anteriors de la següent manera:

- S'ha dividit l'Avinguda en 8 trams. Cada tram està delimitat per un encreuament. D'aquesta manera s'assegura que els fluxos horaris són sempre els mateixos en cadascun dels trams determinats. Per tant la situació de les mesures, dins de cada tram no es veurà modificada per diferències de fluxos de trànsit, que per tant es podran avaluar lliurement, sense necessitat d'anàlisis més complexes.
- Depenent de la llargada de cada tram s'ha optat per posar més o menys mesures, en el cas que el tram sigui llarg es posaran més mesures i en cas contrari se'n posaran menys, de manera que quedin ben repartides.

En aquesta Avinguda s'ha optat per posar almenys dos punts de mesura per cada tram, tot i que en el tram 6 només n'hi hagi una pel fet de no tenir molta llargada.

- Pel fet de ser una zona bastant poblada i conseqüentment amb forces edificis s'ha optat per fer totes les mesures amb paret el més plana possible al darrera del sonòmetre, ja sigui en edificis com murs. D'aquesta manera es respecten també els preceptes de la llei 16/2002 en la mesura de trànsit a façana dels edificis, tot i que, pel que fa a la modelització del soroll, en principi no s'està subjecte a cap normativa.

- S'han situat els punts de mesura de manera que no hi hagi cap font de soroll externa al soroll que provoca el pas del trànsit pel vial, ja que aquest fet pot distorsionar la mesura real.
- Per a la selecció de les hores de mesura s'ha utilitzat la gràfica de l'evolució del soroll provocat pel trànsit de la ciutat de Girona.

El comportament, a grans trets de les diferents ciutats i carrers sol ser bastant més constant del que hom pot pensar, no obstant, l'existència d'alguns tipus d'equipaments com escoles o centres comercials poden modificar-los significativament.

Per tal de diferenciar els tres períodes típics de qualsevol vial (període diürn, nocturn i d'hora punta) s'ha pres la distribució típica de la Figura 2.

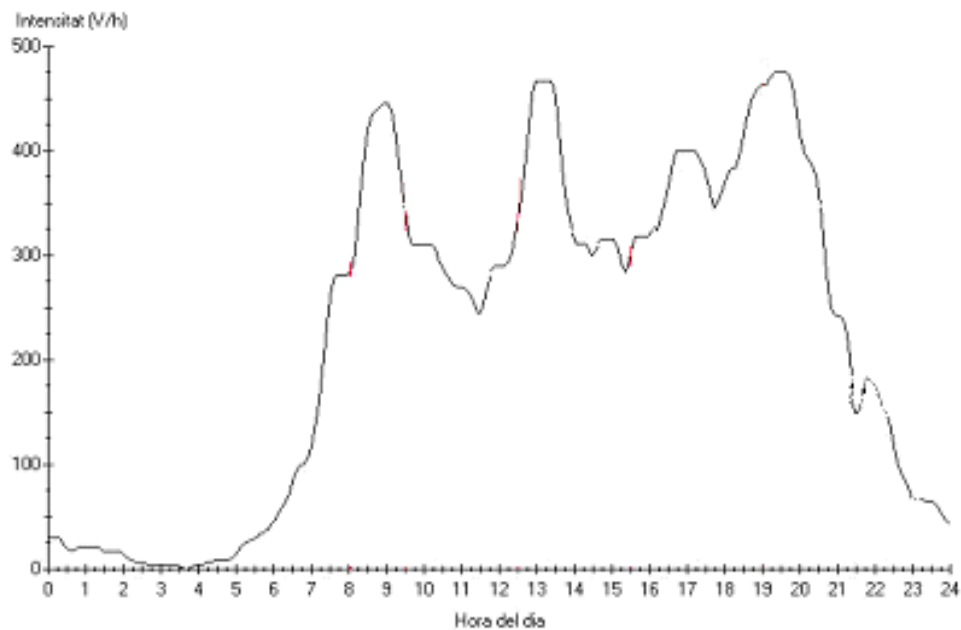


Figura 2. Gràfica de flux de trànsit en la mesura de 24 hores a Girona

Tal i com es pot observar en aquesta gràfica de fluxos de trànsit de la Figura 2 existeixen els tres períodes esmentats anteriorment.



Es pot observar com des de les 7:00 hores del matí la tendència és un augment de flux de trànsit fins a les 8:00 hores del matí, a partir d'aquesta hora i fins les 9:30 hores es pot considerar un període d'hora punta, ja que el trànsit és màxim. A partir d'aquí la tendència és a disminuir fins les 9:30 hores mantenint-se fins les 12:30 hores, aquest període es considera un període d'horari normal. Igualment que en el cas del matí, llavors des de 12:30 hores fins 13:30 hores hi torna haver una augment de trànsit considerant-se hora punta, i una posterior disminució entre 13:30 fins 16:30 hores.

En el cas de la tarda també es pot dir que es manté aquesta tendència però amb les diferències de que a les 17:00 hores hi ha com una mica d'augment de trànsit sense poder-se considerar hora punta, i que el que es pot considerar com hora punta no queda definit tant clarament com un pic en la gràfica, sinó que l'interval d'hora punta és més llarg, aquest es pot considerar des de les 18:00 hores fins les 20:00 aproximadament. A partir de les 20:00 hores el trànsit disminueix quedant palès el període d'horari nocturn.

Com a resultats de l'anàlisi de la gràfica anterior s'ha optat per a realitzar les mesures en un horari comprès entre les 15:30 hores i les 20:00 hores de la tarda.

Tenint en compte els factors anteriors, la distribució de les mesures sobre el plànol de l'Avinguda Vial Sant Jordi d'Olot es pot veure en la Figura 3.



Figura 3. Distribució dels punts de mesura

Ampliant el plànol anterior es pot veure amb més detall l'ubicació de cada mesura.

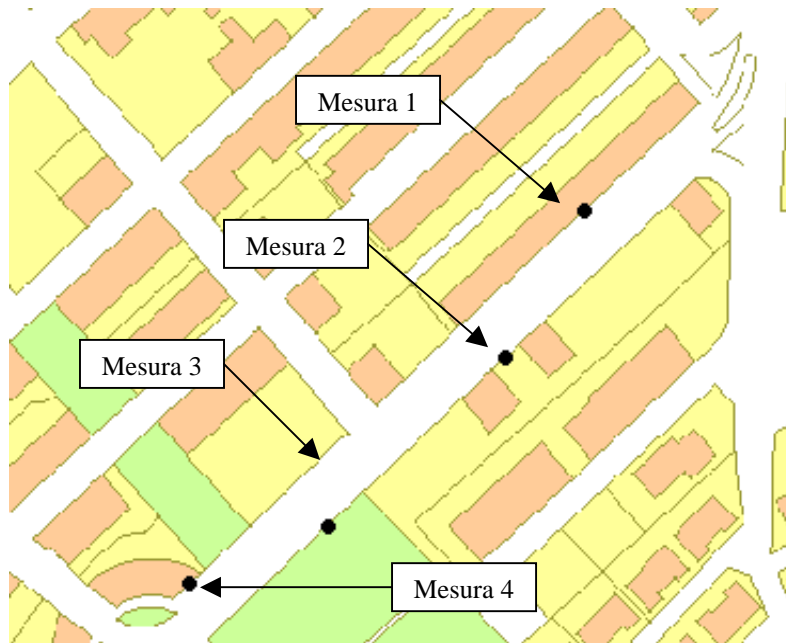


Figura 4. Distribució dels punts de mesura

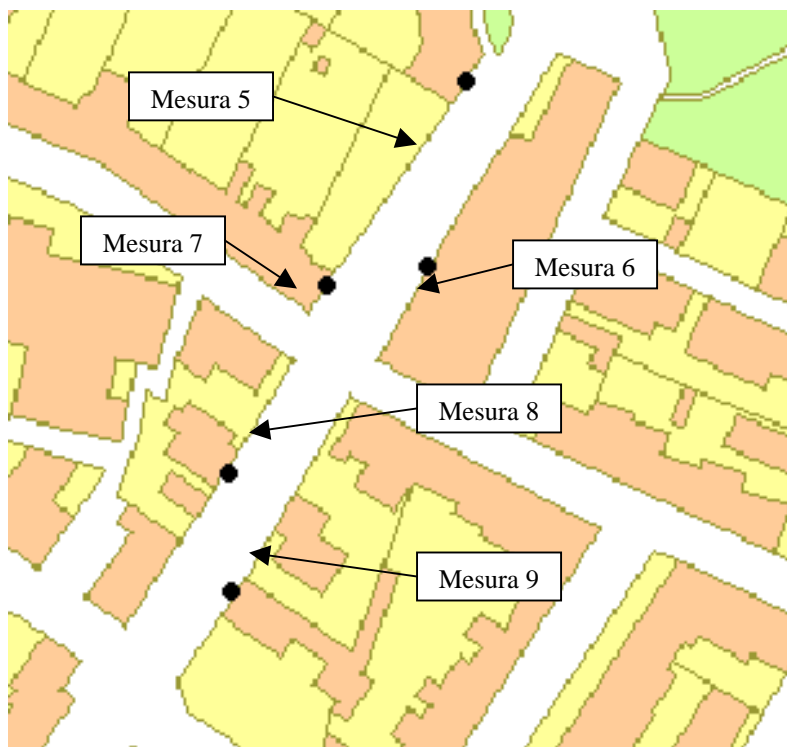


Figura 5. Distribució dels punts de mesura

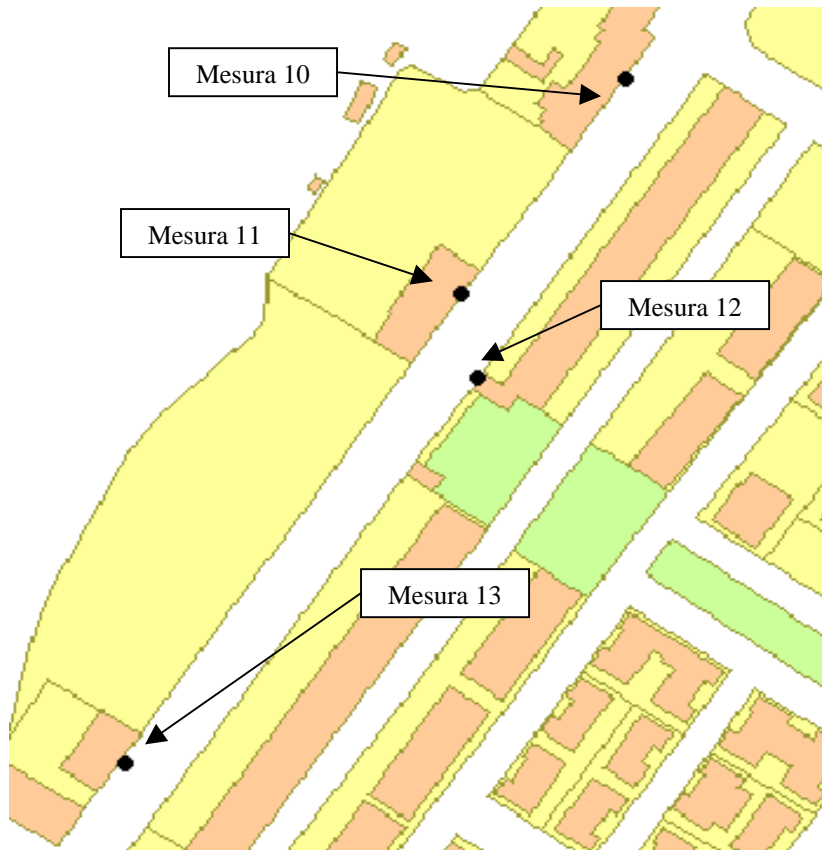


Figura 6. Distribució dels punts de mesura

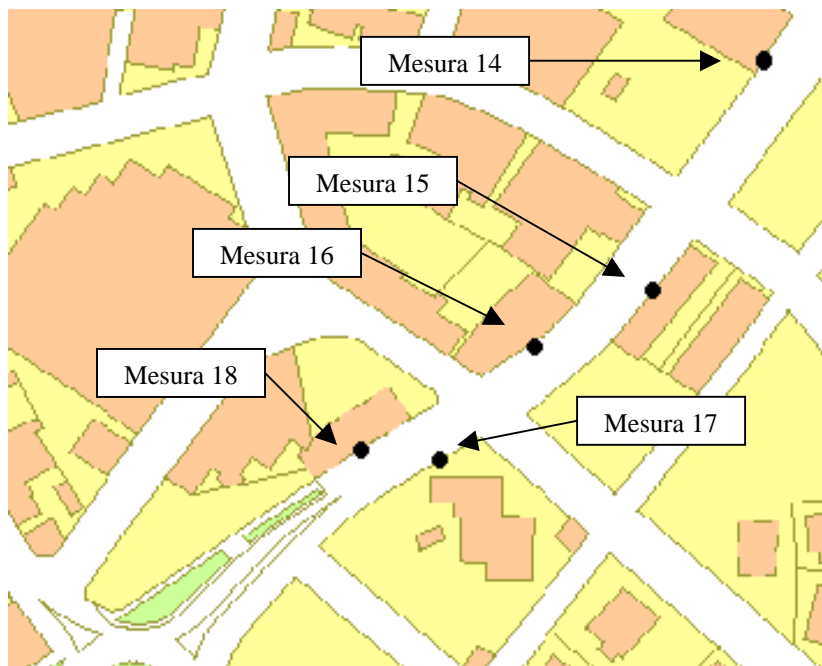


Figura 7. Distribució dels punts de mesura

En el moment de cada mesura s'ha fotografiat la posició real del sonòmetre. El recull de fotografies es pot veure a l'annex D. No obstant, seguidament es mostren un parell de fotografies dels punts de mesura.



Figura 8: Punt de mesura 10 (P10)



Figura 9: Punt de mesura 16 (P16)



2.3.- TREBALL DE CAMP

2.3.1.- PRESA DE LES MESURES DE SOROLL

Una vegada determinats els llocs i l'horari on realitzar les mesures es procedeix a fer les mesures de soroll.

Abans de la presa de mesures es procedirà a calibrar el sonòmetre amb el pistòmetre corresponent (94 dBA el to de calibració és de 1 KHz). Posteriorment a la presa de mesures es procedeix una altra vegada a la comprovació de calibració final. La diferència permesa entre el valor del sonòmetre d'abans i de després ha d'estar en $\pm 0,3$ dBA del nivell de calibració (94 dBA).

En el cas que ens ocupa els valors de calibració són els següents:

Dia	Calibració inicial (dBA)	Calibració final (dBA)
25/10/2005	93.9	94.2
26/10/2005	93.9	94

Taula 1. Valors de la calibració en els dos dies de mesures

Pot succeir que el lloc seleccionat a priori per a fer la mesura no sigui vàlid una vegada situats a la realitat, aquest fet pot venir ocasionat per alguna circumstància no prevista com per exemple el soroll d'obres, el soroll d'alguns animals, etc. En aquests casos simplement es busca una nova ubicació de la posició de la mesura que no es vegi influenciada per cap efecte no desitjat i s'anota la nova posició.

La situació del sonòmetre en el punt de mesura ha d'estar a una alçada de 1.5 metres d'alçada, i en quant a la separació de les façanes o dels murs aquesta ha de ser de 1.5 metres.

Un exemple de la situació es pot veure en la següent figura:

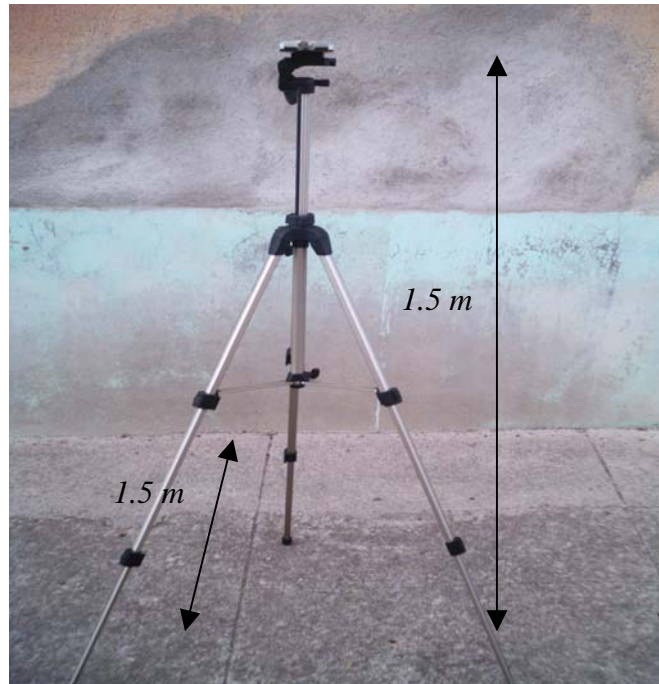


Figura 10. Situació del sonòmetre

A partir d'aquest moment ja s'està en disposició de poder començar a efectuar les mesures pròpiament dites.

Es fan lectures de 10 minuts com a mínim i les dades que capta el sonòmetre són per cada segon. Per tant, es prendrà un valor de L_{Aeq} de la totalitat de la mesura, així com els percentils 10 i 90 de la mateixa per tal de tenir una informació més detallada de la naturalesa del soroll en cada punt.

A més a més, durant aquest període de temps en què es realitza la mesura també es porta a terme el recompte de vehicles que passen per davant del sonòmetre, diferenciant vehicles lleugers de vehicles pesats.

S'ha de tenir en compte que pot ser que mentre es realitza la mesura hi hagi incidències no usuals en el trànsit, és a dir, el pas d'una ambulància, la pitada d'algun vehicle, persones que parlin davant del sonòmetre, etc. Per tant són incidències que s'han de tenir en compte i procedir a la seva repetició si l'afectació és d'importància o en tot cas prendre nota de cadascuna d'elles.



En la següent taula es pot observar els valors de les mesures realitzades:

MESURA	TRAM	DIA	HORA INICI	DURACIÓ DE LA MESURA	L _{Aeq} (dBA)	L ₁₀ (dBA)	L ₉₀ (dBA)	NPL (dBA)
P1	a	26/10/05	18:15	10'02''	73,8	76,4	62,3	87,9
P2	a	26/10/05	18:00	10'12''	74	77	64,3	86,7
P3	b	26/10/05	17:45	10'13''	71,8	75,3	57,1	90
P4	b	25/10/05	19:16	10'08''	73	75,2	64,7	83,5
P5	c	26/10/05	17:25	10'05''	73,2	76,1	62,2	87,1
P6	c	25/10/05	19:00	10'11''	72,8	76,5	62	87,3
P7	c	25/10/05	18:41	10'26''	72	75,2	60,8	86,4
P8	d	26/10/05	17:10	10'21''	73,6	77	61,9	88,7
P9	d	25/10/05	18:25	10'07''	74,4	77,5	63,7	88,2
P10	e	25/10/05	18:05	10'07''	75,5	78,5	64,9	89,1
P11	e	25/10/05	17:48	10'06''	74,5	77,8	61,8	90,5
P12	e	25/10/05	17:34	10'07''	74,3	77,7	59	93
P13	e	26/10/05	16:50	10'41''	75,7	79,4	60,8	94,3
P14	f	25/10/05	17:00	10'13''	75	77,6	60,6	92
P15	g	25/10/05	16:40	10'06''	73,9	77	59,1	91,8
P16	g	25/10/05	16:27	10'10''	72	75,7	54,7	93
P17	h	25/10/05	15:33	10'46''	71,9	75,1	57,3	89,7
P18	h	25/10/05	16:00	10'04''	71,4	75,1	49,9	96,6

Taula 2. Mesures experimentals de 10 minuts mínim

A part dels valors obtinguts en la mesura, que són Laeq, L10 i L90, fent un càlcul ràpid podem obtenir l'índex NPL. Aquest índex NPL (Noise Pollution Level), no és exactament una mesura de soroll, sinó que és un intent de valorar el nivell de molèstia generat pel soroll. Per fer-ho, aquest mètode combina el soroll que hi ha a l'ambient amb la variabilitat d'un soroll (un soroll és més molestat quan més variacions presenta).

2.3.2.- ESTUDI DE MOBILITAT

Segons el “Pla d’Acció Local per a la Sostenibilitat d’Olot, 2001” la única dada oficial que podem obtenir a és la quantitat de vehicles que circulen diàriament (IMD) per l’Avinguda Sant Jordi, aquesta dada està estimada en 15000 vehicles sense especificar el sentit de circulació.

No obstant, pel fet d’haver realitzat un recompte de vehicles lleugers i vehicles pesats en els períodes en què s’han fet les mesures ens permet treballar amb dades pròpies i més reals de la situació que s’està analitzant. A la següent taula es mostren els resultats obtinguts:

MESURA	TRAM	DIA	HORA INICI	DURACIÓ DE LA MESURA	Vehicles lleugers	Vehicles pesats
P1	a	26/10/05	18:15	10'02''	236	13
P2	a	26/10/05	18:00	10'12''	237	11
P3	b	26/10/05	17:45	10'13''	158	20
P4	b	25/10/05	19:16	10'08''	277	15
P5	c	26/10/05	17:25	10'05''	193	16
P6	c	25/10/05	19:00	10'11''	264	12
P7	c	25/10/05	18:41	10'26''	215	13
P8	d	26/10/05	17:10	10'21''	184	18
P9	d	25/10/05	18:25	10'07''	239	11
P10	e	25/10/05	18:05	10'07''	241	23
P11	e	25/10/05	17:48	10'06''	212	11
P12	e	25/10/05	17:34	10'07''	164	18
P13	e	26/10/05	16:50	10'41''	169	22
P14	f	25/10/05	17:00	10'13''	161	18
P15	g	25/10/05	16:40	10'06''	123	12
P16	g	25/10/05	16:27	10'10''	117	13
P17	h	25/10/05	15:33	10'46''	145	13
P18	h	25/10/05	16:00	10'04''	109	12

Taula 3. Recompte de vehicles en les mesures de 10 minuts mínim



La velocitat a que circulen els vehicles és una dada també important que condiciona el nivell de soroll, així com també ho és saber el tipus de trànsit que circula per l'Avinguda. Aquests dos paràmetres alhora també s'hauran d'utilitzar en la simulació del model amb el programa CADNA, per tant, és important quantificar-les.

Pel que fa a la velocitat, és difícil de determinar a priori quina és la velocitat de circulació dels vehicles. Si no es disposen de dades, és habitual suposar que la velocitat en què circulen els vehicles és la màxima permesa en la via en qüestió. Per tant, en el cas que aquí es contempla és de 50 km/h. No obstant, aquestes dades de velocitat sempre són millorables i el que es pot fer és utilitzar diferents metodologies per tal de poder veure quina és la velocitat real a què es circula en aquesta Avinguda. Aquests mètodes poden ser la utilització de radars, circulació en el vial i lectura directa de vàries passades amb el seu posterior tractament per trobar les mitjanes dels valors obtinguts. No obstant, en el cas que ens ocupa, al no existir cap particularitat en l'Avinguda es pot prendre el criteri típic de fixar com a velocitat mitja la màxima permesa.

En general en els trams contigus a semàfors la velocitat disminueix fins a quedar el trànsit parat quan aquest està en color vermell, mentre que quan el semàfor està verd la velocitat del trànsit continua a 50 km/h. Aquest efecte serà tingut en compte al moment de la modelització i es mantindrà la velocitat mitja constant en aquests casos. Per la resta de trams la velocitat es manté constant. Per tant, després d'haver unes quantes passades en primera persona s'acaba prenent la velocitat de 50 km/h.

Pel que fa al tipus de trànsit, el programa CADNA el classifica segons tres tipologies:

- Trànsit fluid

- Trànsit interromput

- Trànsit acceleratriu

En aquest cas per definir el tipus de trànsit que tindrem utilitzarem les tipologies anteriors. En els trams contigus a semàfors considerarem trànsit interromput mentre que en la resta de trams considerarem un trànsit fluid.

Amb aquesta consideració es té en compte l'efecte que els semàfors produeixen en el trànsit.

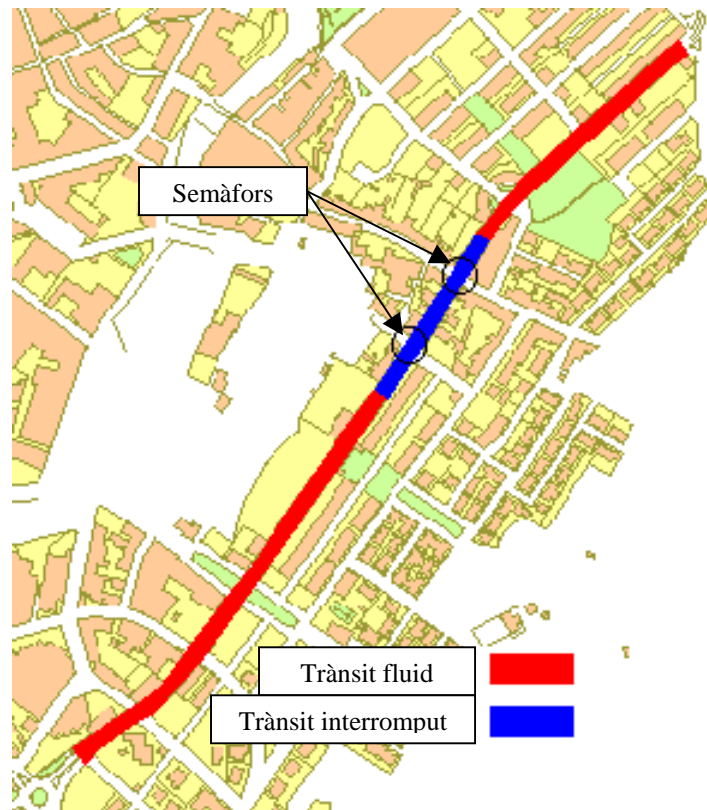


Figura 11. Tipus de trànsit en els diferents trams

2.3.3.- INTERPRETACIÓ DELS RESULTATS EXPERIMENTALS

A la vista dels resultats obtinguts es pot arribar a diverses conclusions:

- Primerament es pot veure com el volum de trànsit que circula per l'Avinguda Sant Jordi és semblant a la gràfica obtinguda de la ciutat de Girona, es poden representar les dades obtingudes del recompte de vehicles fet en la presa de mesures.

La gràfica del volum de vehicles segons l'hora de la mesura és la següent:

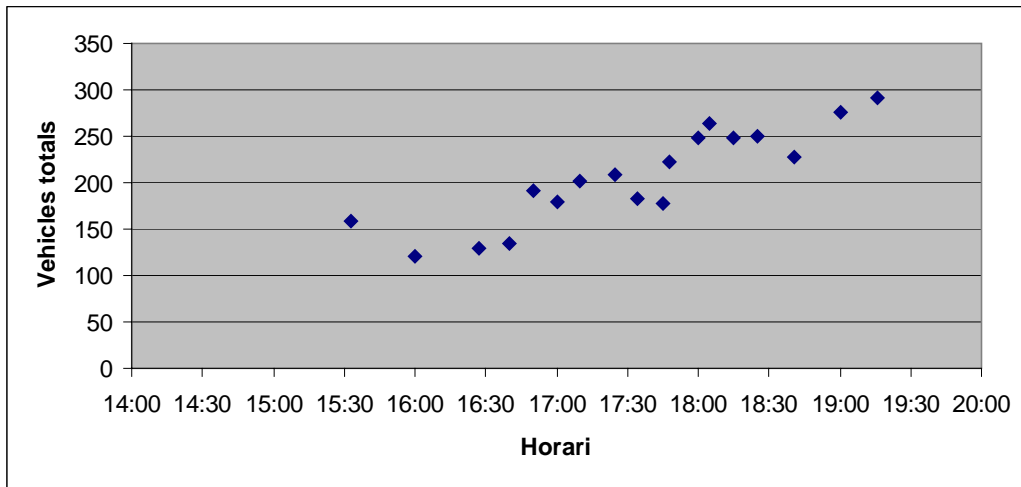


Figura 12. Gràfica de l'evolució del nombre de vehicles totals a l'Av. Sant Jordi

Així doncs, comparant la Figura 2 corresponent a la gràfica de flux de trànsit en la mesura de 24 hores a Girona, i la Figura 12 corresponent a la gràfica de l'evolució del nombre de vehicles totals a l'Avinguda Sant Jordi en el treball de camp, es pot veure una clara similitud en quan a la tendència que segueixen ambdues.

La tendència que segueixen les dues gràfiques és que a mesura que les hores passen hi ha un augment del volum de trànsit, excepte en dos curts intervals determinats que tenen una petita disminució. Aquests intervals coincideixen bàsicament en dos hores, la disminució més important és a les 18:00 hores de la tarda aproximadament, mentre que a la 19:00 hores de la tarda aproximadament aquesta disminució no es fa tant evident.

L'única diferència que es pot observar en les dues gràfiques és lògicament que el volum de trànsit de l'Avinguda Jaume I de Girona és superior a l'Avinguda Sant Jordi d'Olot.

- Fent un primer cop d'ull als resultats de nivell acústic es pot veure que aquest nivell de soroll que hi ha és molt elevat per les característiques d'aquesta Avinguda. Nivells de soroll superiors a 70 dBA es poden considerar uns sorolls elevats i a tenir en compte.



- Observant els valors de L_{Aeq} , es pot veure que en el rang del que s'ha anomenat hores punta el nivell de soroll augmenta aproximadament 0,5 dBA respecte les hores normals, fet que mostra com el nivell de soroll es manté constant durant tot el dia. Per altra banda, mirant les dades de quantitat de vehicles que passen veiem que en les anomenades hores pic gairebé en passen el doble, per tant, l'explicació que es pot fer d'aquest fet és que el soroll no depèn exclusivament de la quantitat de trànsit sinó que hi ha una certa influència amb el tipus de trànsit que hi circula, és a dir, que en el moment de la mesura pot ser que el pas d'algun vehicle més sorollós (tractors, motocicletes,...) tingui més efecte que una certa quantitat de vehicles lleugers de menys soroll. Aquest fet però no s'ha de prendre com aïllat ja que durant totes les mesures aquest efecte hi és present.
- Si s'observa el valor de L_{10} es pot veure que aquest valor també es manté més o menys constant, mentre que en cas del soroll de fons (L_{90}) sí que augmenta clarament. En mitjana, hi ha una diferència de 0,14 dBA en el L_{10} , i de 4,17 dBA en el L_{90} . El fet que la diferència en el soroll de fons sigui molt més important que en les puntes de soroll té fàcil explicació. En les hores puntes la circulació augmenta considerablement respecte a la resta del dia. Això fa que hi hagi molts menys intervals de temps en els quals no circula cap vehicle, fent augmentar de manera molt considerable el soroll de fons. Les puntes de soroll, en canvi, no estan tan determinades pel volum del trànsit, ja que el que tenen en compte són els nivells de soroll puntuals elevats (pas d'un camió, d'un tractor, d'una motocicleta molt sorollosa, etc.).
- Veient els resultats obtinguts de les mesures es pot dir que el soroll produït pel trànsit en hores punta és menys molest que a la resta del dia, es pot veure analitzant el Noise Pollution Level (NPL). Aquest fet és degut a que un dels factors més molestos del soroll, a part del seu nivell, és la seva irregularitat. I durant el dia sol haver-hi un trànsit més discontinu, fet que provoca que hi hagin més variacions en el nivell de soroll i n'augmenta el grau de molèstia.
- Teòricament es pot afirmar que per tal que hi hagi un augment de 3 dBA el volum de trànsit s'ha de doblar. En aquest cas, la quantitat total de vehicles per hora que circulen en hora punta és aproximadament 1.5 vegades els que circulen a la resta del dia. No

obstant, el percentatge de vehicles pesants augmenta més durant el dia que en les hores puntes. És per aquest fet que la diferència entre els valors de $L_{Aeq, 10 \text{ min}}$ en hora punta i de dia és, en mitjana, de uns 0,5 dBA. Per tant, tal i com ja s'ha dit anteriorment el volum de trànsit no és el principal causant dels augments del nivell de soroll.

- Per tant, s'arriba a la conclusió que és indiferent, tot i la variació en el volum de trànsit, si es fan les mesures en un tipus d'hora o en un altre, és a dir, abans o després de les 18:00 hores.

Per encara donar més èmfasi a aquesta conclusió, si s'observa la gràfica de la Figura 13 que correspon a la mesura realitzada de 24 hores a la ciutat de Girona es pot veure com realment el nivell de soroll no varia entre les hores punta i les hores normal, per tant els resultats obtinguts semblen coherents. Aquest fet implica, tal i com s'ha dit, que l'horari en què es realitzin les mesures pot ser qualsevol, la qual, no es té perquè fer mesures en horari normal i horari d'hora punta per tal de poder veure com evoluciona el soroll en aquest dos períodes.

La gràfica de la mesura és la següent:

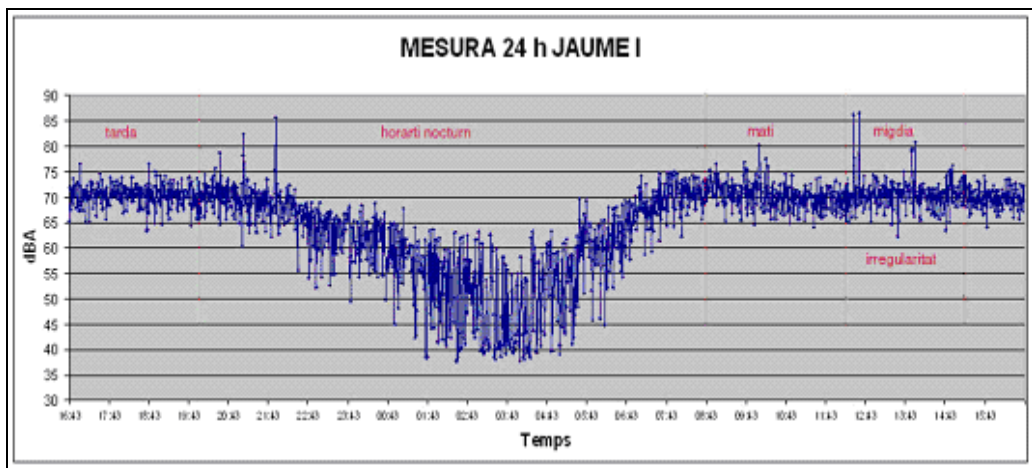


Figura 13. Gràfica de soroll de la mesura de 24 hores a Girona

2.4.- ANÀLISIS AMB CADNA

Un cop realitzades les mesures de camp corresponents ja només cal treballar amb el programa CADNA.

2.4.1.- IMPORTACIÓ DE LA CARTOGRAFIA AL PROGRAMA CADNA

El primer pas per a poder treballar amb el programa CADNA és importar la cartografia. Aquest primer pas consta d'introduir la base topogràfica, obtinguda mitjançant l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) amb les modificacions explicades a l'apartat 2.2.3, diferenciant el que és cada capa, és a dir, s'ha d'assignar a cada grup de línies el que es vol que interpreti el programa.

Les capes que s'han d'assignar són els edificis (building), les corbes de nivell (contour lines), els vorals (auxiliar polygon) i la línia central de l'Avinguda (auxiliar polygon).

La pantalla del programa CADNA que permet aquesta operació és pot veure en la següent figura:

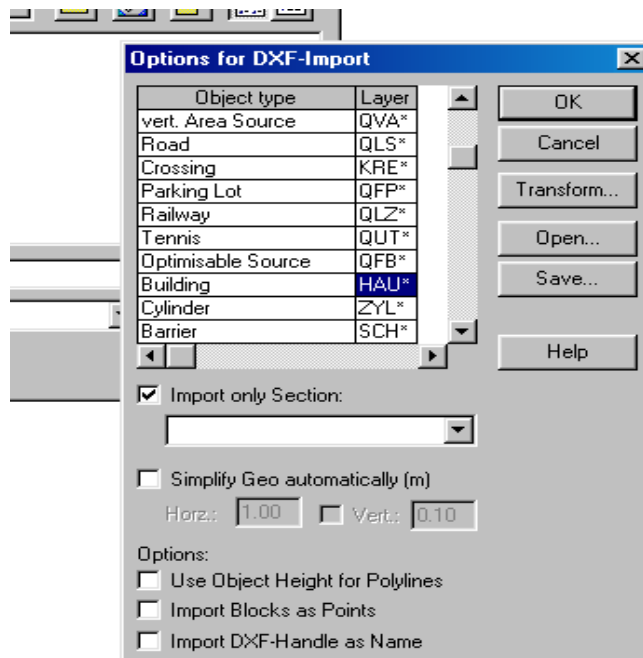


Figura 14. Pantalla d'exemple d'importació de dades

Les corbes de nivell s'importen amb les coordenades UTM corresponents i l'alçada de cadascuna com a atribut de l'objecte.

La resta d'elements s'importen només amb les seves coordenades UTM dins el mapa, però no es disposa en general d'informació sobre l'alçada de la seva base, això es soluciona utilitzant l'opció "Fit object to DTM", tal i com es pot observar a la Figura 15, que ubica l'alçada dels elements de totes les capes fins a trobar les corbes de nivell corresponents.

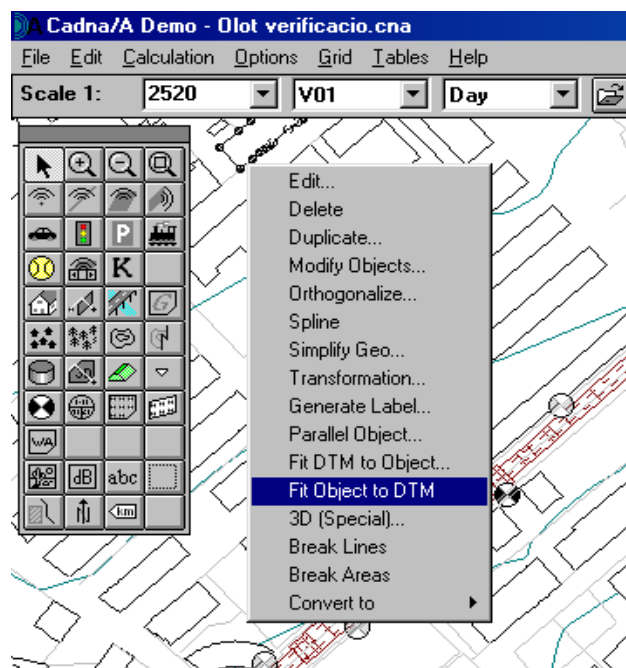


Figura 15. Pantalla d'exemple de l'opció "Fit Object to DTM"

A partir d'aquest moment ja es pot procedir a entrar les dades corresponents.

2.4.2.- MODELITZACIÓ

La primera cosa que s'ha de fer per obtenir el model final i poder-hi treballar una vegada ja s'ha entrat la cartografia, és l'entrada de dades.

Els edificis, en un principi, tenen una altura per defecte (tots la mateixa). Per tant, s'ha d'especificar la seva altura correcta. Aquesta es coneix perquè s'ha realitzat un anàlisi "in situ" comptant el número de plantes dels diferents edificis i s'ha observat que tots els edificis afectats tenen 3 plantes. Assumint com a hipòtesi que, en general, que cada planta

té una altura de 3 m i la planta baixa té uns 4 m, es considera una altura per atots els edificis de 10 m.

En aquest moment ja es pot observar una primera vista del terreny d'estudi.

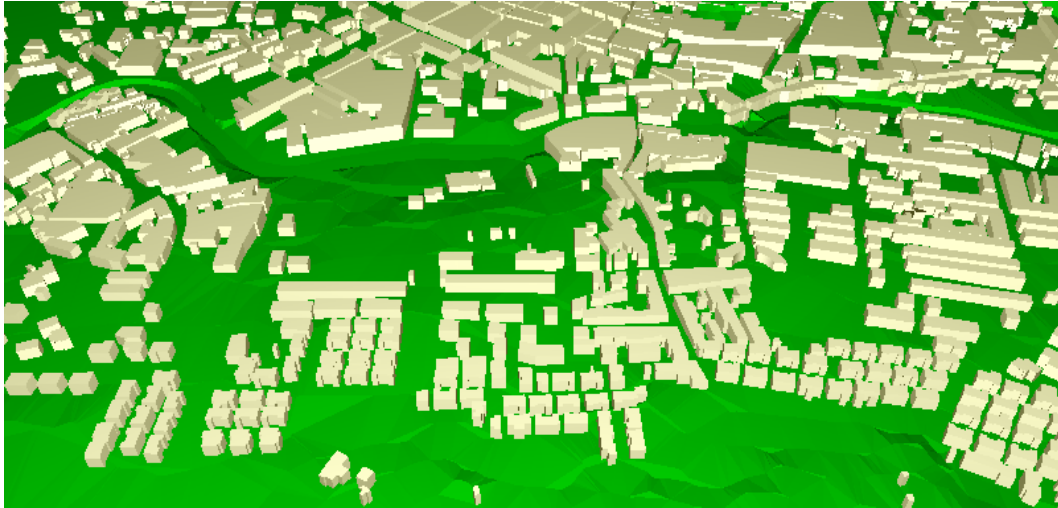


Figura 16. Plànol amb 3D mitjançant CADNA

Les dades a entrar per a la carretera són primerament dir que l'eix central en forma de polígon auxiliar és la carretera, posteriorment s'haurà d'especificar l'amplada i així es veurà la quantitat de carrils que hi ha en cada tram, en aquesta Avinguda la distància des de l'eix de la carretera serà de 3 m. En tots els trams excepte una part del tram "a" i del tram "b" que serà de 6 m.

Es triarà el tipus d'asfalt que té la carretera que per les seves característiques es considera asfalt convencional (*enrobé bitumé*).

Per últim es seleccionarà en cada tram el tipus de trànsit que hi ha, en aquesta Avinguda s'ha optat per posar trànsit fluid (*fluide continu*) en tots el trams excepte en els trams contigus a semàfors que serà interromput (*pulsé non differencié*).

A la mateixa pantalla del programa CADNA que permet l'entrada de les característiques esmentades anteriorment també hi permet l'entrada de la velocitat màxima de circulació, que és l'escollida és de 50 km/h, i per la qual el programa farà els càlculs i també permet donar nom a cada tram de l'Avinguda.

En la següent figura permet veure la pantalla d'entrada de les característiques de l'Avinguda:

Figura 17. Pantalla d'exemple d'entrada de dades de la carretera

Els punts de mesura també s'han de posar a la mateixa posició que s'han fet les mesures experimentals, per això utilitzarem la situació real de les mesures realitzades, que poden no coincidir amb la planificació inicial.

Finalment es pot observar com queda definit el terreny d'estudi.



Figura 18. Plànol amb 3D mitjançant CADNA

2.4.3.- VERIFICACIÓ DE LES MESURES DE SOROLL

Una vegada es tenen totes les dades entrades i amb el model suposadament fidel a la realitat s'ha de verificar. La verificació consta de veure que el valor que dóna el receptor en el model sigui semblant al valor obtingut experimentalment.

Aquesta verificació es fa punt a punt, és a dir, cada receptor l'analitzarem independentment de la resta, i els valors de trànsit seran els obtinguts experimentalment per a cada un. Aquestes dades a introduir per a cada punt de mesura són el nombre de vehicles a l'hora Qdv (suma del total de vehicles dividit per la durada de la mesura i multiplicat per 3600) i el tant per cent de vehicles pesats comptabilitzats %P (vehicles pesats dividit pel total de vehicles). Les dades a entrar per a cada són les següents:

MESURA	TRAM	TIPUS HORARI	LLEUGERS	PESATS	Qdv	%P
P1	a	p	236	13	1489,0	5,2
P2	a	p	237	11	1458,8	4,4
P3	b	n	158	20	1045,4	11,2
P4	b	p	277	15	1728,9	5,1
P5	c	n	193	16	1243,6	7,7
P6	c	p	264	12	1626,2	4,3
P7	c	p	215	13	1311,2	5,7
P8	d	n	184	18	1171,0	8,9
P9	d	p	239	11	1482,7	4,4
P10	e	p	241	23	1565,7	8,7
P11	e	n	212	11	1324,8	4,9
P12	e	p	164	18	1079,4	9,9
P13	e	n	169	22	1072,7	11,5
P14	f	n	161	18	1051,2	10,1
P15	g	n	123	12	802,0	8,9
P16	g	n	117	13	767,2	10,0
P17	h	n	145	13	880,5	8,2
P18	h	n	109	12	721,2	9,9

Taula 4. Dades a entrar a cada receptor



Els valors obtinguts es poden observar a la següent taula:

MESURA	TRAM	TIPUS HORARI	L _{Aeq.} (dBA)	Mesura CADNA L _{Aeq.} (dBA)	DIFERÈNCIA
P1	a	p	73,8	75,1	1,3
P2	a	p	74	74,9	0,9
P3	b	n	71,8	73,4	1,6
P4	b	p	73	75,2	2,2
P5	c	n	73,2	75,7	2,5
P6	c	p	72,8	75,3	2,5
P7	c	p	72	72,8	0,8
P8	d	n	73,6	75,8	2,2
P9	d	p	74,4	74,6	0,2
P10	e	p	75,5	76,1	0,6
P11	e	n	74,5	73,9	-0,6
P12	e	p	74,3	74,6	0,3
P13	e	n	75,7	75,3	-0,4
P14	f	n	75	74,6	-0,4
P15	g	n	73,9	73,9	0
P16	g	n	72	74,1	2,1
P17	h	n	71,9	72,2	0,3
P18	h	n	71,4	74	2,6

Taula 5. Comparació mesures reals i mesures simulades

A partir d'aquestes dades es poden extreure les següents conclusions:

- La primera conclusió i segurament la més important és que la diferència dels dos valors obtinguts en cap cas supera els 3 dBA, un valor acceptable que és pren en aquest estudi com l'error màxim permès entre el model i les dades reals. Aquest és un límit màxim d'error comunament adoptat en projectes d'acústica.



Es pren 3 dBA ja que aquest és el valor que hi ha d'haver entre dos nivells d'un mateix soroll per tal que una persona que l'estigui sentint però no escoltant atentament, en noti la diferència.

- Segonament es pot observar que on hi ha les diferències més grans, superant els 2dBA positius, és en els punts propers a semàfors i rotondes i en el sentit de trànsit entrant a la ciutat per què les mesures són preses a la tarda.

L'explicació que es pot fer d'aquest fet és analitzant les diferents zones més conflictives:

- Punt de mesura 4, 5, 6 i 8: En aquest tram proper al semàfor, tot i que el CADNA ho té en compte pel fet de posar tipus de trànsit interromput, la penalització aplicada és troba per sobre de la realitat que indiquen les mesures. Aquest és un punt conflictiu degut a les acceleracions i frenades i a la irregularitat del trànsit que sempre es difícil de modelitzar.

- Punt de mesura 16 i 18: En aquest tram proper a la rotonda té un pendent de baixada, Cosa que tendirà a disminuir el nivell real de soroll, no quedant reflectit en el model.

- Així doncs, tenint en compte totes les diferències i respectant el signe d'aquestes, si es fa el valor mig de la diferència, resulta que aquesta és 1,04 dBA, una tendència a que el programa CADNA dóna valors de soroll superiors als que realment hi ha.

Aquest valor, per si sol, no vol dir res, ja que podria ser que hi haguessin diferències positives i negatives molt grans i que entre si s'anul·lessin. Ara bé, si a aquest fet s'hi afegeix que no hi ha cap diferència entre valors que arribi als 3 dBA, que la diferència mitja sigui de 1,04 dBA, indica que en global la simulació amb CADNA s'adequa satisfactòriament a la realitat.

- Per tant, la verificació d'aquest model amb el programa CADNA es pot acceptar i ja es pot procedir a realitzar els mapes acústics corresponents.



2.4.4.- SIMULACIÓ DEL MODEL

Abans de fer qualsevol simulació s'han de fer una sèrie de preparatius per tal d'obtenir els resultats correctes.

Pel que fa a les característiques del que se'n pot anomenar l'infraestructura de la zona d'estudi ja estan entrades en el programa, ara bé, el que encara no s'ha definit en el programa CADNA són les dades per com fer la simulació.

Primerament s'hauran de tornar a modificar les dades de trànsit que hi havia alhora de fer la verificació del model, això és així perquè el que es pretén és estudiar l'Avinguda per a cada tram definit a l'inici i no pas per a cada receptor.

Les dades que s'hauran d'introduir en aquest cas seran per a cada tram el nombre de vehicles per hora en el moment de cada mesura (mitjana de l'IMD dividit per 17) i el tant per cent de vehicles pesats (mitjana de pesats dividit pel total de vehicles), així s'obté una sola dada de cada per a cada tram indiferentment de si la mesura està feta en hora punta o horari normal ja que anteriorment ja se l'hi ha fet el seu tractament.

Es important fer notar que la verificació s'ha realitzat a partir del trànsit real que ha circulat durant la mesura, mentre que els resultats finals es realitzen a partir del trànsits representatius de tot el període diürn, que es troben a partir del càlcul del IMD i que per tant es veuen afectats pel període (hora punta o normal) durant el que s'ha realitzat la mesura.



La següent taula mostra els valors entrats per a cada tram:

MESURA	TRAM	TIPUS HORARI	IMD	PROMIG IMD	Qd	Qn	%P
P1	a	p	14890	14739,3	867,0	132,7	4,8
P2	a	p	14588				
P3	b	n	17771	17530,2	1031,2	157,8	7,4
P4	b	p	17289				
P5	c	n	21142	16838,5	990,5	151,5	5,8
P6	c	p	16262				
P7	c	p	13112				
P8	d	n	19907	17367,1	1021,6	156,3	6,4
P9	d	p	14827				
P10	e	p	15657	16802,0	988,4	147,4	8,6
P11	e	n	22521				
P12	e	p	10794				
P13	e	n	18236				
P14	f	n	17871	17870,8	1051,2	160,8	10,1
P15	g	n	13634	13338,1	784,6	120,0	9,4
P16	g	n	13043				
P17	h	n	14968	13614,3	800,8	122,5	9,0
P18	h	n	12260				

Taula 6. Dades a entrar per a cada tram

Segonament s'haurà de configurar la manera en que es vulgui fer el càlcul del mapa de soroll, és a dir, s'hauran de donar les característiques dels raigs. Aquests valors són els següents:

- Error màxim permès per fer el mapa serà de 1 dBA.
- La distància màxima de propagació d'influència de l'Avinguda serà de 850 metres, d'aquesta manera s'arriba a tenir en compte l'influència d'un extrem fins a l'altre extrem.

- Les reflexions que es permetran seran 3.
- El mètode de càlcul que es selecciona per al programa és el NMPB-96 Routes (Mètode recomanat per la UE en la modelització de fonts de soroll de trànsit).
- L'altura en què es volen calcular els mapes, en aquest cas l'altura serà de 4 metres, tal com s'indica a la directiva 2002/49/CE.
- Per últim s'haurà de seleccionar l'escala cromàtica per tal de representar els mapes.

D'aquestes escales n'hi ha de diferents tipologies de colors segons el nivell de soroll, però el més aconsellable és utilitzar una escala que es regeixi per alguna norma.

La següent figura correspon a l'Escala cromàtica corresponent a la ISO 1996-2:1987.

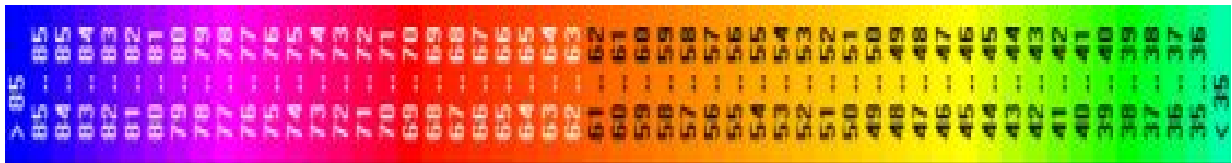


Figura 19: Escala cromàtica corresponent a la ISO 1996-2:1987

En el cas que ens ocupa s'opta per representar els mapes amb l'escala cromàtica corresponent a la ISO 1996-2:1987, ja que es pot observar amb més claredat l'evolució entre diferents punts. No obstant i com a tall d'exemple, en la situació actual també es mostraran els mapes en horari diürn i nocturn segons una escala discretitzada per facilitar la seva lectura i adaptada als límits proposats per la llei 16/2002.

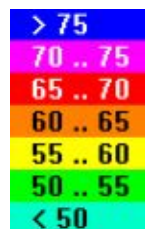
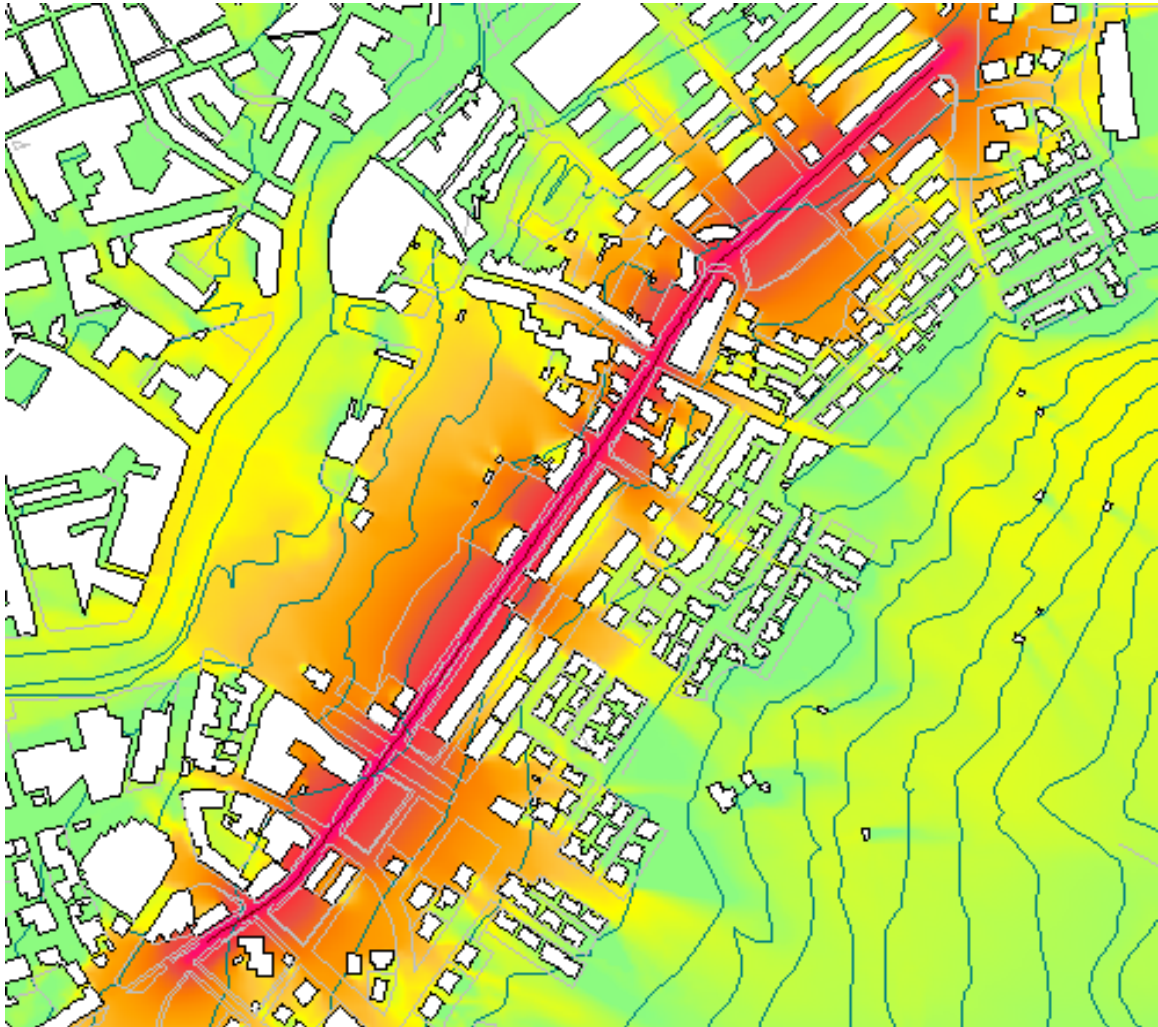
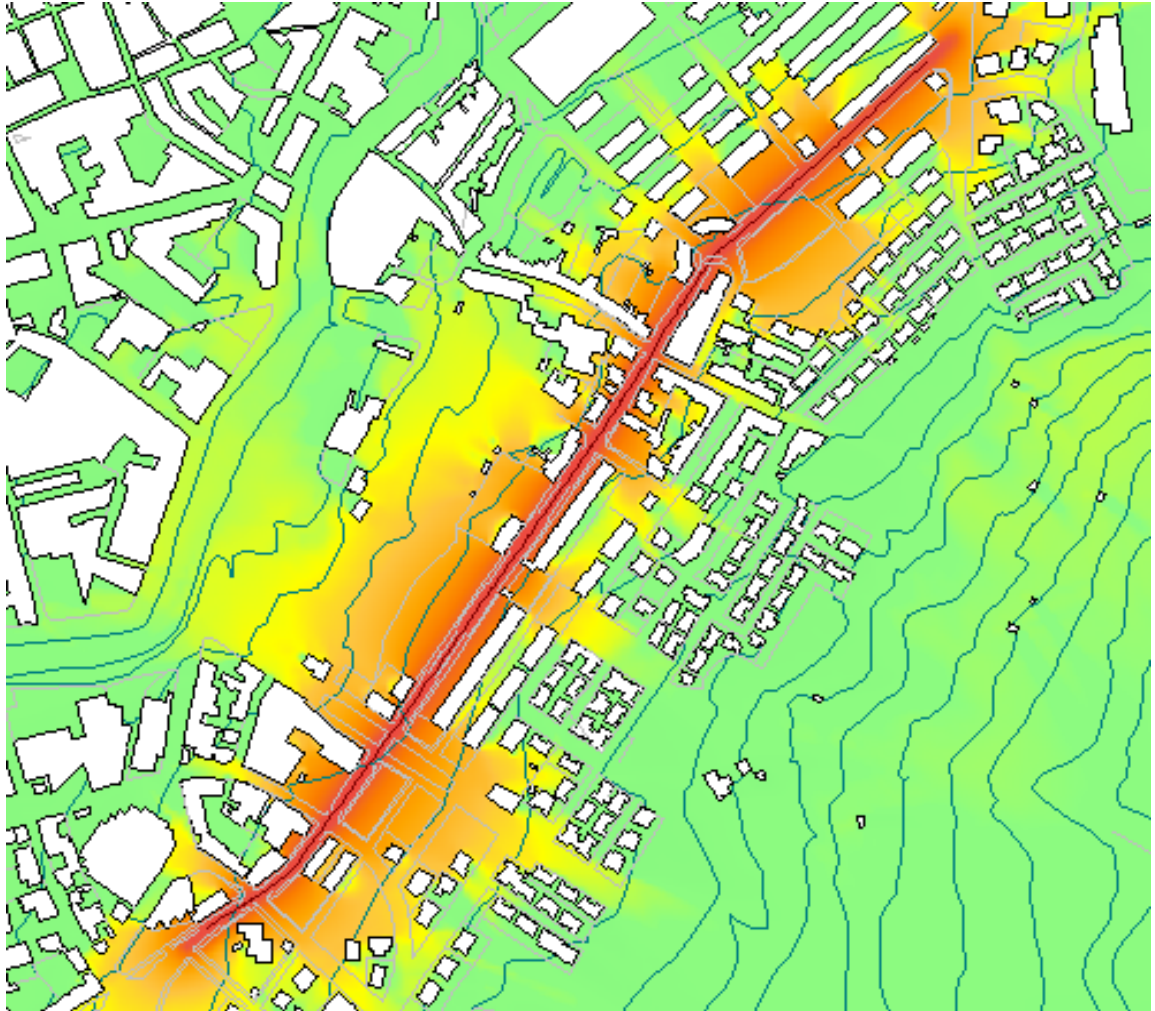


Figura 20: Escala cromàtica amb els valors corresponents a la Llei 16/2002

A continuació es mostren els mapes acústics en horari diürn i nocturn de la situació actual.



*Figura 21. Mapa acústic en horari diürn de la situació actual
(escala cromàtica corresponent a ISO 1996-2:1987)*



*Figura 22. Mapa acústic en horari nocturn de la situació actual
(escala cromàtica corresponent a ISO 1996-2:1987)*

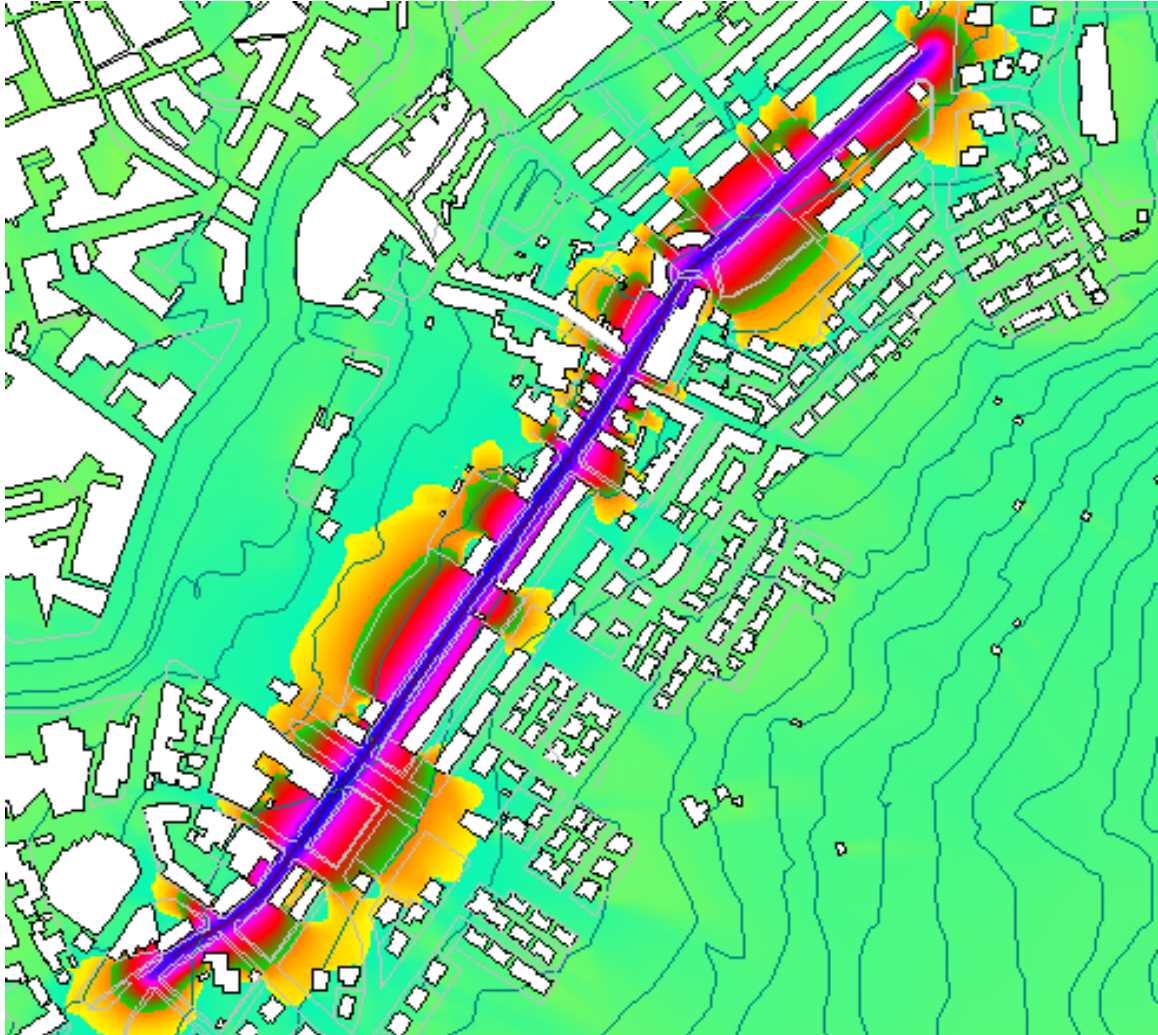


Figura 23. Mapa acústic en horari diürn de la situació actual
(escala cromàtica corresponent a la Llei 16/2002)

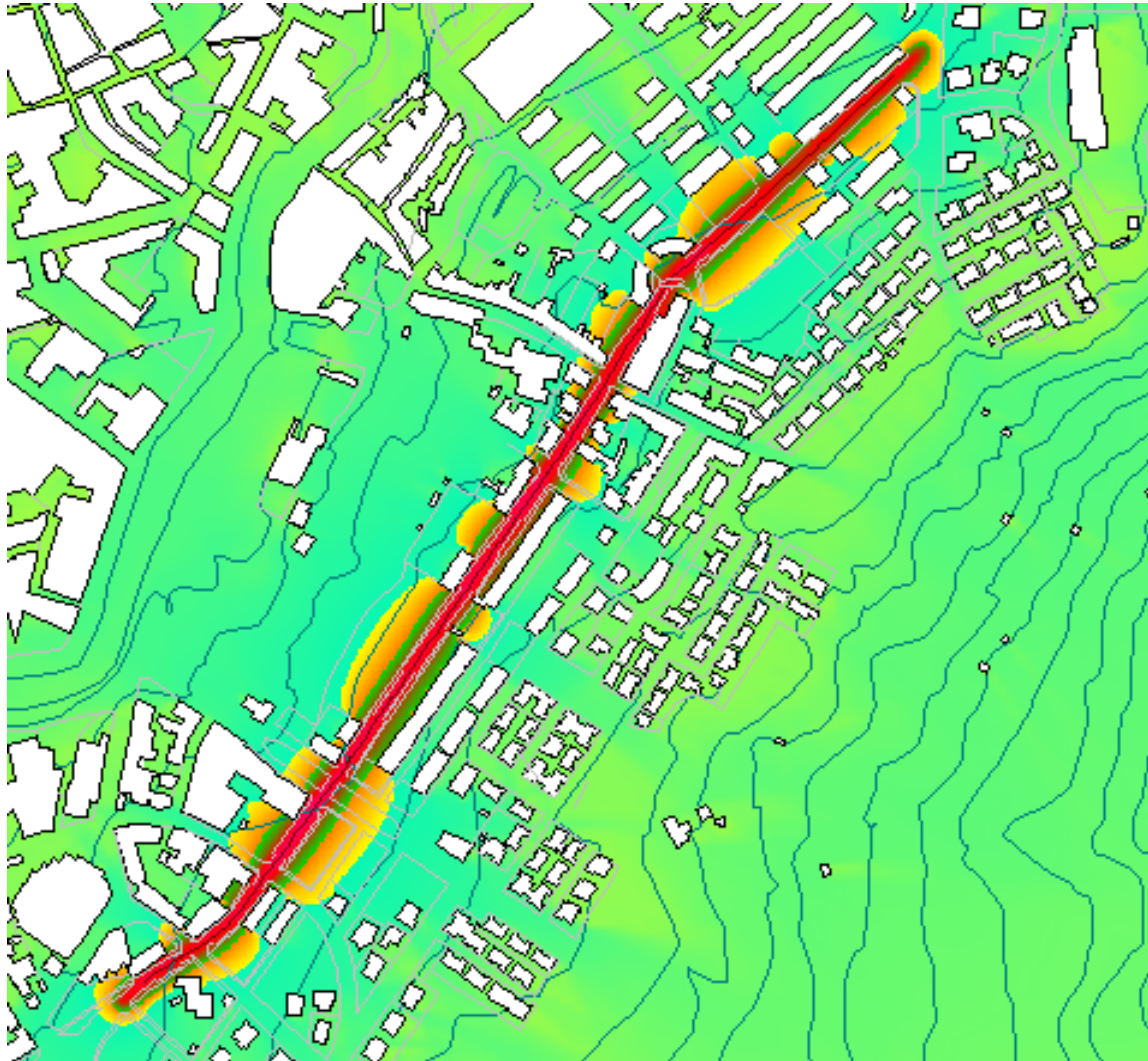


Figura 24. Mapa acústic en horari nocturn de la situació actual
(escala cromàtica corresponent a la Llei 16/2002)

2.4.5.- INTERPRETACIÓ I ESTUDI DE RESULTATS

Per a fer l'interpretació i l'estudi dels mapes acústics obtinguts s'analitzarà des de quatre perspectives diferents, totes en horari diürn. Primerament s'analitzaran els edificis de primera línia de l'Avinguda, segonament s'analitzaran els edificis més enretirats de la primera línia però sense cap mena d'obstacle entre carretera i edifici, i per últim, s'analitzaran els edificis de segona i tercera línia i, per últim, els més allunyats de tots.

- Edificis de primera línia

Fent una vista general es pot observar que tots els edificis situats a primera línia de l'Avinguda presenten uns nivells de soroll molt elevats, aquests nivells estan dins del rang de 70 a 75 dBA, color morat. Per tant, tot i que en un principi es pot arribar a pensar que les zones on hi haurà més soroll seran les properes a semàfors o rotondes pel fet d'haver-hi les frenades i acceleracions, en aquesta simulació queda clar que no és correcte ja que el mateix nivell de soroll d'aquests punts també es presenta en altres trams.

A continuació es mostra la poca diferència que hi ha entre un tros d'un tram situat en un semàfor i un altre en un tram normal.



Figura 25. Mapa acústic d'un edifici de primera línia d'un tram amb semàfor

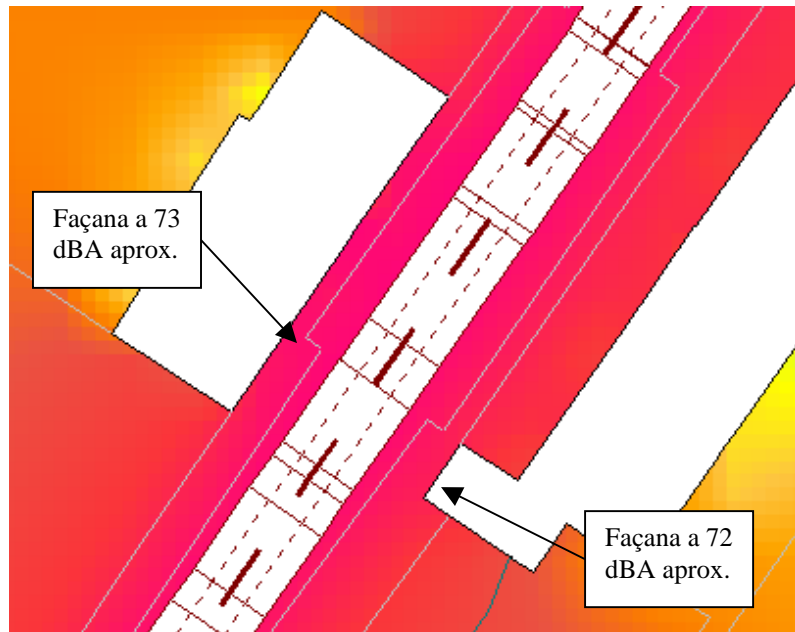


Figura 26. Mapa acústic d'un edifici de primera línia d'un tram normal

Així doncs, i en vistes dels resultats dels mapes acústics es pot afirmar que el nivell de soroll es manté dins d'aquest rang de valors en tots els edificis de primera línia de l'Avinguda independentment del tram que s'estigui analitzant.

Un altra aspecte a analitzar és veure com varia el nivell de soroll a diferents alçades dels edificis. Per veure aquesta variació s'utilitza la secció dels edificis de la Figura 26 i és la següent:

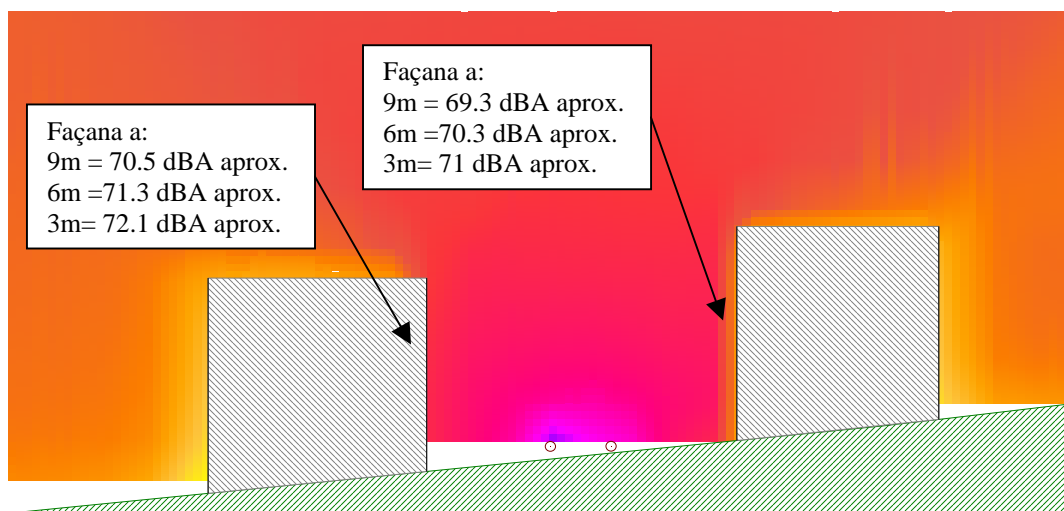


Figura 27. Mapa acústic d'una secció d' edifici de primera línia d'un tram normal



Els valors extrets dels mapes són a cada tres metres d'alçada perquè es considera que una planta d'un edifici mesura 3 metres.

Així doncs, es pot observar que a mesura que l'alçada augmenta el nivell de soroll va disminuint. Una planta situada a 3 metres d'altura en l'edifici esquerra rep un nivell sonor de 72.1 dBA aproximadament, mentre que la tercera planta situada a 9 metres rep un nivell sonor de 70.5 dBA aproximadament.

Cada tres metres d'altura el nivell de soroll disminueix en 0.8 dBA aproximadament. Per tant, la diferència acústica entre viure a la primera planta o viure a la tercera planta en qualsevol edifici de primera línia de l'Avinguda és de 1.6 dBA en qualsevol edifici.

Aquest efecte és degut a que el soroll es propaga en forma cilíndrica i a mesura que aquest avança va perdent intensitat, per tant, a més distància del focus emissor el nivell de soroll serà menor.

Es pot afirmar que la diferència que es nota entre viure en una planta o en una altre és pràcticament imperceptible i l'impacte que es rep es pot considerar similar.

- Edificis de primera línia més enretirats sense obstacles carretera-edifici

Pel que fa al nivell de soroll d'aquests edificis es pot veure que el color que es veu ja no és el morat sinó que ja té un color més vermellós o taronjat, això indica que el nivell de soroll a que estan sotmesos els edificis situats a una distància superior a 10 metres de la carretera està en el rang entre 60 i 70 dBA. A mesura que la distància augmenta l'impacte acústic que reben aquest edificis és menor.

A continuació es pot veure la Figura 28 i la Figura 29 que mostren la disminució del soroll quan s'augmenta la distància a l'Avinguda.

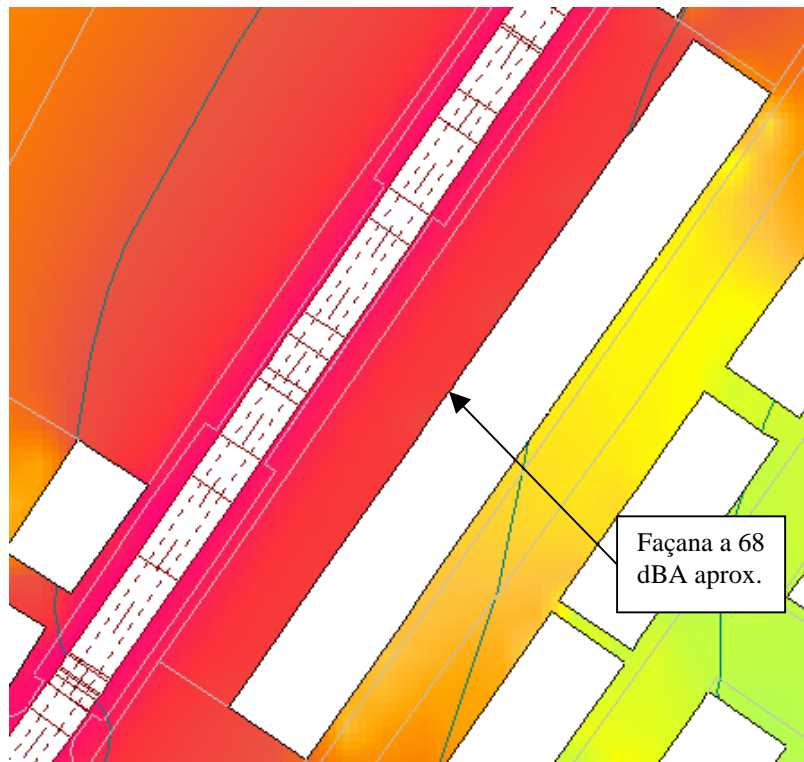


Figura 28. Mapa acústic d'un tram amb un edifici de primera línia situat a 10,81 metres de la carretera

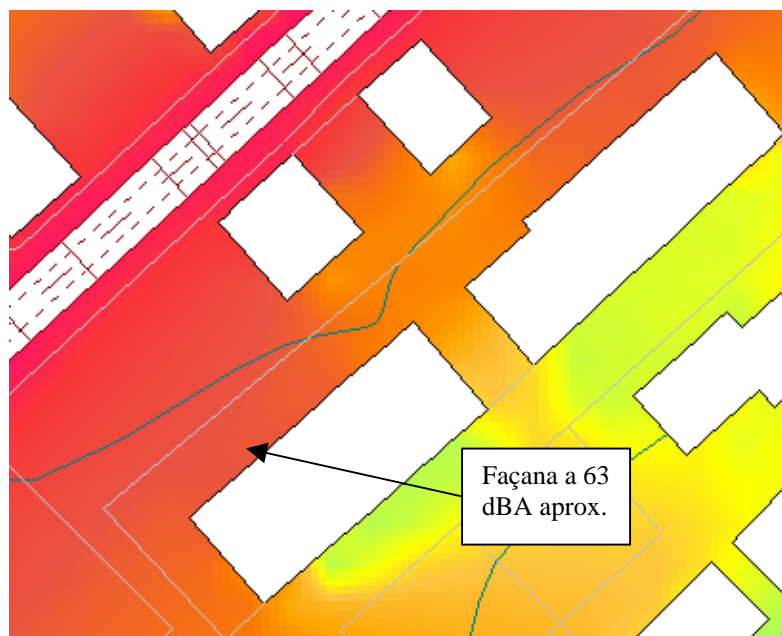


Figura 29. Mapa acústic d'un tram amb un edifici de primera línia situat a 29 metres de la carretera

Tal i com s'ha fet en els edificis de primera línia la següent figura es mostra l'influència de l'alçada en el nivell de soroll. Per veure aquesta variació s'utilitza la secció dels edificis de la Figura 28.

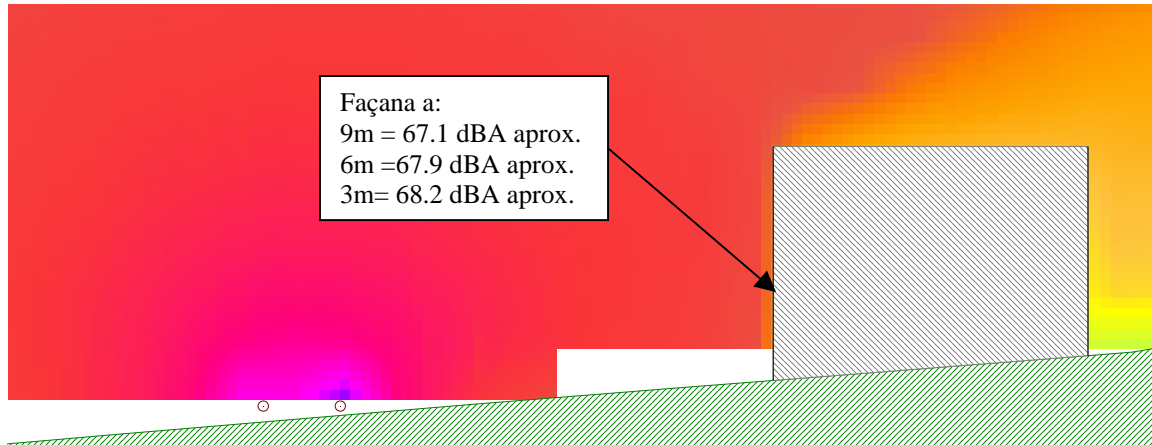


Figura 30. Mapa acústic d'una secció d'edifici de primera línia situat a 10,81 metres de la carretera

Els valors extrets dels mapes són a cada tres metres d'alçada perquè es considera que una planta d'un edifici mesura 3 metres.

Així doncs, es pot observar que a mesura que l'alçada augmenta el nivell de soroll va disminuint, igualment que en el cas anterior, però amb la diferència de que els valors de la disminució del nivell acústic a mesura que l'alçada augmenta són més baixos.

Una planta situada a 3 metres d'altura en l'edifici rep un nivell sonor de 68.2 dBA aproximadament, mentre que la planta a 9 metres d'altura rep 67.1 dBA. La diferència és menor que en el cas dels edificis a peu de l'Avinguda ja que pel fet de ser edificis situats a una certa distància del focus emissor ja hi ha hagut una atenuació més homogènia entre les diferents plantes degut a la divergència geomètrica.

En aquest cas la diferència entre viure en una planta o una altre tampoc és notable, 1.1 dBA, sinó que és imperceptible i l'impacte es pot considerar similar.

Aquest efecte és degut a que el soroll es propaga en forma cilíndrica i a mesura que aquest avança va perdent intensitat, per tant, a més distància del focus emissor el nivell de soroll serà menor.



- Edificis de segona i tercera línia

Pel que fa als edificis de la segona i tercera línia, a simple vista es pot veure clarament que el color que predomina en ells ja no és la gamma de vermells sinó que els colors que predominen són la gamma de grocs. Aquests colors indiquen que el nivell de soroll està per sota dels 60 dBA.

Aquest efecte és degut a que els edificis situats a primera línia fan de pantalla acústica per als edificis de segona línia, i com a conseqüència els de segona línia ho fan amb els de tercera línia, per tant, el nivell de soroll és molt menor.

Ara bé, no tots els edificis de segona i tercera línia es troben en els mateixos nivells de soroll ja que l'apantallament que provoquen els edificis del seu davant depèn de la seva geometria i ubicació.

Per exemple:

- Els edificis davanters més voluminosos causen més apantallament i disminueixen el nivell de soroll.
- Com més a l'extrem d'un edifici davanter menys apantallament i més soroll.
- Els edificis davanters més voluminosos causen més apantallament i disminueixen el nivell de soroll.
- Com més a l'extrem d'un edifici davanter menys apantallament i més soroll.
- A més distància de la carretera menys soroll.

Seguidament, la Figura 31 i la Figura 32 mostren com en aquesta Avinguda es troben edificis de segona i tercera línia en els tres tipus de situacions diferents.

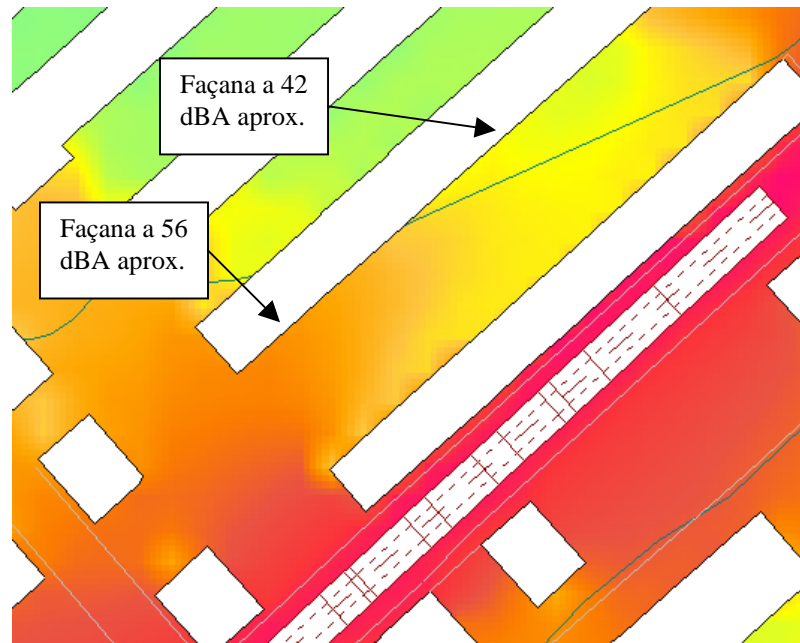


Figura 31. Mapa acústic d'un tram amb edificis de segona línia

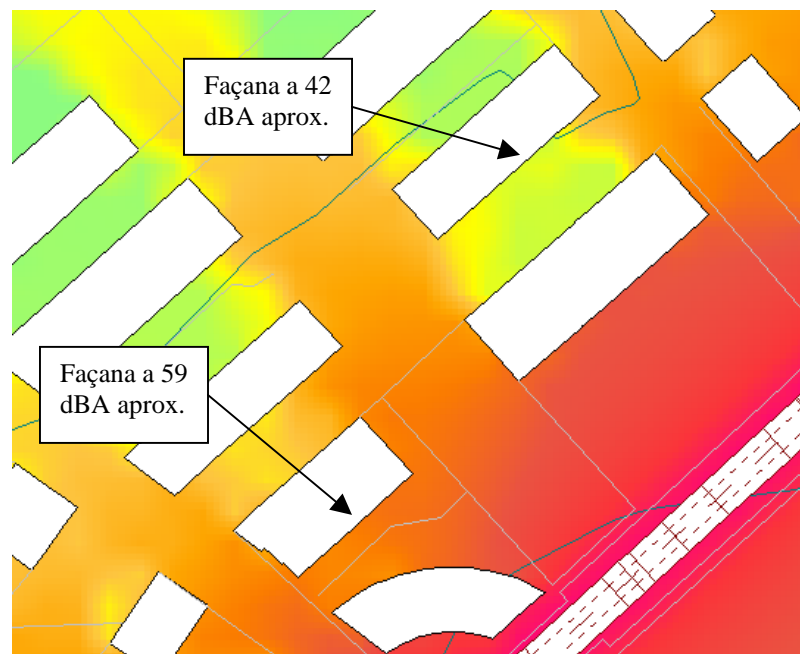


Figura 32. Mapa acústic d'un tram amb edificis de segona línia

En el cas d'edificis de tercera línia aquest efecte el podem veure en els següents mapes.

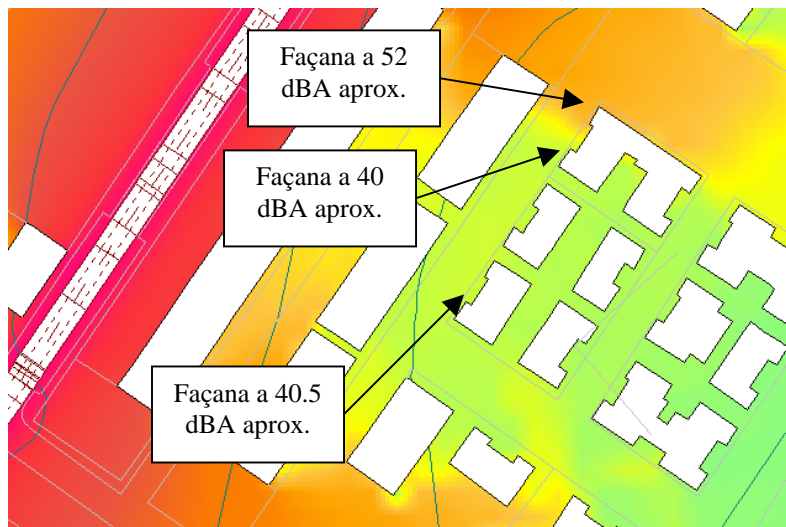


Figura 33. Mapa acústic d'un tram amb edificis de tercera línia

Així doncs, aquest efecte d'apantallament i distància és aplicable a tots els edificis de línies posteriors a les esmentades, les quals en la seva mesura anirà disminuint el nivell sonor.

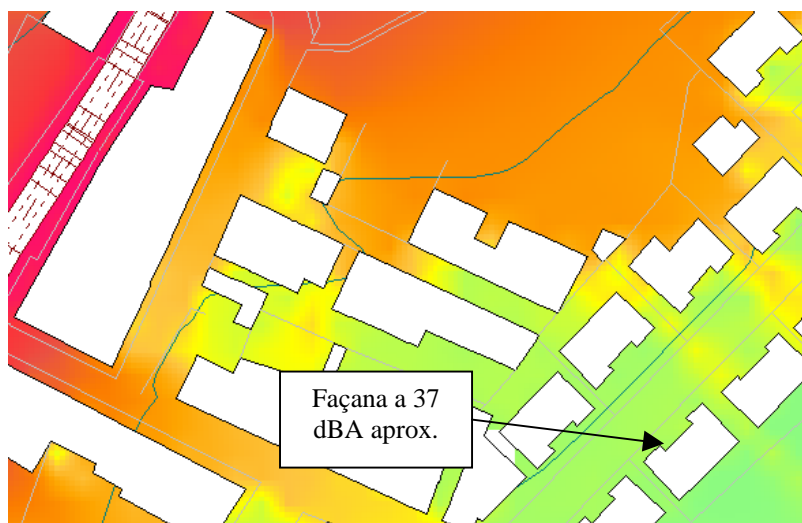


Figura 34. Mapa acústic d'un tram amb edificis de cinquena línia

Cal fer notar que el resultat del model és l'aportació de l'Avinguda Sant Jordi en cadascun dels punts. Aquesta aportació és només una de les vàries a que pot estar sotmesa una zona.

En els edificis més allunats l'aportació pot ser tant baixa com 35 dBA però això no eximeix que el soroll real en aquestes àrees serà segurament superior a causa d'altres fonts

mes properes a cadascun dels punts a estudiar, com podrien ser fonts d'origen veïnal o industrial o prominents d'altres vials.

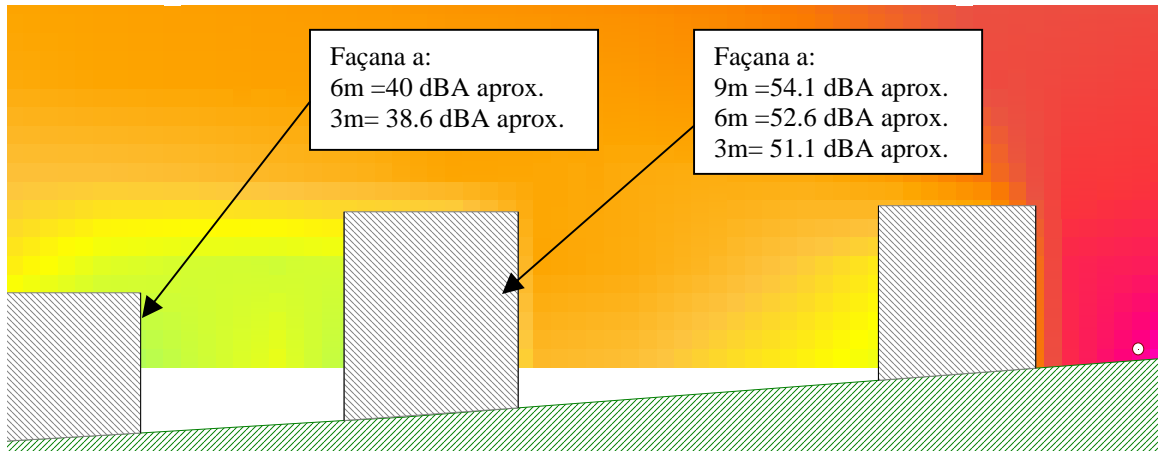


Figura 35. Mapa acústic d'una secció d'edifici de segons i tercera línia

Els valors extrets dels mapes són a cada tres metres d'alçada perquè es considera que una planta d'un edifici mesura 3 metres.

En aquest cas en què tenim un obstacle entre el focus emissor i els edificis d'estudi es pot observar que a mesura que l'alçada augmenta el nivell de soroll també augmenta.

Aquest efecte és degut a que la distància que el soroll ha de recórrer fins arribar a les plantes inferiors és superior a les plantes de dalt, i que l'angle de difracció del soroll és major, com a conseqüència el nivell de soroll és menor.

Una planta situada a 3 metres d'altura en l'edifici de segona línia rep un nivell sonor de 51.1 dBA aproximadament, mentre que la planta a 9 metres d'altura rep 54.1 dBA. La diferència és bastant més important que en els casos dels edificis de primera línia.

En aquest cas la diferència entre viure en una planta o una altre es de 3 dBA, i com ja s'ha comentat amb anterioritat, 3 dBA és una diferència que s'ha de tenir en compte.

- Edificis llunyans

En aquest cas s'entén com a edificis llunyans els edificis situats a una gran distància de l'Avinguda, línies posteriors a 7, que a priori semblaria que no han de quedar afectats pel soroll.

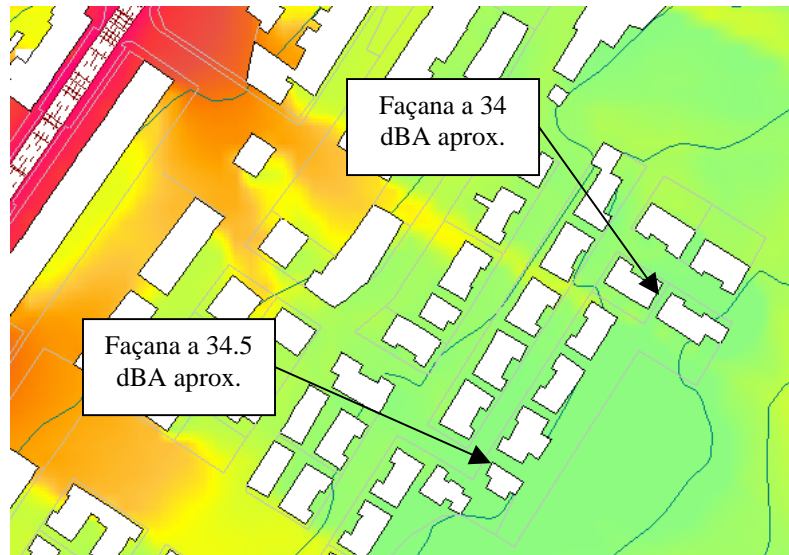


Figura 36. Mapa acústic d'un tram amb edificis de novena línia

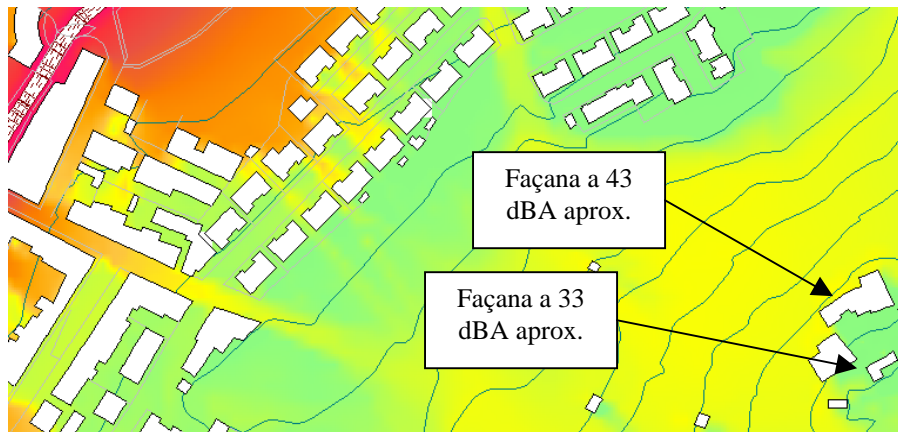


Figura 37. Mapa acústic d'un tram amb edificis a 340 metres aprox.

El nivell de soroll que arriba a aquests edificis provocat per l'Avinguda és un soroll que es pot considerar bastant baix. Per tant, segurament el soroll que reben en la realitat és superior a aquests ja que, alguna font de soroll propera provocarà més impacte acústic que el que li provoca la pròpia Avinguda.

Aquest fet també pot succeir igualment en el cas de l'apartat anterior d'edificis de línies posteriors a 7.

Seguidament es mostra la Figura 38, mapa acústic d'una secció d'un edifici, la qual dóna informació de com evoluciona en aquest cas el nivell sonor en funció de l'alçada.

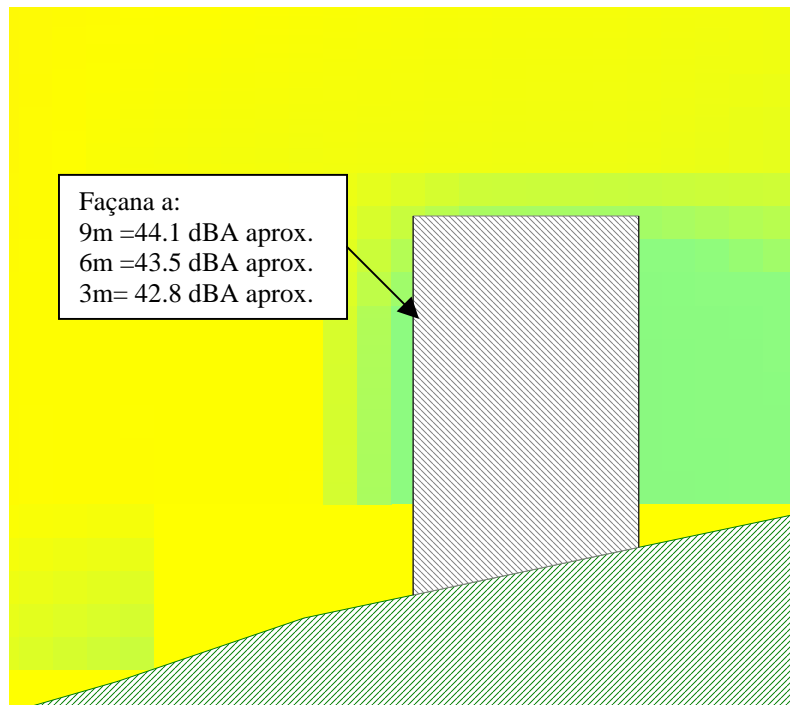


Figura 38. Mapa acústic d'una secció d'edifici llunyà

Els valors extrems dels mapes són a cada tres metres d'alçada perquè es considera que una planta d'un edifici mesura 3 metres.

En aquest cas, al tenir distàncies tant grans entre el focus emissor i els edificis els obstacles que poden fer disminuir el nivell de soroll tenen menys importància que no pas la pròpia distància de l'emissor. Per tant l'efecte que hi haurà serà el que es pot observar a la Figura 38, a més alçada més nivell de soroll.

Una planta situada a 3 metres d'altura en l'edifici rep un nivell sonor de 42.8 dBA aproximadament, mentre que la planta a 9 metres d'altura rep 44.1 dBA.

En aquest cas la diferència entre viure en una planta o una altre es de 2 dBA, un valor similar en edificis de primera línia.



No obstant, alguna font de soroll propera provocarà més impacte acústic que el que li provoca la pròpia Avinguda, i aquest efecte en l'alçada es veurà modificat per la posició del focus emissor, augmentant o disminuint en l'alçada.

2.4.6.- AVALUACIÓ DEL SOROLL SEGONS LA LLEI 16/2002

La normativa vigent que regeix els impactes acústics a Catalunya és la Llei de Protecció Contra la Contaminació Acústica de la Generalitat de Catalunya (Llei 16/2002).

Per tal de poder avaluar el soroll que provoca l'Avinguda Sant Jordi mitjançant la llei 16/2002 primerament es farà una mica d'incís en algun article d'aquesta per veure que realment li és d'aplicació.

En l'article 2 es veuen les finalitats de la llei, les quals són les mateixes que es persegueix en veure l'impacte acústic que provoca l'Avinguda. Aquestes són:

- El dret a tenir un medi ambient adequat per al desenvolupament de la persona.
- El dret a la protecció de la salut.
- El dret a la intimitat.
- El benestar i la qualitat de vida dels ciutadans.

Per tant es pot veure com amb aquest estudi i segons la llei les finalitats anteriors poden ser assumides.

En l'article 6 de la Llei, s'especifica que els sectors del territori afectats per la presència d'una infraestructura de transport viari són zones de soroll. Una zona de soroll comprèn el territori de l'entorn del focus emissor i és delimitada per la corba isòfona, que són els punts del territori on es mesuren els valors límits d'immissió establerts per l'annex 1 corresponents a la zona de sensibilitat acústica on hi ha situada la infraestructura. En el cas de l'Avinguda es pot considerar com a zona de soroll.

En l'article 12 es diu que els sectors del territori amb infraestructures de transport viari construïdes a partir de l'entrada en vigor de la Llei s'han de qualificar com a zones de sensibilitat acústica moderada, en les quals no es poden sobrepassar els valors límit d'immissió fixats per l'annex 1.

No obstant, el cas d'estudi és una infraestructura ja existent a l'entrada en vigor de la Llei 16/2002. Per tant, el mateix article número 12 diu que per a les infraestructures ja existents a l'entrada en vigor de la Llei, en cas que sobrepassin els valors d'atenció fixats per l'annex 1 per a les zones de sensibilitat acústica baixa, l'administració titular ha d'elaborar, donant audiència a les administracions afectades per la infraestructura, un pla de mesures per a minimitzar l'impacte acústic.

Els valors límits d'immissió i els valors d'atenció que es fixen en l'annex 1 de la Llei són els següents:

ZONA DE SENSIBILITAT	VALORS LÍMIT D'IMMISSIÓ L _{Ar} en dBA		VALORS D'ATENCIÓ L _{Ar} en dBA	
	Dia	Nit	Dia	Nit
A, alta	60	50	65	60
B, moderada	65	55	68	63
C, baixa	70	60	75	70

Taula 6. Límits d'immissió i d'atenció segons la Llei 16/2002

Així doncs, l'Avinguda Sant Jordi d'Olot és una infraestructura que complirà la normativa sempre i quan no superi els valors d'atenció per una zona de sensibilitat acústica baixa (zona C); és a dir, 75 dBA de dia i 70 dBA de nit.

Un punt important a esmentar de l'annex 1 és que les mesures realitzades a peu de carrer, han d'estar a una distància d'entre 1 i 2 metres de les façanes i aproximadament a 1.5 metres d'altura. Als valors que s'obtinguin se'ls aplica la correcció de sostreure de 3 a 5 dBA, atenent les característiques de l'edificació de l'indret. Això és degut a que les reflexions provocades pels edificis fan augmentar el nivell de soroll prop d'aquests.

A partir d'aquí farem l'anàlisi del soroll provocat per l'Avinguda Sant Jordi mitjançant la Llei amb els valors calculats a partir de la simulació amb el programa CADNA.



Segons els valors d'atenció, traient 3 dBA, per ser el cas més desfavorable, no es pot sobrepassar els 78 dBA de dia i 73 dBA en el cas de nit. Mirant els mapes acústics obtinguts es pot veure que en cap cas es sobre passen aquests nivells. Per tant, la situació en què es troba aquesta avinguda compleix la normativa vigent.

Ara bé, el fet que l'Avinguda Sant Jordi d'Olot compleixi la Llei 16/2002 no vol dir que el soroll existent no sigui elevat, ja que un nivell de soroll que estigui en el rang de 72-75 dBA és un nivell acústic de consideració.

Per arribar una mica més enllà en aquest apartat el que es farà és avaluar l'Avinguda com si aquesta fos de nova construcció a partir de l'entrada en vigor de la Llei 16/2002.

Tal i com diu l'article 12 aquesta avinguda ara es considerarà com una zona de sensibilitat acústica moderada, per tant ara seran els nivells d'immisió i no d'atenció, els quals no poden sobrepassar els 68 dBA de dia i els 58 dBA de nit, traient 3 dBA per ser el cas més desfavorable, prenent com a classificació més adequada per les zones habitades les zones A o B. Puntualment, en zones especialment sorolloses es pot adoptar el límit de zona C.

Per poder veure de manera més visual quins edificis complirien amb la normativa de noves infraestructures es realitza un mapa diferenciant amb dos colors els edificis.

En horari diürn els resultats obtinguts es poden veure en la Figura 39.

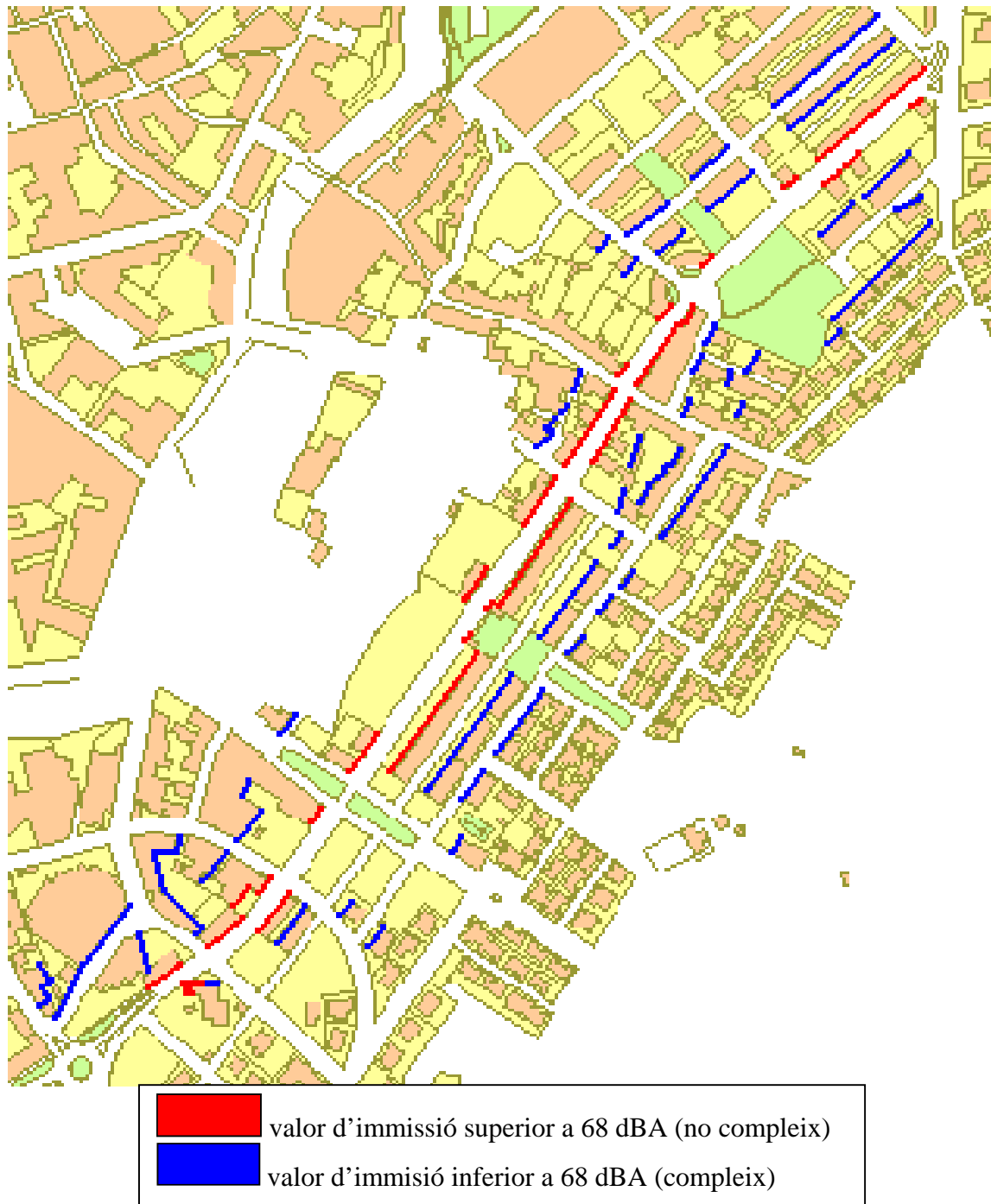


Figura 39. Mapa d'avaluació del soroll diürn segons el criteri de noves infraestructures



Mirant els resultats dels colors del mapa de la Figura 39 es pot observar que tots els edificis de primera línia estan pintats amb color vermell, per tant, sobrepassen els límits permesos per la Llei i no la complirien.

En quant als edificis situats a segona línia veiem que el color en què estan pintats és el blau i en cap cas algun edifici en color vermell, per tant, es pot assegurar que a partir dels edificis situats a segona línia la Llei es compleix en tots el casos.

Per tant, si aquesta Avinguda fos de nova construcció s'haurien de prendre una sèrie de mesures per tal de complir la Llei i reduir l'impacte acústic que rebrien els veïns.

En horari nocturn els resultats obtinguts serien els de la Figura 40.

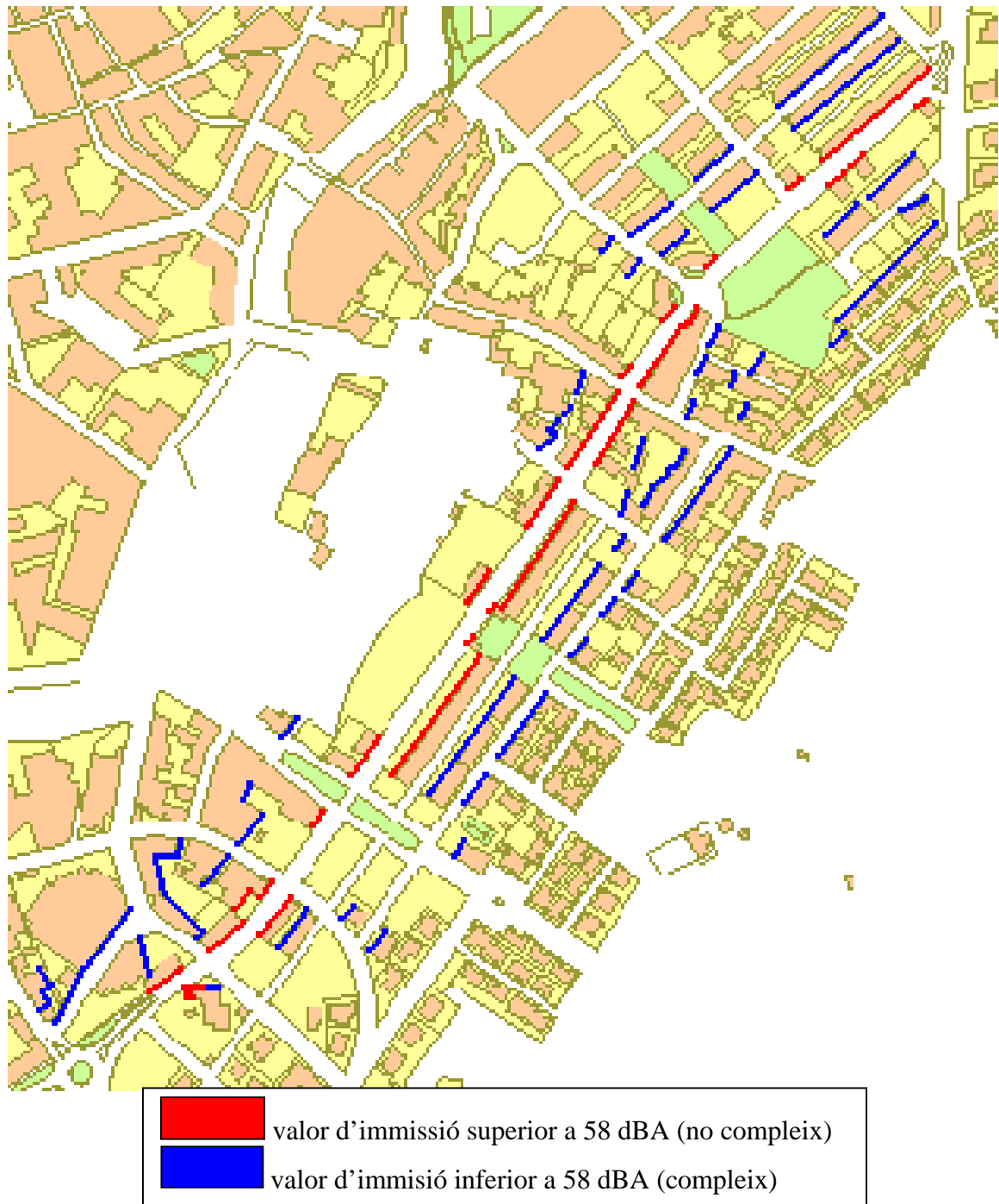


Figura 40. Mapa d'avaluació del soroll nocturn segons el criteri de noves infraestructures



En horari nocturn els valors límit d'immisió marcats per la Llei s'han reduït considerablement, per tant, també és lògic pensar que a la nit quasi no hi ha soroll perquè el pas de cotxes és mínim, no obstant, si s'observa el mapa es pot veure que a la nit tampoc es compleix amb els valors límits fixats per la Llei. Els edificis situats a primera línia tenen uns nivells de soroll a 58 dBA i per tant, igualment que en el cas diürn, no es compliria amb la Llei.

En quant als edificis situats a segona línia veiem que el color en què estan pintats és el blau i en cap cas algun edifici en color vermell, per tant, es pot assegurar que a partir dels edificis situats a segona línia la Llei es compleix en tots els casos. Aquest fet ja passava en el cas de l'anàlisi en horari diürn ja que els edificis de primera línia provoquen molt apantallament.

Així doncs es pot afirmar de manera general que ni de dia ni de nit els edificis de primera línia compleixen amb una zona B definida segons la Llei 16/2002 per a noves infraestructures. Quedant com a única opció la classificació com a zona C, reservada generalment a les zones industrials.

Tanmateix, tot i poder fer-se una classificació com a zona tipus C, en alguns punts tampoc es complirien els límits establerts i per tant si l'Avinguda Sant Jordi fos de nova construcció, aquests límits esdevindrien il·legals i s'haurien de prendre mesures correctores.

Per tant, aquesta avinguda és un clar exemple que pel fet de ser una infraestructura vella compleix amb la normativa, però que com s'ha pogut comprovar, si fos de nova construcció estaria en alguns punts determinats per sobre els límits permesos.

Amb l'anàlisi anterior es considera que els nivells de soroll són realment importants i per conseqüència s'hauria d'estudiar la possibilitat d'implantar una sèrie de mesures per tal de poder reduir l'impacte acústic que l'Avinguda Sant Jordi provoca als veïns.

2.4.7.- ANÀLISI I SIMULACIÓ DE POSSIBLES MILLORES

Una vegada vist que realment l'impacte acústic que provoca l'Avinguda Sant Jordi és molt alt, mitjançant diferents hipòtesis es vol veure quin efecte tindrien si realment es portessin a terme en la realitat. Les hipòtesis considerades són les següents:

- Pantalles acústiques
- Asfalt sonoreductor o porós
- Restricció del pas de vehicles pesats
- Asfalt porós i restricció de vehicles pesats
- Reducció de la velocitat de circulació

- Pantalles acústiques

Les pantalles acústiques són elements que es situen al costat d'una infraestructura per tal de fer de protecció contra l'impacte acústic que aquesta emet, tal i com es mostra a la Figura 41. Per tant l'implantació d'aquests elements és inviable pel fet de tractar-se d'una avinguda interior de la ciutat amb tots els seus corresponents aparcaments, entrades a edificis, impactes visuals, etc.



Figura 41. Pantalles acústiques.

Per tant aquesta hipòtesi de millora queda descartada per les repercussions esmentades.



- Asfalt porós o sonoreductor

L'asfalt porós és un tipus de paviment pensat per facilitar el drenatge de l'aigua. El seu ús, però, produeix també una millora acústica respecte a l'asfalt normal, ja que degut als porus es redueix el nivell de sonor emès per la via.

La reducció del nivell de soroll que comporta un asfalt porós respecte d'un asfalt convencional, no només augmenta amb el volum de trànsit, sinó que també ho fa amb la velocitat de circulació.

Pel que fa a l'asfalt sonoreductor, no deixa de ser un tipus d'asfalt porós, però pensat des d'un bon principi amb l'objectiu de reduir el soroll. Es tracta d'un aglomerat asfàltic (mescla d'àrids, betum i pols mineral; també s'hi pot incloure cautxú triturat provinent de pneumàtics vells) que minimitza dos dels factors bàsics causants del soroll del trànsit rodat: les vibracions del pneumàtic al entrar en contacte amb l'asfalt i el fenomen de la ressonància de l'aire "bombejat" pel pneumàtic (compressió/expansió). En primer lloc, per les seves característiques superficials, ja que la seva textura minora les vibracions. En segon lloc, per les seves característiques estructurals, ja que, en ser un paviment porós, els buits redueixen l'efecte de la ressonància.

L'utilització d'aquest tipus de paviment sonoreductor comporta una reducció del soroll generat pel trànsit rodat.

El problema que presenta l'asfalt sonoreductor és que, al contrari que l'asfalt convencional, necessita feines de manteniment per conservar les seves propietats, ja que, degut a que els porus que permeten l'absorció del soroll es van tapant al llarg del temps.

Un altra aspecte que també s'ha de tenir en compte en aquest tipus d'asfalt és que tot i que el manteniment que se li faci durant el seu període de vida, aquest és limitat. Per tant, també s'ha d'avaluar els costos que comportarà aquest asfalt, el manteniment i la seva posterior renovació.

En les següents figures es mostra una ampliació de la superfície d'un asfalt normal i la superfície d'un asfalt sonoreductor.



Figura 42. Paviment normal



Figura 43. Paviment sonoreductor

En la simulació mitjançant el programa CADNA aquest asfalt sonoreductor no es pot utilitzar ja que no hi ha cap tipus d'asfalt en el programa amb aquestes característiques, però sí que es pot utilitzar l'asfalt porós.

El mapa acústic de l'Avinguda Sant Jordi amb asfalt porós és el que es pot observar a la Figura 44.

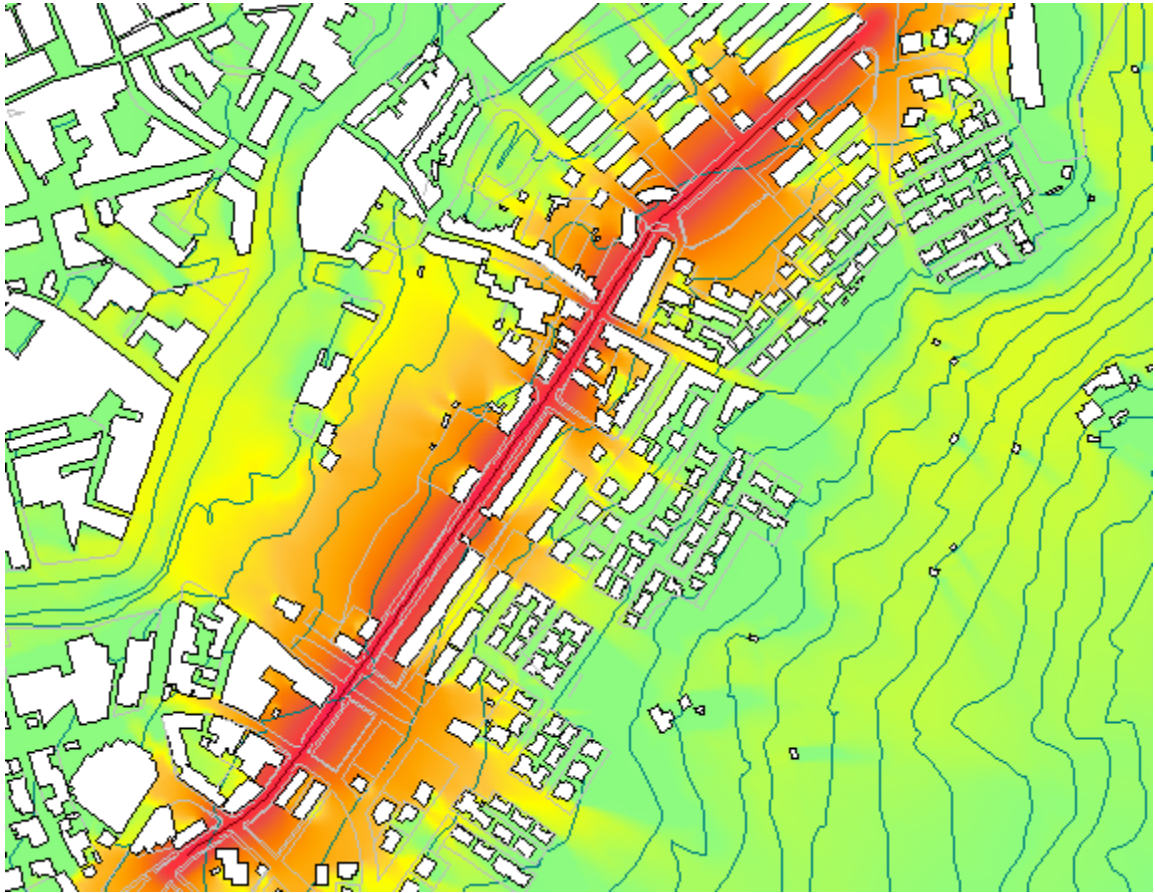


Figura 44. Mapa acústic en horari diürn de la situació actual amb asfalt porós

Mirant el mapa acústic anterior de la situació de l'Avinguda amb el tipus d'asfalt porós veiem que els colors no són els mateixos que quan hi havia asfalt normal.

En el mapa acústic d'aquesta hipòtesi es pot veure que en la mateixa línia de la carretera ja no hi ha el color morat sinó que la tonalitat ja es més taronja, aquest fet significa que sí que s'ha disminuït el nivell de soroll.

Per entrar una mica més en detall es fa una ampliació d'una zona d'un tram per tal de veure la variació del nivell acústic.

Les següents figures mostren la variació amb les dues tipologies d'asfalt:

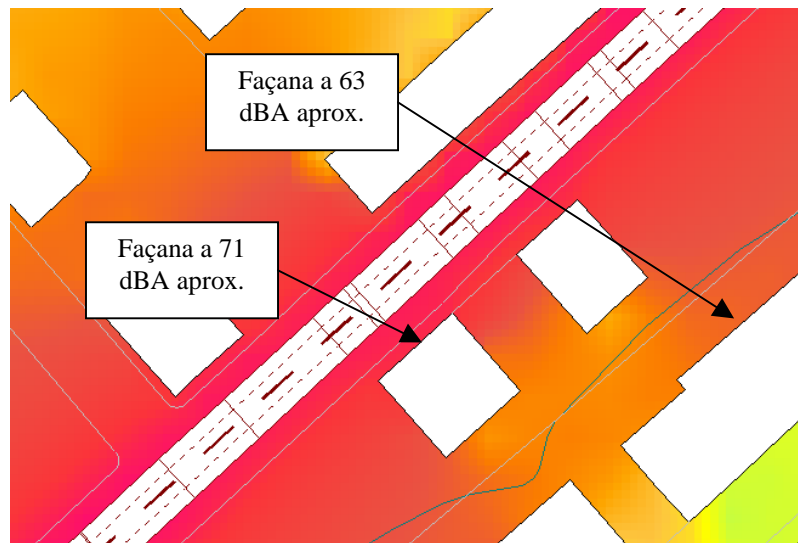


Figura 45. Mapa acústic d'un tram amb asfalt normal

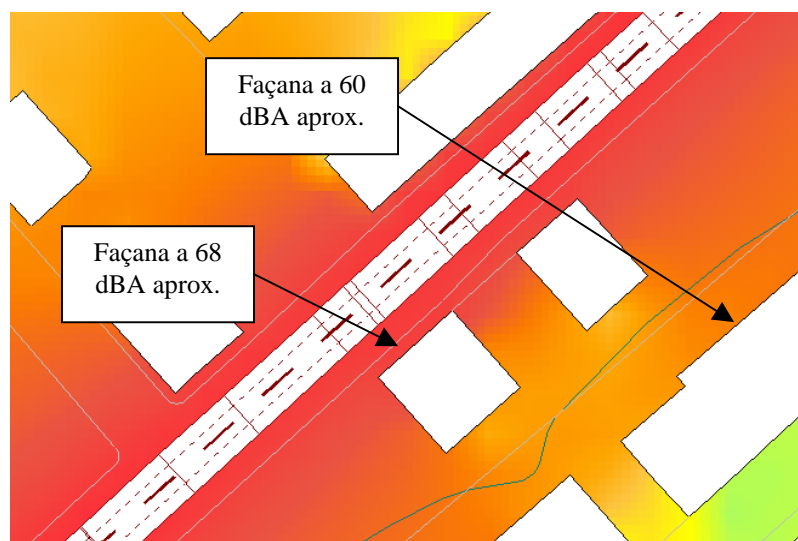


Figura 46. Mapa acústic d'un tram amb asfalt porós

En aquest cas la diferència entre els dos casos és de 3 dBA aproximadament. Si fem el mapa acústic de la diferència es podrà observar en tota la zona a estudiar com evoluciona disminueix l'impacte acústic.

Per a realitzar aquest mapa de diferències primerament s'hauran d'assignar els colors per a cada interval de nivell sonor.

L'escala cromàtica entrada al programa CADNA és la següent:

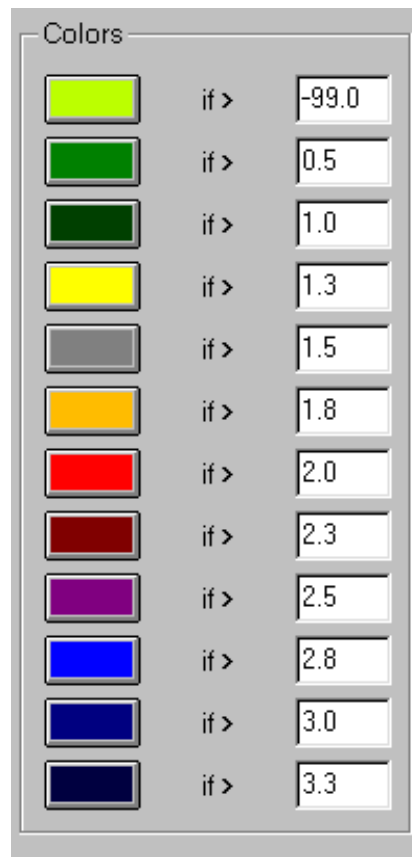


Figura 47. Escala cromàtica entrada al programa CADNA

Una vegada havent entrat l'escala cromàtica anterior, ja es pot procedir a fer el mapa de la diferència.

Aquest mapa es pot veure en la següent Figura 48.

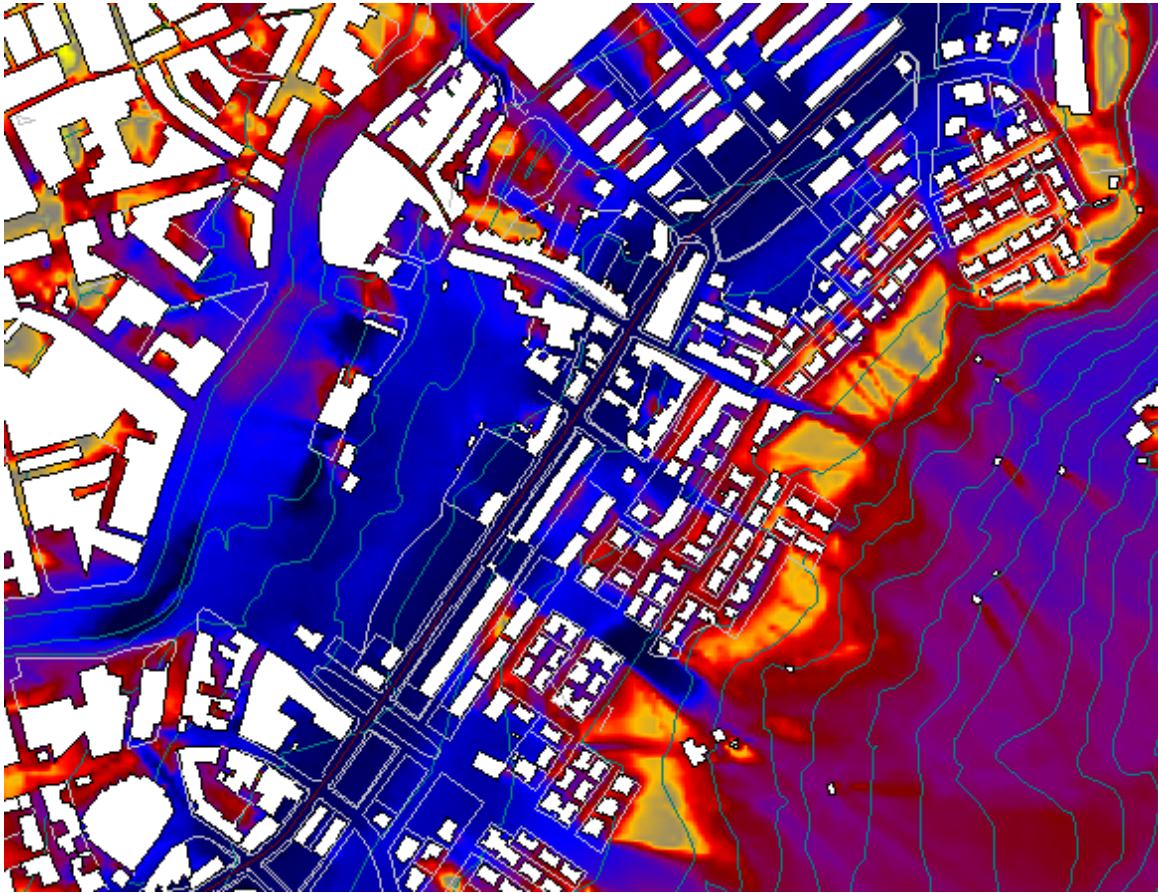


Figura 48. Mapa acústic de la diferència entre asfalt normal i asfalt porós

Observant els intervals definits i el mapa de diferències es pot veure que les zones on la disminució és més important, de l'ordre dels 3 dBA, és en les zones de la mateixa Avinguda.

A partir dels edificis de segona línia la disminució ja no supera els 3 dBA arribant a zones on la diferència quasi és inapreciable. Això significa que possiblement els edificis situats just al davant de l'Avinguda poguessin notar aquesta millora, no obstant, a partir dels edificis de segona línia aquesta disminució seria imperceptible ja que tal i com s'ha comentat anteriorment 3 dBA és un valor bastant petit.

En quant a la millora que s'obtidria si l'asfalt fos del tipus sonoreductor, tot i no poder fer la simulació amb el programa CADNA, es tenen dades d'un cas real. Aquest cas és la ciutat de Barcelona, la qual és una de les ciutats europees amb més paviment sonoreductor,

i segons dades del seu Ajuntament, la utilització d'aquest tipus d'asfalt als carrers de la ciutat suposa una reducció del soroll ambiental d'entre 2 i 3 dBA; reducció que pot arribar entre els 4 i 5 dBA en carrers amb volum de trànsit alt, com el vial estudiat en el present projecte.

Si s'analitzen dos casos particulars de la ciutat de Barcelona es poden veure com la reducció del soroll que provoca utilitzar asfalt sonoreductor és en mitjana de 3 dBA aproximadament.

La taula 7 mostra aquesta reducció:

	c/ Balmes Leq (dBA)	Mitjana Leq (dBA)	P.Bonanova Leq (dBA)	Mitjana Leq (dBA)
Asfalt existent	72.9	73.2	72.7	72.7
	73.5		72.7	
Asfalt sonoreductor	69.5	69.9	70.4	69.6
	70.3		68.8	

Reducció c/ Balmes	3.3	Reducció P.Bonanova	3.1
---------------------------	------------	--------------------------------	------------

Taula 7. Diferència del nivell sonor entre asfalt existent i asfalt sonoreductor

- Restricció del pas de vehicles pesats

La restricció del pas de vehicles pesats comporta haver de tenir una ruta alternativa per aquest tipus de vehicles. El problema sorgeix pel fet de que aquesta Avinguda ja és l'alternativa per tal de que els vehicles pesats no hagin de passar per dins el centre de la ciutat.

Així doncs, aquesta hipòtesi també sembla una mica inviable, però no impossible, per aquest motiu de manca de rutes alternatives.

De totes maneres, s'opta per fer la simulació i així poder observar quina seria la influència pel que fa a disminució del l'impacte acústic si es pogués adoptar aquesta mesura.

El mapa acústic resultant d'aquesta hipòtesi és pot veure en la següent figura:

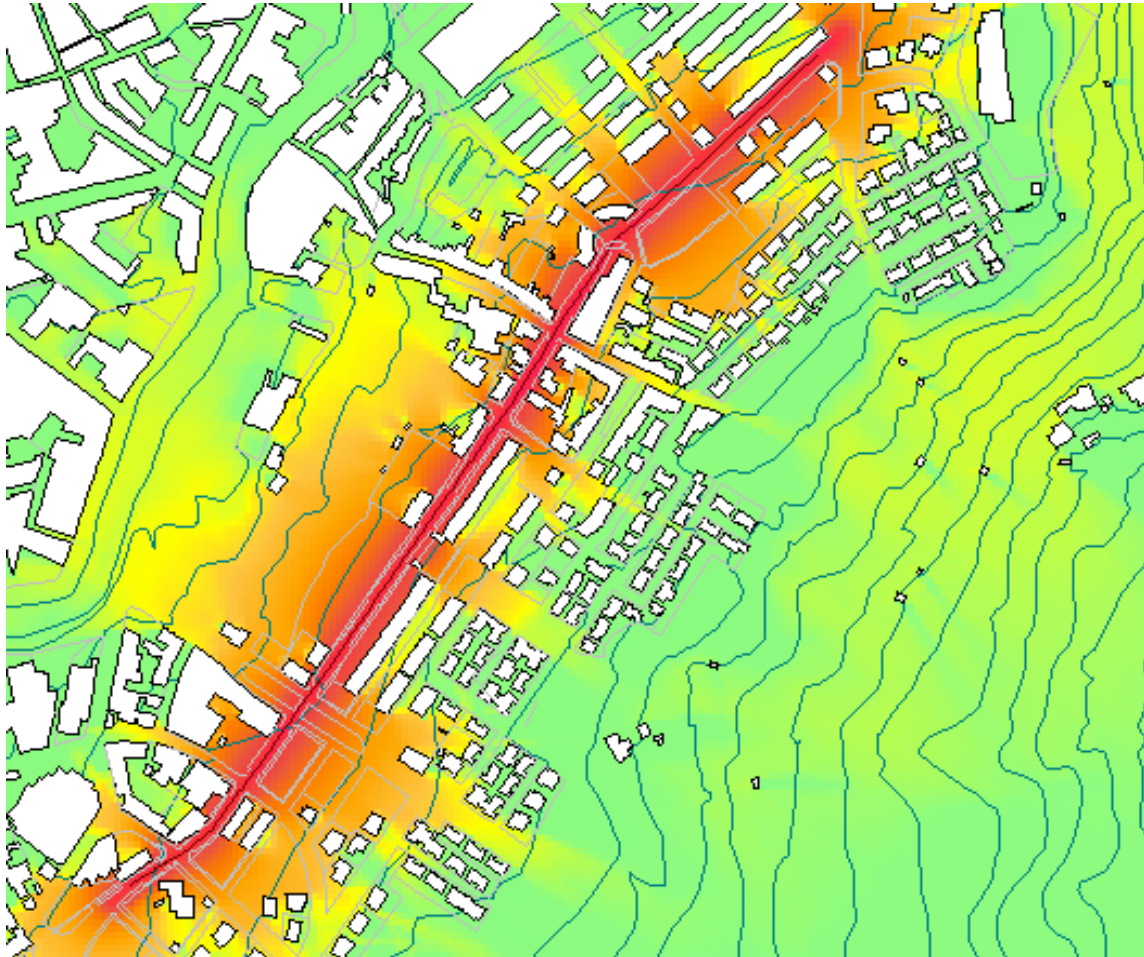


Figura 49. Mapa acústic amb la restricció de vehicles pesants

Es pot observar que el color del mapa ha variat respecte el mapa de l'estat actual, sobretot a la mateixa Avinguda i els voltants.

Per continuar amb les comparacions de les millores obtingudes amb les hipòtesis, seguidament es pot veure la reducció del nivell de soroll d'un mateix tram a l'estat normal i amb la restricció de vehicles pesats.

Les següents figures mostren la variació amb trànsit normal i amb restricció de pesats.

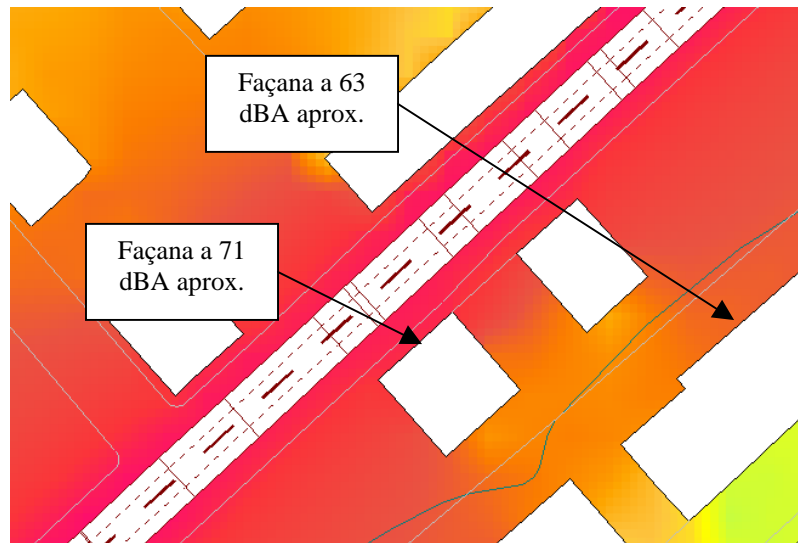


Figura 50. Mapa acústic d'un tram amb circulació normal

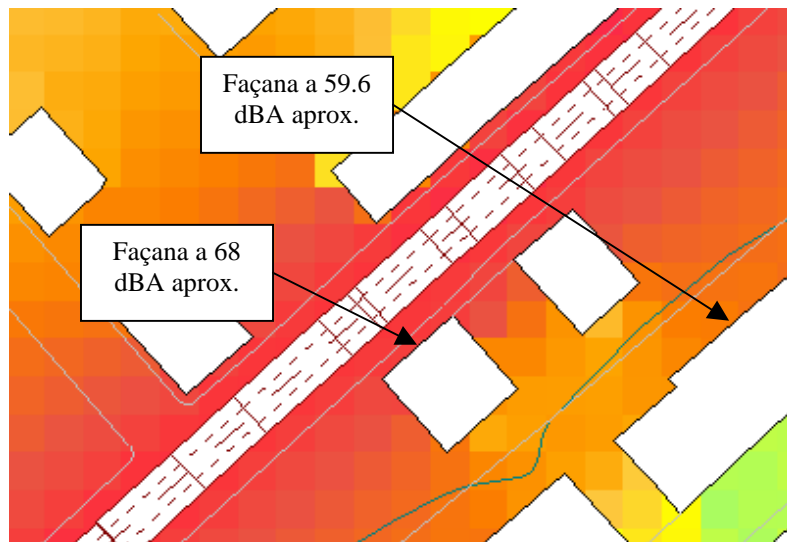


Figura 51. Mapa acústic d'un tram amb restricció de vehicles pesats

En aquest cas la diferència entre els dos casos és de 3 dBA aproximadament. Si fem el mapa acústic de la diferència es podrà observar en tota la zona a estudiar com evoluciona la disminució de l'impacte acústic.

Per a realitzar aquest mapa de diferències primerament, igualment que en cas de la millora del canvi d'asfalt, s'hauran d'assignar els colors per a cada interval de nivell sonor. L'escala cromàtica entrada al programa CADNA és la següent:

Color	Interval
Light Green	if > -99.0
Green	if > 0.3
Dark Green	if > 0.5
Yellow	if > 0.8
Grey	if > 1.0
Orange	if > 1.5
Red	if > 2.0
Dark Red	if > 2.5
Purple	if > 3.0
Blue	if > 3.5
Dark Blue	if > 4.0
Very Dark Blue	if > 4.5

Figura 52. Escala cromàtica entrada al programa CADNA

Una vegada havent entrat l'escala cromàtica anterior, ja es pot procedir a fer el mapa de la diferència.

Aquest mapa es pot veure en la Figura 53 següent.

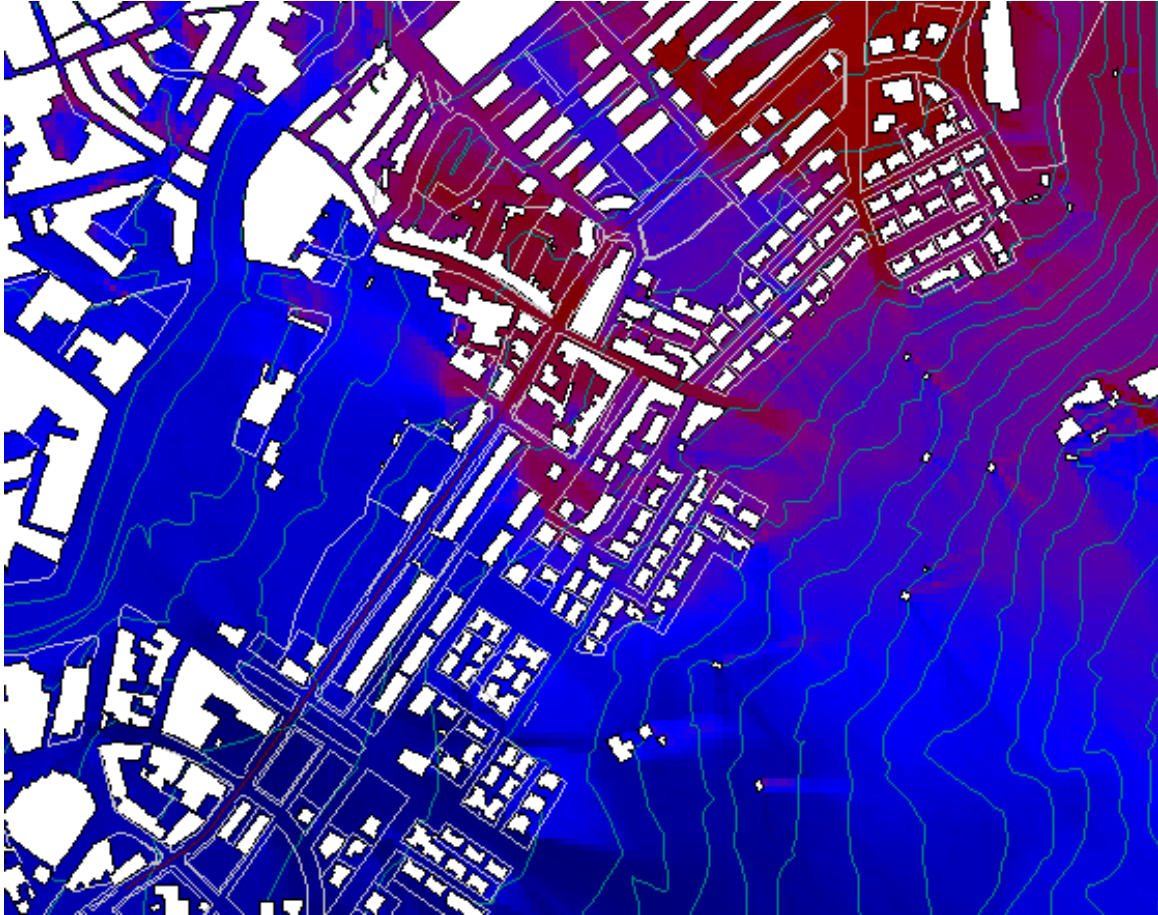


Figura 53. Mapa acústic de la diferència entre circulació normal i amb restricció de vehicles pesats

Amb aquesta hipòtesi es pot veure que gairebé l'efecte en tot el territori és d'almenys una disminució de 3 dBA. En algun tram disminuint al voltant de 2 dBA i inclús arribant a reduir 4 dBA en algun altre tram.

Per tant, la millora que es notaria si s'apliqués la restricció de vehicles pesats seria a nivell de tots els edificis i no només a edificis de primera línia com en el cas d'aplicar l'hipòtesi d'asfalt porós. No obstant, una disminució de 3 dBA no és una millora que es notaria de forma important a nivell d'impacte acústic.

- Asfalt porós i restricció del pas de vehicles pesants

Aplicant dues hipòtesis alhora porta a pensar que l'efecte de millora en la reducció del nivell de soroll ha de ser proporcional als efectes que provoca cada una. Considerant que a grans trets tant el canvi a un asfalt porós, com la restricció de la circulació de vehicles pesants suposarien una millora d'uns 3 dBA a les proximitats del vial principal, la combinació de les dos millores seria de entre 3 dBA i 6 dBA, en general.

També recordar que aplicar les dues hipòtesis alhora no es creu que sigui possible pel fet de que, tal i com s'ha comentat en l'hipòtesi de reducció de vehicles pesants, una ruta alternativa a aquesta no és possible. No obstant, també s'opta per fer la simulació.

A continuació, a la Figura 54, s'avalua quina seria la reducció màxima esperada a partir d'aplicar les dues solucions anteriors.

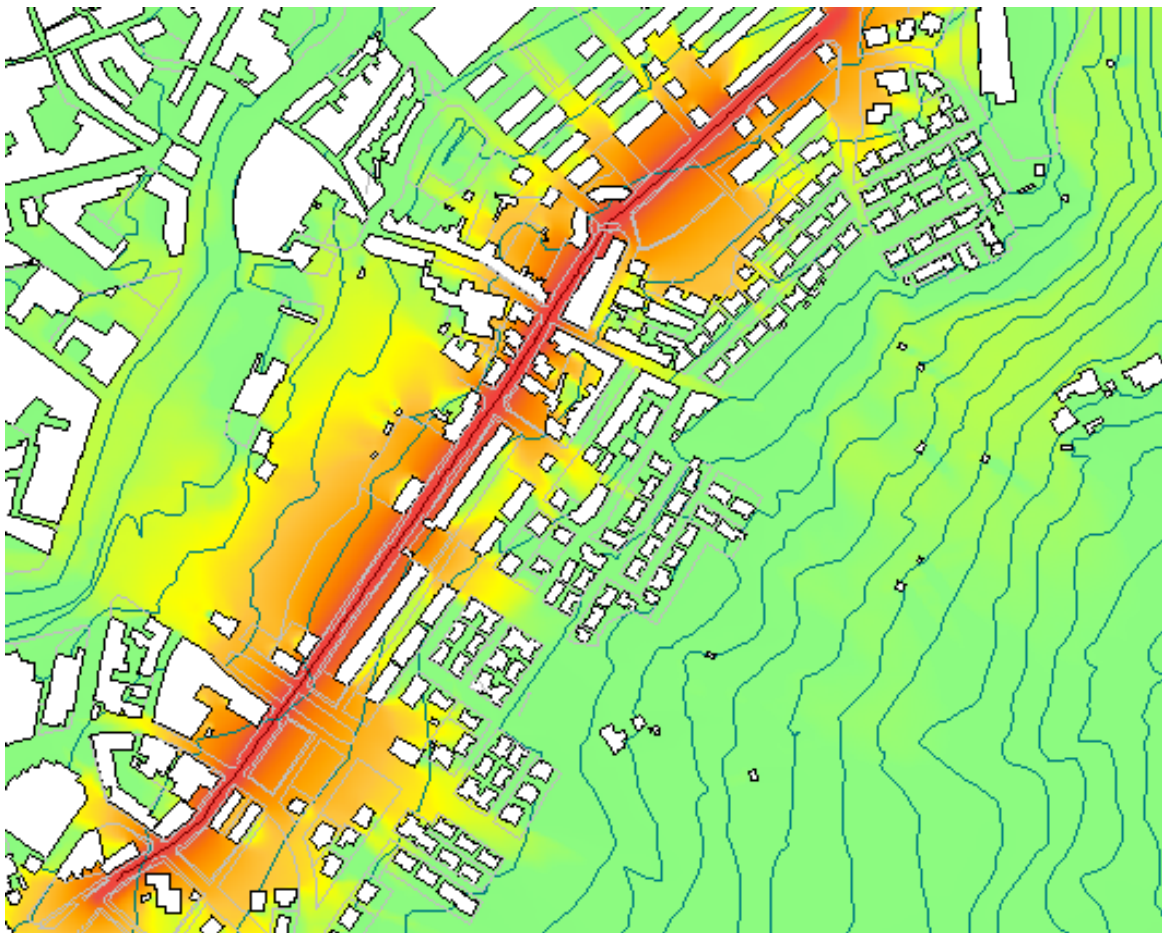


Figura 54. Mapa acústic amb asfalt porós i restricció de vehicles pesants

Tal i com s'ha comentat, l'intensitat de color ha disminuït respecte l'estat actual.

Igualment que en els casos anteriors es compararà l'evolució d'un tram a l'estat actual i amb l'hipòtesi en qüestió.

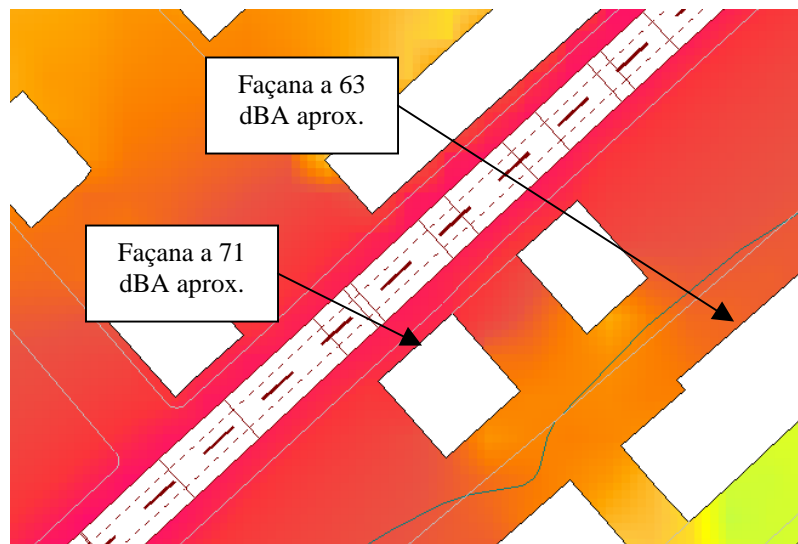


Figura 55. Mapa acústic d'un tram amb asfalt i circulació normal

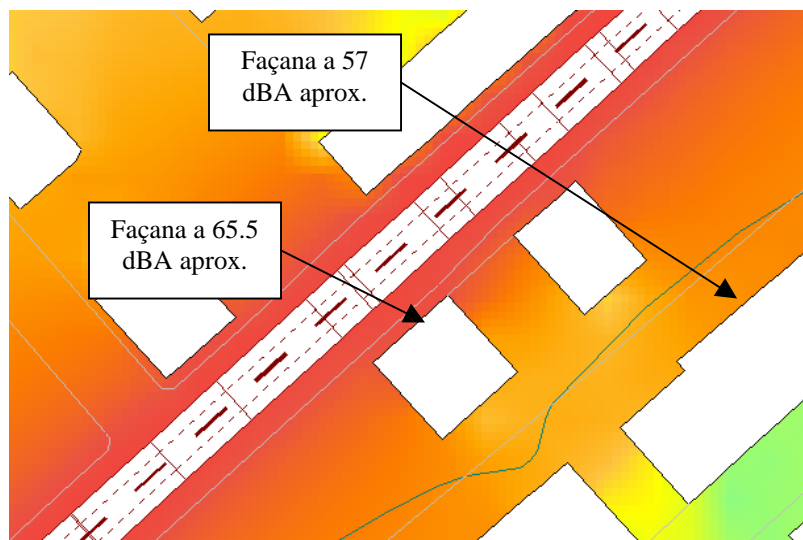


Figura 56. Mapa acústic d'un tram amb asfalt porós i restricció de vehicles pesants

Es pot veure com la disminució és de 5 dBA aproximadament en aquest tros de tram de l'Avinguda.

Per veure l'evolució en tota la zona de treball es procedeix a fer el mapa de la diferència entre l'estat actual i aplicant les dues hipòtesis alhora. Abans però, s'hauran d'assignar els colors per a cada interval de nivell sonor, aquests són els següents:

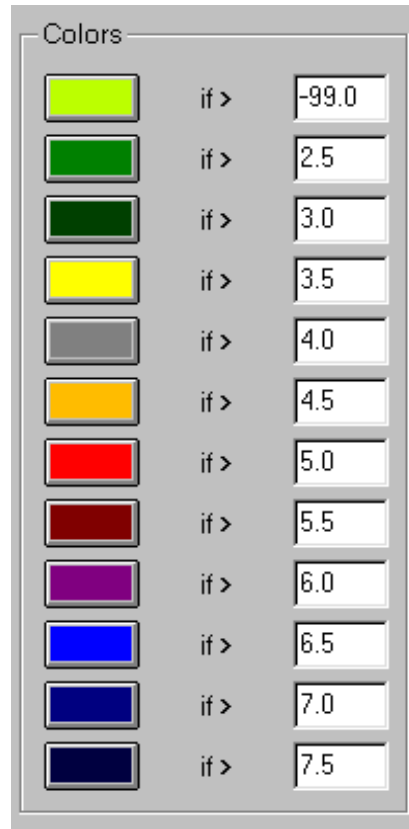


Figura 57. Escala cromàtica entrada al programa CADNA

Una vegada havent entrat l'escala cromàtica anterior, ja es pot procedir a fer el mapa de la diferència.

Aquest mapa es pot veure en la Figura 58 següent.

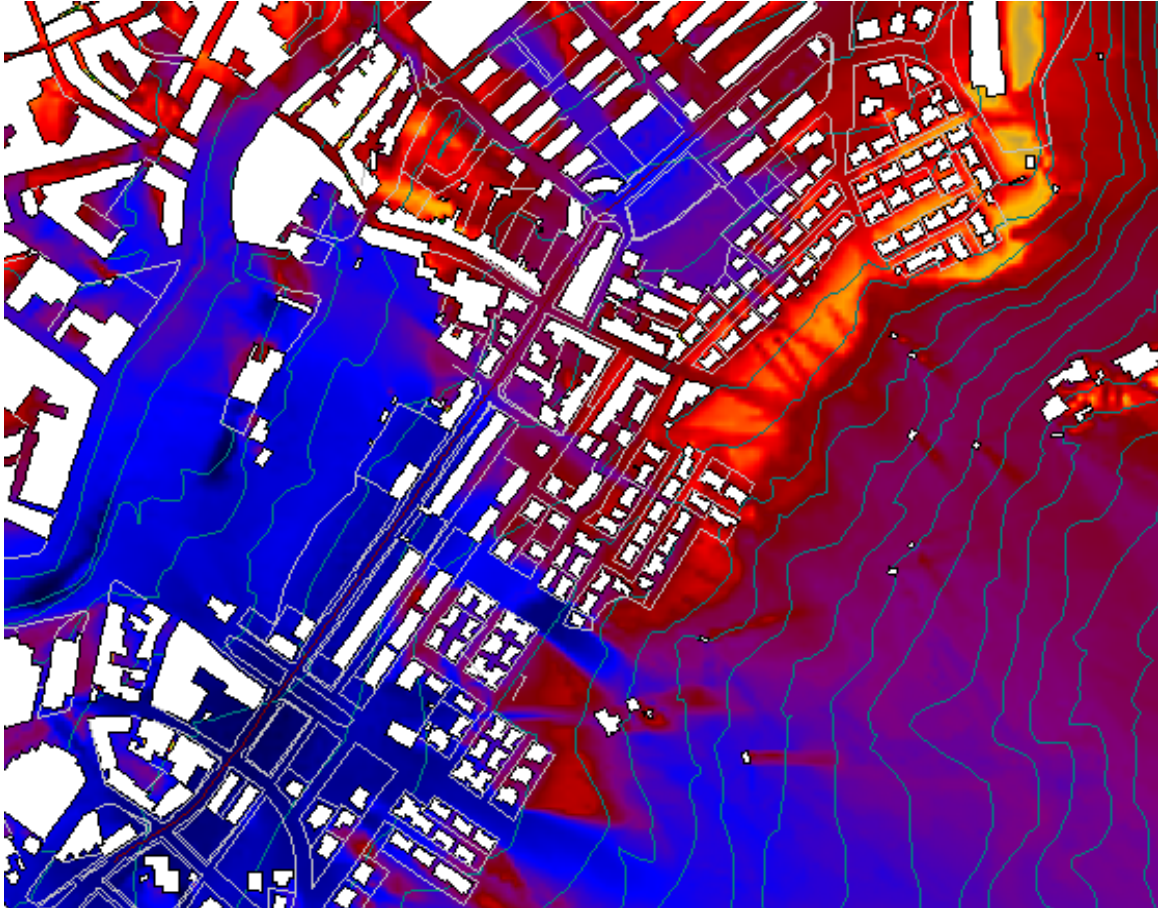


Figura 58. Mapa acústic de la diferència entre circulació normal i asfalt porós amb restricció de vehicles pesats

En aquest cas veiem que la millora que s'obté d'aplicar les dues hipòtesis és una disminució del nivell acústic considerable, ja que, tal i com es pot veure en el mapa acústic de la diferència entre el cas actual i l'aplicació d'asfalt porós amb restricció de vehicles pesants, el color que predomina és el blau i el blau marí, la qual cosa indica que aproximadament la disminució està entre els 6 i 6.5 DBA i en zones molt puntuals aquesta millora com a molt seria d'uns 7 dBA.

Per tant, aplicant les dues hipòtesis alhora si que s'obté una disminució màxima considerable i perceptible pels veïns, digne de consideració en el cas que es pogués dur a terme.

- Reducció de la velocitat de circulació

Per tal d'avaluar l'efecte que tindria una disminució de la velocitat dels vehicles que circulen per l'Avinguda Sant. Jordi d'Olot, es prenen dades directes del soroll produït per un vehicle extretes del projecte "Caracterització acústica de vehicles segons les condicions d'operació" realitzat per Narcís Julià i Riera i presentat a la convocatòria de Gener del 2005.

A continuació es presenta una sèrie de taules on es poden veure les diferències mitjanes en l'emissió de soroll a 7,5 m de la reducció de velocitat de 50 a 40 km/h tant per motors de cicle diesel com en motors de gasolina, anomenats també de cicle Otto.

Nivell sonor (dBA)		
2 ^a marxa	50 km/h	40 km/h
Gasolina	63,3	60
Diesel	67,5	63

Taula 8. Nivell sonor d'un vehicle a diferents velocitats amb la segona marxa

Nivell sonor (dBA)		
3 ^a marxa	50 km/h	40 km/h
Gasolina	57,3	54
Diesel	59,5	55

Taula 9. Nivell sonor d'un vehicle a diferents velocitats amb la tercera marxa

Observant els resultats de les taules anteriors es pot veure com els motors diesel tenen un nivell sonor superior als motors de gasolina. També es pot veure que per mantenir una mateixa velocitat, 50 km/h o 40km/h, amb marxes més curtes els nivells acústics també són superiors, ja que, els motors van més revolucionats per tal d'assolir la velocitat indicada.

En la taula següent es mostra la diferència en el nivell sonor per motors diesel i motors gasolina per passar de 50 km/h a 40 km/h amb la marxa segona i amb la marxa tercera.

Nivell sonor (dBA)		
Diferència	Gasolina	Diesel
2 ^a marxa	3,8	4,5
3 ^a marxa	3,7	4,5

Taula 10. Diferència del nivell sonor d'un vehicle en passar de 50 km/h a 40 km/h



Amb la Taula 10 es pot veure que per passar de 50 km/h a 40 km/h mantenint la marxa la millora que s'obté amb un motor de gasolina és d'uns 3.7 dBA aproximadament, mentre que en motors diesel la disminució està en 4.5 dBA aproximadament.

Aquestes diferències en principi serien representatives de la millora que suposaria el pas d'un vehicle, tanmateix, si tots els vehicles respectessin la disminució de velocitat mitja, aquesta diferència es conservaria en el soroll de trànsit, que no és res més que la suma del soroll individual de cadascun dels vehicles.

No obstant, no sempre al reduir la velocitat hi ha una disminució del nivell sonor que emeten els vehicles ja que en molts casos la marxa en què es circula també es redueix. Aquest efecte es pot veure clarament en les taules anteriors, ja que per exemple en un motor de gasolina si es passa de 50 km/h a 40 km/h reduint de la tercera marxa a la segona marxa el nivell acústic augmenta de 57.3 dBA a 60 dBA, el mateix passa amb motors diesel on l'augment és de 59.5 dBA a 63 dBA.

Per tant, no sempre una disminució de la velocitat comporta una disminució de l'emissió acústica del vehicle.

2.4.8.- ANÀLISI I SIMULACIÓ D'UN VIAL ALTERNATIU

Un tema que en vistes dels resultats obtinguts en aquest estudi d'impacte acústic de l'Avinguda Sant Jordi d'Olot podria ser molt vàlid per a reduir el nivell de soroll seria la construcció d'una nova infraestructura.

Aquesta nova infraestructura seria un vial que fos l'alternativa de l'Avinguda, i que l'impacte acústic que provoqués als edificis del voltant fos mínim. L'objectiu d'aquest vial alternatiu seria que el pas de vehicles lleugers pel vial disminuís considerablement i que el pas de vehicles pesants fos nul, essent la nova infraestructura la que s'emportés tot el volum.

Per altra banda, la zona on està situada la ciutat d'Olot és una zona on gran part del territori està considerat com a Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa (PNZVG) i per

tant, a l'hora de traçar el vial alternatiu s'ha de tenir ben present on són els límits de Parc Natural.

Els mapa que marca les zones de Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa és el següent:

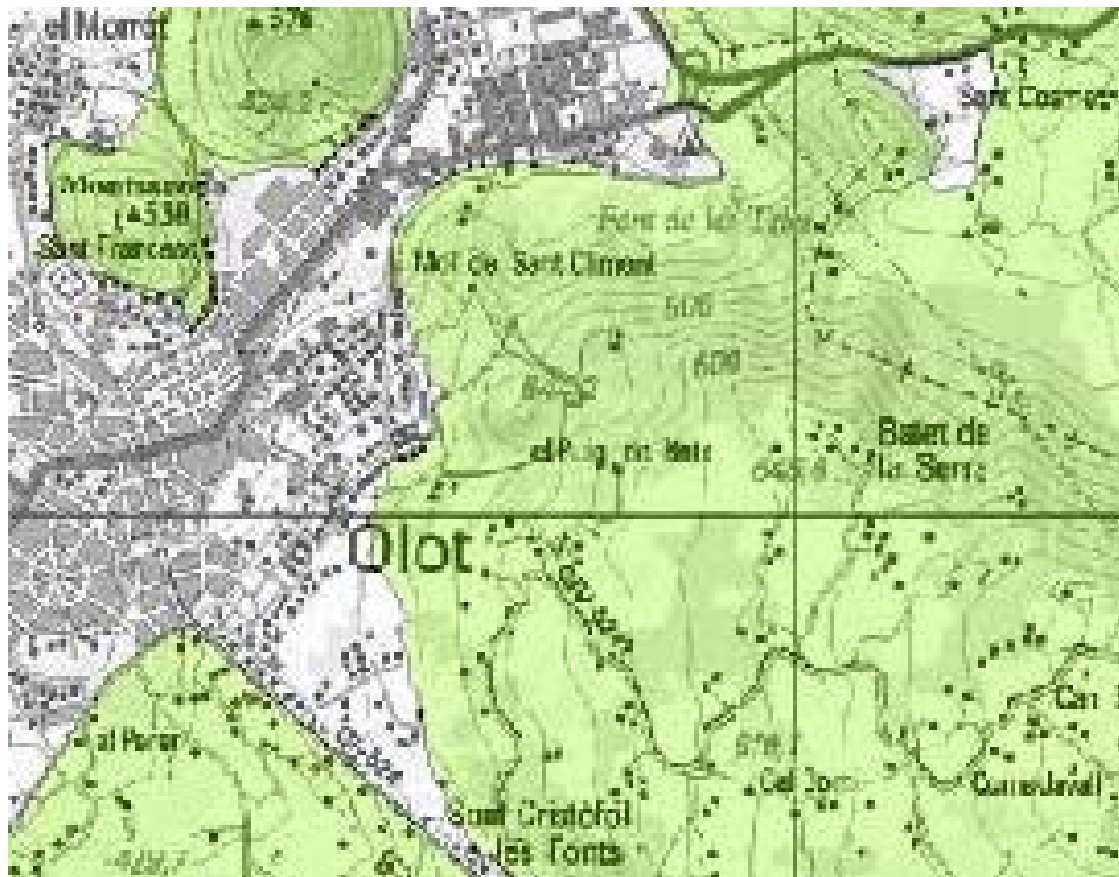


Figura 59. Mapa d'identificació de zones considerades Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa

Mirant el mapa de la Figura 59 es pot veure com la construcció d'aquesta nova infraestructura és impossible ja que tot el territori de color verd és Parc Natural. Per tant, es pot acabar dient que la construcció d'un vial alternatiu, en principi, no s'arribarà a dur a terme.

No obstant, malgrat que la construcció d'aquesta infraestructura no es pugui dur a terme, es avaluar quin efecte tindria la construcció d'una infraestructura d'aquesta mena, en cas que la seva construcció fos viable.

L'objectiu d'aquesta simulació, tot i no ser possible, no és veure l'impacte estrictament del vial alternatiu a la resta d'edificis, sinó que és veure l'impacte que provoca a l'Avinguda, el nostre cas d'estudi.

La ruta aproximada que es creu que pot ser la més idònia per aquest vial alternatiu és la següent:



Figura 60. Mapa amb la ruta del vial alternatiu

Tal i com es pot veure en la Figura 60 la ruta elegida passa per una zona on el volum d'edificis és mínim, ja que en l'actualitat és una zona de muntanya amb boscos (PNZVG).

Aquesta ruta doncs, seria una alternativa bastant bona a l'Avinguda Sant Jordi.

Per tal de poder fer la simulació s'hauran de prendre una sèrie d'hipòtesis, una de les quals ha estat la ruta de la nova infraestructura. Per altra banda s'ha de decidir quin trànsit passarà per la nova infraestructura i com a conseqüència el trànsit residual que quedarà a l'Avinguda Sant Jordi.



Les dades de partida són els valors de trànsit mig de l'Avinguda Sant Jordi i a partir d'aquestes s'obtiniran les dades que s'introduiran en el programa CADNA per tal de poder fer la simulació.

En aquesta simulació d'una variant alternativa a l'Avinguda s'ha decidit que la distribució de trànsit en l'Avinguda respecte l'estat actual serà del 25% mentre que la nova infraestructura absorbirà el 75% del trànsit.

En quant als vehicles pesats es considera que el seu pas per l'Avinguda Sant Jordi ha de quedar restringit i que tot el volum d'aquests vehicles passarà per la variant alternativa.

En la següent taula es poden observar els valors obtinguts de les hipòtesis anteriors.

	Qd	Qn	% P
Trànsit mitjà actual de l'Avinguda Sant Jordi	938.8	143.6	7.4
Trànsit residual de l'Avinguda Sant Jordi	234.7	35.9	0
Trànsit de la variant alternativa	704.1	107.7	9.6
<i>Hipòtesi distribució: 25%</i>			

Taula 11. Valors considerats en la simulació d'un vial alternatiu

A partir d'aquí ja es pot procedir a la simulació mitjançant el CADNA.

El primer que s'haurà de fer serà l'introducció de la geometria de la nova infraestructura en el programa CADNA, igualment que en la simulació feta anteriorment de l'estat actual, s'hauran de fer l'importació en forma de polígon auxiliar la línia central del vial alternatiu.

Posteriorment se l'hi haurà de donar les seves característiques, en el cas que ens ocupa aquestes seran l'amplada de 3 metres des de l'eix de la carretera, una velocitat màxima de 80 km/h, un tipus d'asfalt convencional (*enrobé bitumé*) i un tipus de trànsit fluid (*fluide continu*).

En la següent figura es pot observar la pantalla del programa CADNA per l'entrada de dades del vial alternatiu.

Route (NMPB)

Name: Vial alternatiu

ID: []

SCS/Dist. (m): 3

Emission: Counts, MDTD: 0

Road Type: Federal Road

Exact Count Data:

Number of Vehicles/Hour Q:

D: 704.1 E: 0.00 N: 9.6

Percentage heavy vehicles p (%):

D: 0.0 E: 0.0 N: 0.0

Emission: LAw' dB(A)

D: 83.6 E: 0.0 N: 64.9

Day Evening Night

Speed Limit (km/h): 80

Auto: 80 Truck: 80

Road Surface: Enrobé bitumé

Traffic Flow: Fluide continu

Road Gradient (%): 0.0

OK Cancel Geometry... Help

Figura 61. Pantalla d'exemple d'entrada de dades del vial alternatiu

Així doncs, ja s'està en disposició de poder obtenir el mapa acústic d'aquesta nova situació.

L'escala cromàtica utilitzada per aquesta simulació és la mateixa escala utilitzada en l'apartat 2.4.4, Figura 19.

El mapa acústic corresponent a la situació de l'Avinguda Sant Jordi amb un vial alternatiu de dia i de nit es mostren a les Figures 61 i 62.

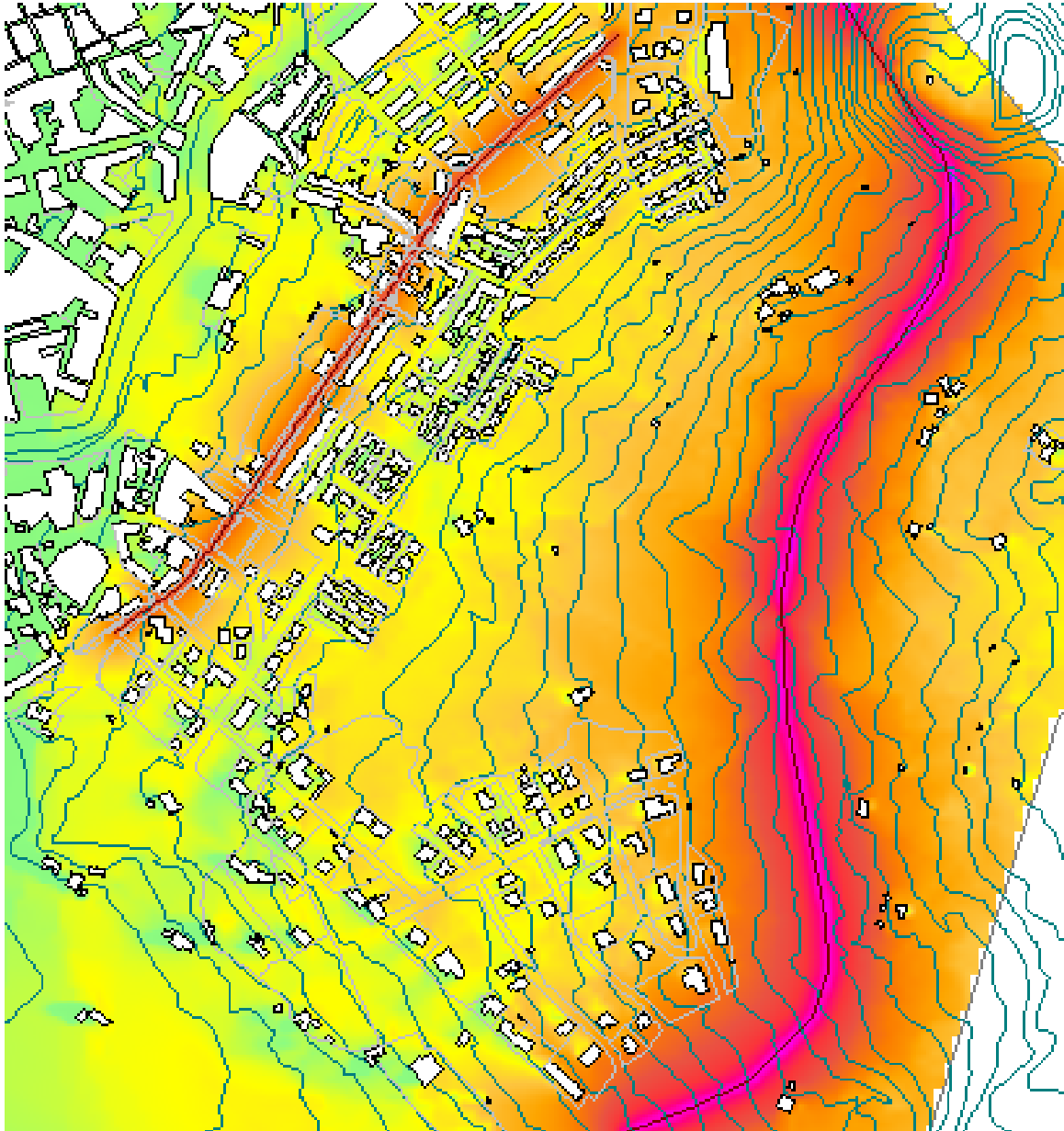


Figura 62. Mapa acústic diürn de la situació actual amb un vial alternatiu

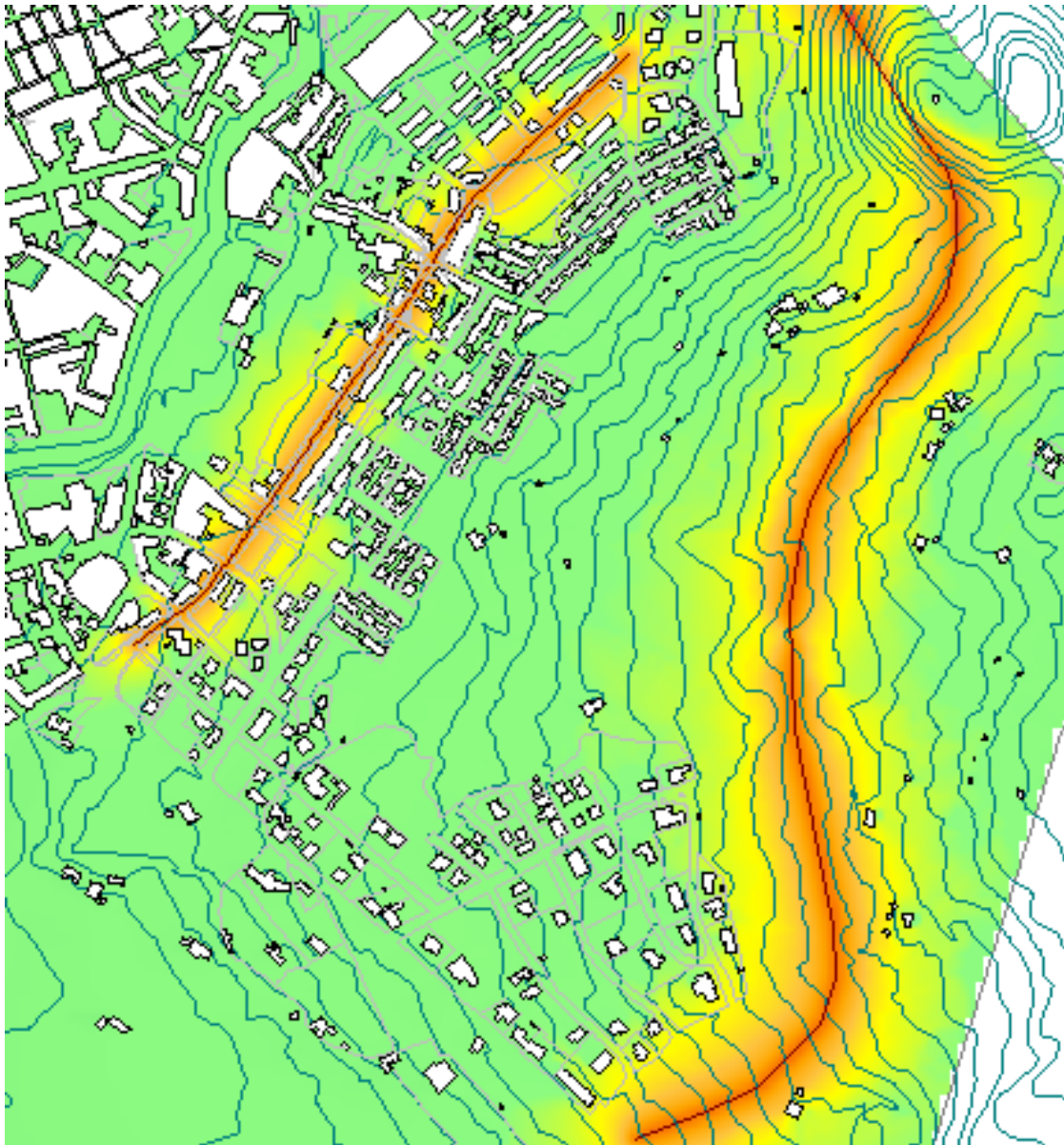


Figura 63. Mapa acústic nocturn de la situació actual amb un vial alternatiu

Tal i com es pot veure en les figures anteriors l'infraestructura que té més importància en el mapa és el vial alternatiu, quedant com a segon terme l'Avinguda Sant Jordi.

Es pot veure també que l'eix de la nova infraestructura hi predomina la tonalitat de color rosa, i no pas la tonalitat de color vermell com passava amb l'Avinguda en l'estat actual.

Aquest fet es pot explicar perquè tot i que el volum de trànsit només hagi variat en un 25% respecte l'Avinguda, la velocitat que es permet de circulació també ha variat de manera considerable passant dels 50 km/h als 80 km/h.

Per a fer un anàlisi més detallat si de les zones més importants dividirem el mapa anterior en un mapa de la pròpia Avinguda Sant Jordi i un mapa del tram que pot afectar a més veïns de la zona. Aquest anàlisi es farà sempre en horari diürn.

Començant per l'Avinguda Sant Jordi, una ampliació d'aquest s'obté la següent figura:

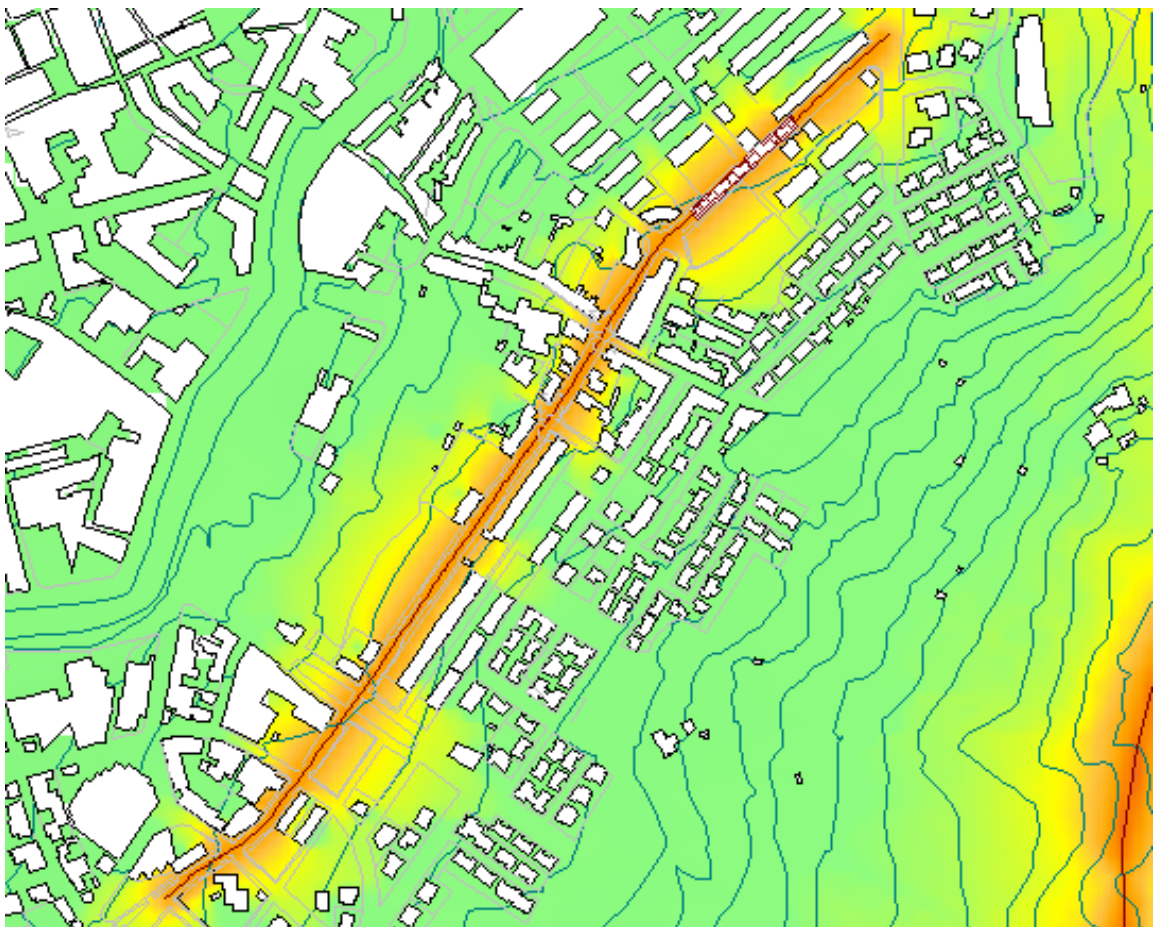


Figura 64. Mapa acústic de l'Avinguda Sant Jordi amb el vial alternatiu

Es pot observar que si comparem aquest mapa amb el mapa de la Figura 64 la tonalitat de colors ha variat, la qual cosa significa que el nivell sonor que hi haurà en aquest cas serà bastant més inferior que en la situació actual.

Entrant en detalls es pot veure que els edificis de primera línia (Figura 26) que a la situació actual tenien un nivell acústic de 72 –73 dBA si s'apliqués aquesta hipòtesis tindrien un nivell sonor molt menor, de l'ordre de 60 dBA aproximadament.

La següent figura mostra un edifici de primera línia:

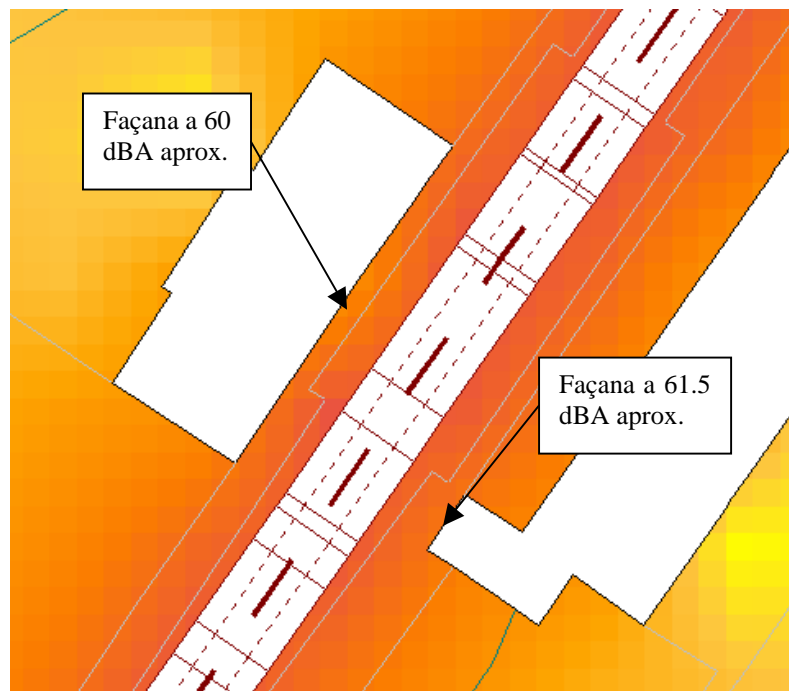


Figura 65. Mapa acústic d'un edifici de primera línia d'un tram normal amb vial alternatiu

Podem veure que realment la millora en el nivell sonor és de 12 dBA aproximadament comparat amb la situació actual.

Per tant, mirant els edificis de primera línia de la situació actual i de la situació amb el vial alternatiu podem afirmar que la millora entre les dues situacions està entre els 10 dBA i els 12 dBA depenent de la zona.

En edificis de segona línia el mapa acústic és el següent:

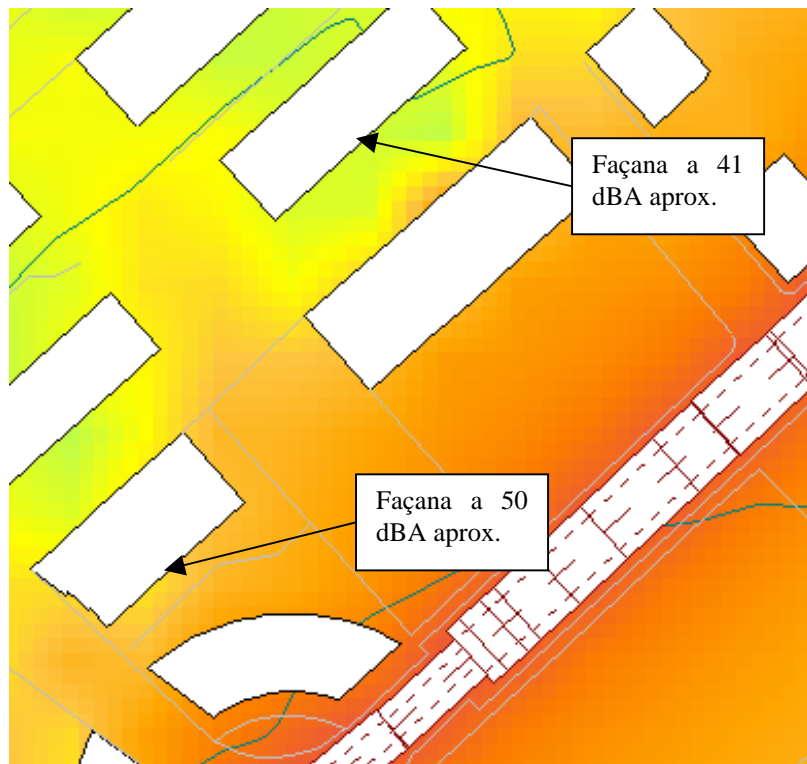


Figura 66. Mapa acústic d'un edifici de primera línia d'un tram normal amb vial alternatiu

En edificis de segona línia la disminució del nivell sonor no és tant elevada, aquesta disminució dependrà de la distància en què estiguin ubicats els edificis del focus emissor i dels obstacles que tinguin al davant, per tant, quan més es presentin aquestes situacions menys diferència hi haurà entre l'estat actual i l'estat amb un vial alternatiu.

Aquesta conclusió és aplicable a la resta d'edificis més allunyats de la segona línia ja que llavors la diferència varia entre 1 dBA i 3 dBA.

Així doncs en el cas de l'anàlisi de l'Avinguda Sant Jordi amb un vial alternatiu en cap cas supera un nivell acústic de 65 dBA, la qual cosa compliria amb la normativa esmentada en l'apartat 2.4.6 d'aquesta memòria ja que els límits d'atenció, per ser infraestructura anterior a la normativa, són de 65 dBA en el cas més desfavorable de consideració A.

El problema després a plantejar-se és un altre, ja que tot i que s'hagi solucionat el problema acústic en l'Avinguda Sant Jordi el que no s'ha de permetre és que el problema

s'origini en un altre zona. Per aquest motiu s'analitzarà com el vial alternatiu afecta als veïns més propers.

Tal i com es pot observar en la Figura 65 els trams més conflictius del pas de la nova infraestructura són tres zones determinades, aquests zones venen marcades en la següent figura:

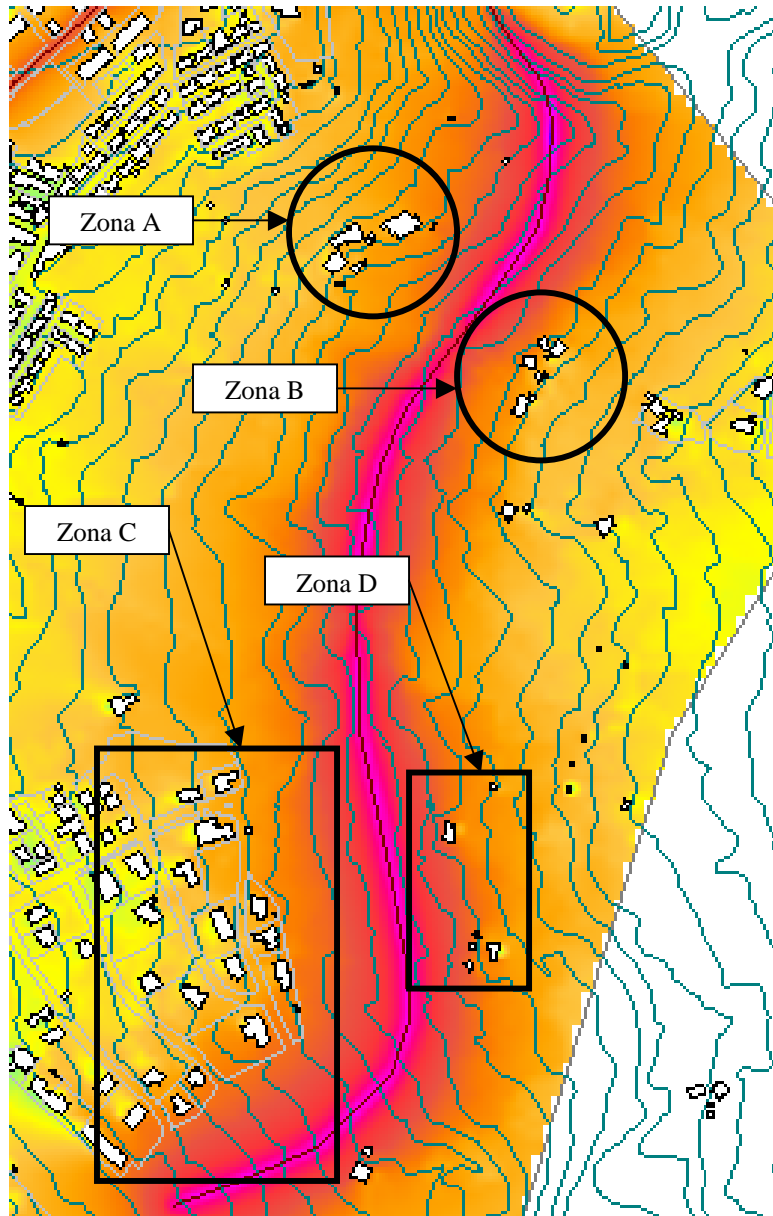


Figura 65. Mapa acústic del vial alternatiu

Com es pot observar les tres zones més conflictives són les més properes al vial alternatiu i les que tenen una part dins la zona de color vermell.

Seguidament s'analitzarà com afecta el vial cada zona i s'intentarà donar solucions en cas que els nivells acústics sobrepassin els límits d'immissió establerts per la Llei.

- Zona A i zona B

S'analitza la zona A i la zona B alhora perquè pràcticament estan sotmesos al mateix nivell de soroll i les millores a aplicar poden ser les mateixes.

La figura que mostra els nivells de soroll dels edificis és la següent:

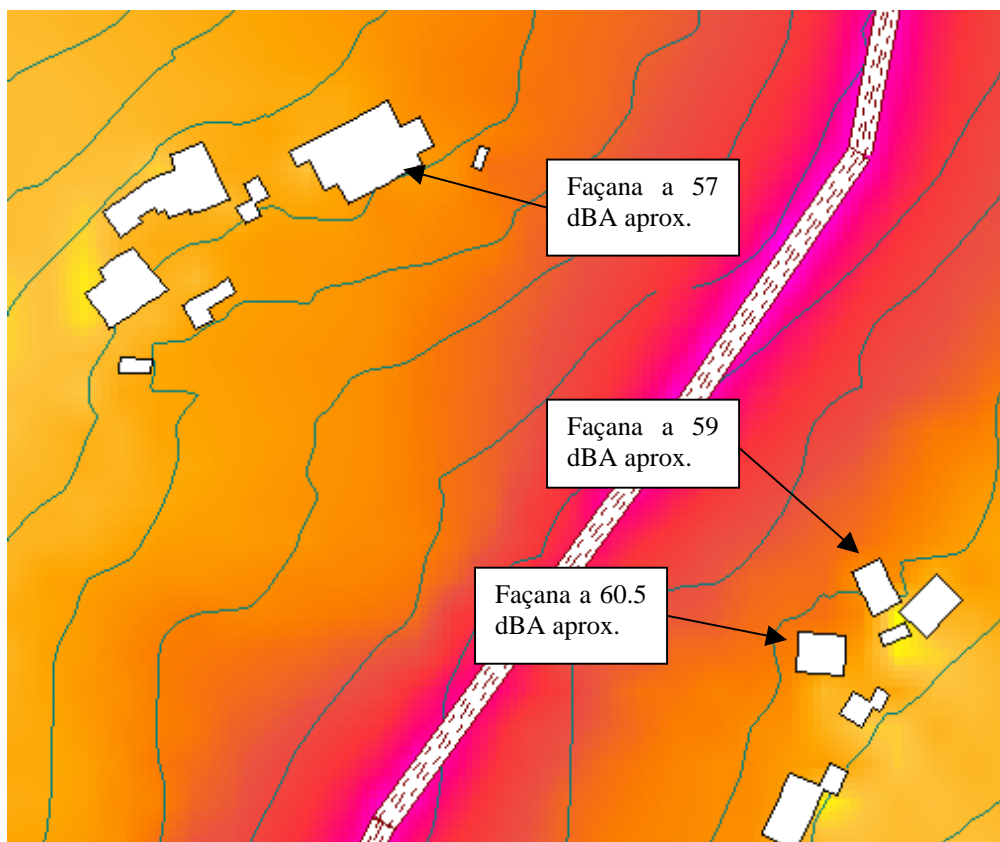


Figura 66. Mapa acústic de la zona A i de la zona B

Es pot observar que el valor màxim que hi ha de nivell acústic és de 60.5 dBA. Aquest fet és degut a que els edificis ja estan situats a una certa distància i com ja s'ha dit anteriorment, a més distància el nivell de soroll disminueix.

No obstant, pel fet de ser una infraestructura de nova construcció els límits permesos d'immissió són, en el cas més desfavorable de consideració A, de 60 dBA. Per tant els

valors que es poden observar en la Figura 66 estan bastant al límit. Ara bé, la construcció d'aquest vial alternatiu no causaria cap mena de problema en els edificis de la zona ja que de la manera com està situada aquesta nova infraestructura li podria ser perfectament col·locada una sèrie de pantalles acústiques per tal de reduir l'impacte acústic.

També recordar que la norma hi ha un apartat que diu que es pot disminuir entre 3 i 5 dBA els valors acústics.

- Zona C i zona D

S'analitza la zona C i la zona D alhora perquè pràcticament estan sotmesos al mateix nivell de soroll i les millores a aplicar poden ser les mateixes.

La figura que mostra els nivells de soroll dels edificis és la següent:

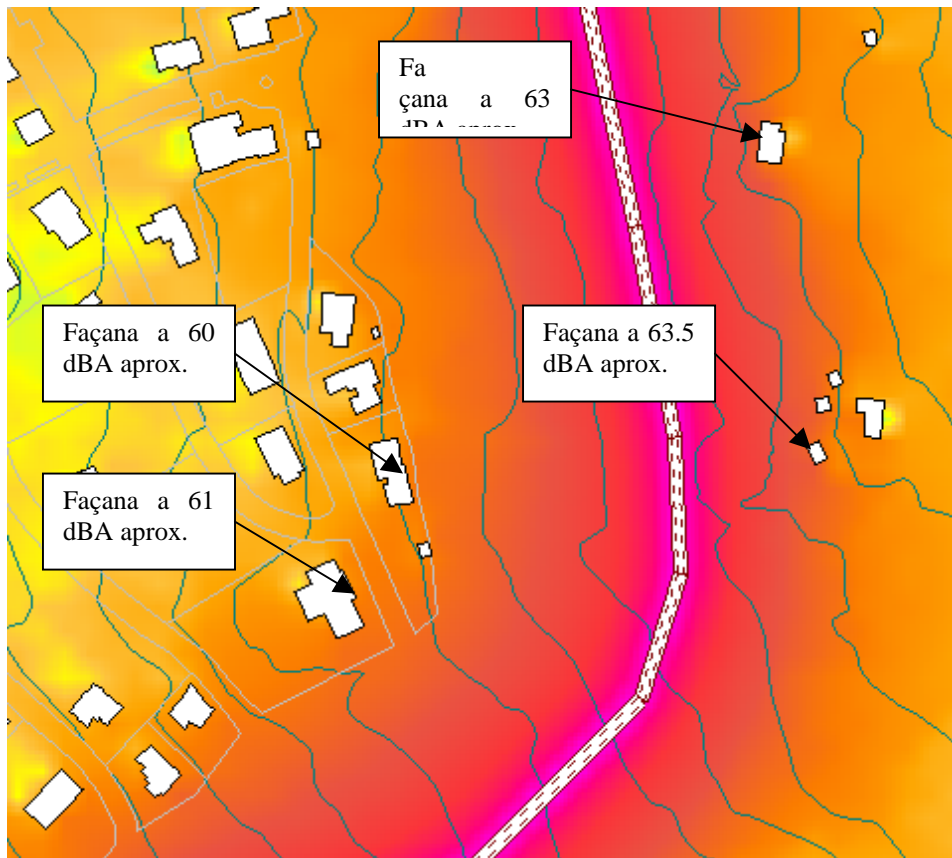


Figura 67. Mapa acústic de la zona C i de la zona D



Es pot observar que els nivells acústics han augmentat respecte les zones A i B, aquest fet és degut a que els edificis estan a menys distància del focus emissor. En aquestes zones hi ha edificis sotmesos a valors superiors a 60 dBA, valor límit d'immisió per edificis considerats com a A en cas més desfavorable, i que s'hauria de veure quina solució hi pot haver.

Igualment que les altres dues zones comentades anteriorment, l'aplicació de pantalles acústiques faria disminuir el nivell de soroll.

També recordar que la norma hi ha un apartat que diu que es pot disminuir entre 3 i 5 dBA els valors acústics.

A més a més, s'ha fet l'anàlisi considerant el cas més desfavorable que és considerar aquestes zones com a zones de sensibilitat alta, tipus A, no obstant, aquestes zones tal i com diu l'article 12 de la llei es consideren zones de sensibilitat mitja, tipus B, i per tant, són zones que poden arribar fins a uns límits de 65 dBA.



3.- RESUM DEL PRESSUPOST

El pressupost de realització d'aquest projecte suma la quantitat de **QUATRE MIL SET-CENTS CINQUANTA-DOS EUROS AMB SEIXANTA CÈNTIMS (4.752,60€)**, sumant el 12% de benefici industrial i el 16 % d'IVA, s'obté un pressupost final de **SIS MIL CENT SETANTA-QUATRE EUROS AMB CINQUANTA-VUIT CÈNTIMS (6.174,58€)**.

Sr.Gerard Pons Bosch

Girona, a 12 de gener de 2006



4.- CONCLUSIONS GENERALS

- La presa de mesures experimentals es poden fer en qualsevol hora indistintament dins de l'horari diürn.
- El model generat amb el programa CADNA simula correctament la situació real de l'Avinguda Sant Jordi d'Olot, degut a que les diferències entre els valors obtinguts per simulació i els valors reals mesurats són mínimes.
- L'Avinguda Sant Jordi és una infraestructura construïda amb anterioritat a l'entrada en vigor al Juliol del 2002 de la Llei de Protecció Contra la Contaminació Acústica de la Generalitat de Catalunya (Llei 16/2002), per la qual cosa els valors de soroll generats per aquesta entren dins els límits permesos per aquesta Llei.
- Aquesta infraestructura, tot i complir amb la normativa vigent, presenta uns nivells acústics molt elevats, que si fos de nova construcció (posterior al Juliol del 2002) els nivells de soroll estarien per sobre els límits permesos per la Llei 16/2002.
- Les zones més crítiques són tots els edificis situats a la primera línia de l'Avinguda, els quals són els que reben més directament l'impacte acústic que emet l'infraestructura. En canvi, els edificis de segona línia i les posteriors el nivell acústic a què estan sotmesos disminueix significativament.
- Les mesures de millora que es podrien aplicar a l'Avinguda Sant Jordi per tal de reduir el soroll són l'aplicació d'asfalt sonoreductor o asfalt porós (disminució d'uns 3 dBA aproximadament), la restricció del pas de vehicles pesats (disminució d'uns 3 dBA aproximadament), combinació d'aplicació d'asfalt porós i restricció de vehicles pesats (disminució d'entre 3 i 6 dBA aproximadament) i la reducció de la velocitat de circulació de 50 km/h a 40 km/h (disminució d'uns 4 dBA aproximadament).
- La restricció del pas de vehicles pesats és una millora poc probable pel fet de no disposar de rutes alternatives.



- La disminució de la velocitat de circulació de 50 km/h a 40 km/h també és una mesura difícil d'aconseguir.
- Les millores que es poden aplicar en aquesta infraestructura és cert que produeixen una millora acústica, no obstant, els nivells de soroll que hi haurien continuarien sent molt elevats i per sobre dels límits permesos per la Llei 16/2002 per a infraestructures de nova construcció.
- La única opció per reduir significativament els nivells de soroll que l'Avinguda Sant Jordi emet és la de desviar el trànsit per un altre costat. La hipòtesi estudiada que contempla una ruta per la part superior de l'Avinguda on el nombre d'edificis és mínim, fa disminuir el nivell de soroll de l'Avinguda Sant Jordi en uns 12 dBA, la qual cosa fa que els nivells acústics es puguin considerar bastant acceptables i en conseqüència que la Llei 16/2002 es compleixi.
- La construcció d'una nova infraestructura es creu improbable pel fet de que la majoria del territori per on es podria fer passar la ruta té consideració de Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa (PNZVG).

Sr. Gerard Pons Bosch

Girona, a 12 de gener de 2006



5.- LLISTA DE DOCUMENTS

Aquest projecte està format per la següent relació de documents:

1. MEMÒRIA

2. ANNEXES
 - 2.1.- Annex A: Teoria del soroll
 - 2.2.- Annex B: Sonòmetre CESVA SC-20c
 - 2.3.- Annex C: Punts de mesura
 - 2.4.- Annex D: Recull fotogràfic
 - 2.5.- Annex E: Pressupost



6.- BIBLIOGRAFIA

- Ajuntament de Barcelona *Fitxa de sostenibilitat 15: Paviment sonoreductor*
Ajuntament de Barcelona, Sector de Manteniment i Serveis. Barcelona; 2001.
- Buna, B. *Some Characteristics of Noise from Single Vehicles*
Dins Nelson P. editor, Transportation noise reference book, Butterworths & Co. New York; 1987.
- CADNA *CADNA 3.5 User Manual*
Datakustik GmbH. Greifenberg; 2005.
- CESVA *Manual de usuario SC-30 (sonòmetre)*
DICESVA, S.L. Barcelona; 2000.
- Crocker, Malcom J. *Handbook of Acoustics.*
John Wiley & sons, Inc., 1998.
- Ford, R.D. *Physical assessment of transportation noise*
Dins Nelson P. editor, Transportation noise reference book, Butterworths & Co. New York; 1987.
- Generalitat de Catalunya *Llei de protecció contra la contaminació acústica*
Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient. Barcelona; 2002.
- Generalitat de Catalunya *Ordre de 30 de juny de 1999, per la qual es regula el control metrològic sobre els instruments destinats a mesurar els nivells de so audible*
Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient. Barcelona; 1999.



- Julià Riera, Narcís *Caracterització acústica de vehicles segons les condicions d'operació* (Julià Riera, Narcís).
Universitat de Girona. Projecte final de carrera.
Convocatòria de Gener del 2005.
- Llinares, J. *Acústica arquitectónica y urbanística* (Llinares J., Llopis A., Sancho J.)
Universitat Politècnica de València, Servei de Publicacions. València; 1996.
- Marquès Thomas, Lluís *Elaboració del mapa acústic de trànsit de la ciutat de Girona* (Marquès Thomas, Lluís).
Universitat de Girona. Projecte final de carrera.
Convocatòria 2005.
- Querol i Noguera, J.M. *Manual de mesurament i avaluació del soroll*
Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient. Barcelona; 1994.
- WG-AEN *Good practice guide for strategic noise mapping and the production of associated data on noise exposure, Version 1*
European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise. 2003.



AGRAÏMENTS

El present projecte no hagués estat possible sense el suport i l'ajuda de varies persones. Les mostres d'agraïment van dirigides a:

- Als meus pares, per la vida que tinc i per que sense ells res no hauria estat possible.
- A l'Àlex Deltell, per les estones de dedicació, els consells i el suport que tingut.
- A l'Elisa, per ajudar-me i entendre'm.
- A tots els meus amics i els companys de pis, especialment en Miquel per ser la persona que és.
- A totes les persones que d'alguna manera, directa o indirectament, han col·laborat per què aquest projecte sigui realitat.



ANNEX A: TEORIA DEL SOROLL

ANNEX A: TEORIA DEL SOROLL

A.1.- SO I SOROLL

Al Diccionari de la Llengua Catalana de l'Institut d'Estudis Catalans publicat el 1995, s'hi troben les següents definicions de so i soroll:

- So: Impressió produïda en l'òrgan de l'oïda per les vibracions elàstiques d'un cos que es propaguen en tots els medis materials en forma d'ones.
- Soroll: Conjunt de fenòmens vibratoris, generalment de l'aire, que són percebuts pel sistema auditiu i que provoquen en l'ésser humà, sota certes condicions, una reacció de rebuig.

Així doncs, qualsevol soroll és un so, i un so pot ser percebut com a soroll o no depenent del receptor. En general, els sons intermitents i d'impacte causen més molèstia que els continus. Per exemple el so que fa un pianista és per a ell música, però pel veí que viu al costat pot ser percebut com un so molest, és a dir, un soroll.

A.2.- PROPAGACIÓ DEL SO

Les ones sonores es propaguen en qualsevol medi que tingui massa i elasticitat. Per tant, no es propaguen en el buit.

A.2.1.- TIPUS DE TRANSMISSIÓ

Entre els medis on si es propaga el so, es diferencia entre dos tipus de transmissió:

- Transmissió aèria: propagació del so a través de l'aire. En l'aire, l'energia de les ones sonores es propaga a una velocitat d'uns 340 m/s.
- Transmissió per estructura: propagació d'ones des de la font sonora a través dels elements sòlids o líquids que la suporten o estan en contacte amb ella. Les parets o els elements sòlids i líquids afectats per aquest tipus de transmissió entren en vibració i a la vegada originen una radiació de so aèria.



A.2.2.- ELEMENTS QUE AFECTEN LA TRANSMISSIÓ DEL SO

S'explica només el cas de la transmissió aèria, ja que és el que apareix en aquest projecte.

En la transmissió de les ones sonores en l'aire lliure existeixen elements que modifiquen la propagació de les ones sonores. En condicions sense cap mena d'interacció l'únic element que afectaria la propagació de les ones sonores seria l'atenuació d'aquestes produïda per la distància.

Existeixen però, diferents elements que provoquen una atenuació o un increment del nivell de les ones sonores. Entre aquests factors trobem: les reflexions degudes al tipus de terreny, les atenuacions degudes a edificis que s'interposen entre la font sonora i el receptor, la vegetació i les condicions atmosfèriques.

Les ones sonores reflectides, en combinar-se amb l'ona directa que arriba de la font sonora al receptor, poden ocasionar interferències i es poden produir reduccions de nivells sonors. Aquests fenòmens depenen de l'angle de reflexió i de la diferència de recorregut entre l'ona reflectida i la directa, i són més acusats en el cas de terrenys tous i porosos.

Les reflexions degudes a edificis incrementen el nivell de l'ona directa, però si l'edifici s'interposa entre la font sonora i el receptor, hi ha reducció del so per l'efecte pantalla. La vegetació actua d'una manera similar als edificis, encara que d'una forma menys acusada.

Pel que fa a les condicions meteorològiques és especialment important el factor del vent, que pot atenuar o incrementar el nivell de so depenent de si va en contra o a favor. És a dir, si el vent va en la direcció de la font emissora al receptor, es produeix un increment del nivell sonor i viceversa. L'atenuació o reforçament del nivell sonor produït pel vent pot ser important, arribant a valors de $20 \div 30$ dBA/km, per velocitats del vent de $10 \div 20$ km/h.

A.3.- MESURA DEL S0 I ESCALA DECIBÈLICA

A.3.1.- NIVELL DE PRESSIÓ SONORA

La magnitud utilitzada per avaluar la pertorbació de l'estat d'equilibri del medi on es propaga l'ona sonora és la pressió sonora, que és la variació de pressió per sobre o per sota de la pressió atmosfèrica. La pressió sonora es mesura en unitats del sistema internacional (SI): newtons per m² (N/m²) o pascals (Pa); essent 1 N/m² l'equivalència a 1 Pa.

Les pressions sonores són molt petites en comparació amb la pressió atmosfèrica, que és de 101.300 N/m² al nivell del mar. Per posar algun exemple, la variació de la pressió atmosfèrica que origina un carrer molt sorollós és d'uns 0,2 N/m², i la que provoca l'enlairament d'un avió a 25 metres de distància, d'uns 200 N/m².

El llindar d'audició, és a dir, el nivell mínim de pressió sonora d'un so per tal que aquest sigui audible, és de 0,00002 N/m², i el llindar del dolor, en què la pressió sonora és tant elevada que arriba a fer mal al timpà, és d'uns 20 N/m².

Entre el valor mínim i el màxim de l'escala de pressions sonores a la qual el sistema auditiu humà és sensible hi ha una relació d'1 a 10⁶, per la qual cosa utilitzar una escala lineal per representar tot el rang de valors és inviable. D'altra banda, l'oïda humana no respon linealment als estímuls que rep, sinó que ho fa d'una manera logarítmica. És a dir, que al doblar la pressió sonora no es dobla la pressió sonora que sentim.

Per aquests dos motius exposats, és recomanable l'ús d'una escala logarítmica per representar els valors de pressió sonora. Aquesta escala logarítmica es construeix de manera que el 0 correspon amb el llindar de percepció (0,00002 N/m²). Llavors, dividint els valors de pressió sonora pel llindar de percepció i després aplicant logaritmes, s'obté una escala que va entre 0 i 6; essent 6 el valor corresponent a una pressió sonora de 20 N/m² (llindar del dolor).

Per més comoditat es treballa amb una escala més gran, que s'obté multiplicant per 20 els valors de l'escala logarítmica inicial. La nova escala es mou entre valors de 0 i 120, i



s'anomena escala decibèlica, expressant-se els valors en decibels (dBA). En general és molt més habitual referir-se al nivell de pressió sonora en dBA que en N/m^2 .

Per tal de trobar la pressió sonora en escala decibèlica s'utilitza la següent equació:

$$L_p = 10 \cdot \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0}$$

L_p : nivell de pressió sonora (dBA)
 p : pressió sonora (N/m^2)
 p_0 : pressió sonora de referència = $2 \cdot 10^{-5} N/m^2$

Equació 1. Càlcul del nivell de pressió sonora en escala decibèlica

En l'escala decibèlica, 1 dBA representa un canvi en la sensació sonora igual en tota l'escala i equival al canvi més petit que l'oïda humana pot apreciar. Per tal de doblar la pressió sonora es necessita un augment de 6 dBA, però per produir un so amb el doble de sonoritat cal un augment de 10 dBA. A continuació es presenta una taula on es poden veure diversos sons i els seus respectius nivells de pressió, tant en dBA com en N/m^2 :

dBA	N/m^2	NATURALS	HUMANS	DANYS
180	20.000		Míssils	Greu dany auditiu
160	2.000		Llançament coet especial	
150	630		Esclat sònic	
140	200		Explosió barrinada, avió	
130	63	Erupció volcànica	Enlairar-se reactor, canó	
120	20	Cascada d'aigua	Martell pneumàtic, concert de rock, màxim veu humana	Perill de sordesa temporal, mal de cap, nàusees
110	6,3	Huracà	Serra mecànica, discoteca	
100	2	Tempesta forta	Botzina de cotxe, arma de foc	
90	0,63	Tempesta	Túnel de tren, estació de metro, moto amb silenciador.	
80	0,2	Ones del mar	Tractor, despertador, conversa a 15 cm	Sensació d'aclaparament
70	0,063	Pluja	Tràfic, grans magatzems, restaurant, TV, ràdio	
60	0,02	Raucar de granota	Aire condicionat, conversa normal, botiga	Possible cansament
50	0,0063	Ruixim	Ràdio baixa, oficina, teatre	
40	0,002	Piular d'un ocell	Parlar baix, casa de pagès, jardí	Quietud
30	0,00063	Brisa	Xiuxiueig, dormitori, biblioteca	
20	0,0002	Moviment de fulles	Relotge, estudi d'emissora, hospital	
10	0,000063	Vol d'un mosquit	Ordinador, nit al camp, murmuri a 1m	
0	0,00002		Llindar d'audició	

Taula 1. Nivells de pressió sonora

A.3.2.- NIVELL DE POTÈNCIA SONORA

Per tal de caracteritzar les fonts sonores, més que utilitzar el nivell de pressió sonora, s'utilitza el nivell de potència sonora. A tota font sonora se li pot associar una potència sonora, que és l'energia sonora que emet per unitat de temps. Per tant, es tracta d'una propietat fonamental i exclusiva de la font i que la caracteritza en termes absoluts.

La potència sonora d'una font s'expressa en watts (W), però tal com passa amb la pressió sonora, a causa del gran rang de valors, s'utilitza també una escala logarítmica per expressar-la. En aquest cas es pren com a origen d'aquesta escala un valor de potència sonora de 10^{-12} W. Es tracta també d'una escala decibèlica, expressant-se els valors en decibels (dBA).

Per tal de trobar la potència sonora en escala decibèlica utilitzem la següent equació:

$$L_w = 10 \cdot \log \frac{W}{W_0}$$

L_w : nivell de potència sonora (dBA)

W : potència sonora (W)

W_0 : potència sonora referida a 10^{-12} watts (W)

Equació 2. Càlcul del nivell de potència sonora en escala decibèlica

El nivell de potència sonora representa la totalitat d'energia sonora en dBA que una font determinada pot radiar. En canvi, el nivell de pressió sonora representa el nivell del so en un punt concret de l'espai a una distància determinada de la font o en un punt determinat d'un recinte. Per tant, quan ens referim al nivell de pressió sonora, cal especificar les circumstàncies de la font i les característiques de la distància i de l'entorn per tal que les dades tinguin un significat correcte.

A.3.3.- FREQUÈNCIA, CORBES DE PONDERACIÓ I BANDES D'OCTAVA

El so és el resultat de la combinació de tons purs d'ones de diferents freqüències. Al analitzar un so per freqüències es busca conèixer la contribució de tons diferents per saber-ne la composició.

Els diferents tons es caracteritzen pel nombre d'oscil·lacions per segon. La unitat del nombre d'oscil·lacions/s és el hertz (Hz), essent 1 Hz una oscil·lació per segon.

El sistema auditiu humà és capaç de captar freqüències compreses entre 20 i 20.000 Hz, però no hi respon de forma lineal. L'oïda humana filtra o atenua més els tons greus (freqüències baixes) que els aguts (freqüències altes). Com a valors indicatius, es considera que les freqüències inferiors a 250 Hz són les freqüències baixes, les d'entre 500 i 1.000 Hz les mitjanes, i les de més de 1.000 Hz les altes.

Per aquest fet, originalment es van dissenyar quatre corbes de ponderació diferents. Per una banda les corbes A, B, C i per l'altra la corba D, especialment dissenyada per la mesura del soroll d'avions.

Les corbes A, B i C van ser concebudes per tal de representar que l'oïda humana, per diferents nivells físics del so, té més sensibilitat per un tipus concret de freqüència. Per exemple, a nivells molt baixos, només són audibles els sons de freqüències mitjanes, mentre que a nivells alts totes les freqüències s'escolten més o menys amb la mateixa sonoritat. Llavors, la corba de ponderació A s'aplicaria als sons de baix nivell (uns 40 dBA), la corba B als de nivell mig (uns 70 dBA) i la C als de nivell alt (uns 100 dBA).

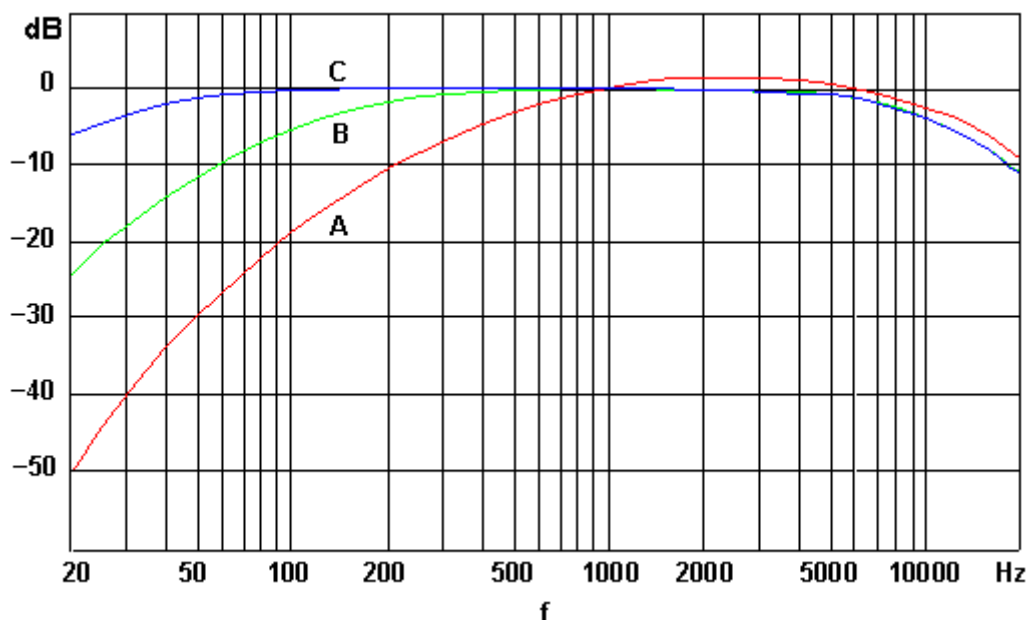


Figura 68. Corbes de ponderació A, B i C en el rang audible per l'home

Al final, tot i ser dissenyada originalment per mesurar sons de baix nivell, s'ha acabat imposant i adoptant internacionalment, la corba o filtre A per a tot tipus de mesures, ja que ha donat millors resultats que les corbes B i C en tot el rang de freqüències.

Per això la majoria d'equips de so incorporen el filtre A. D'aquesta manera l'equip interpreta el so que capta d'una manera similar a com ho fa el sistema auditiu humà.

Avui en dia doncs, les úniques corbes que encara s'utilitzen són les corbes A i D. La primera per simular una corba d'atenuació semblant a la corba de resposta de l'oïda. I la segona per mesurar el soroll produït per avions.

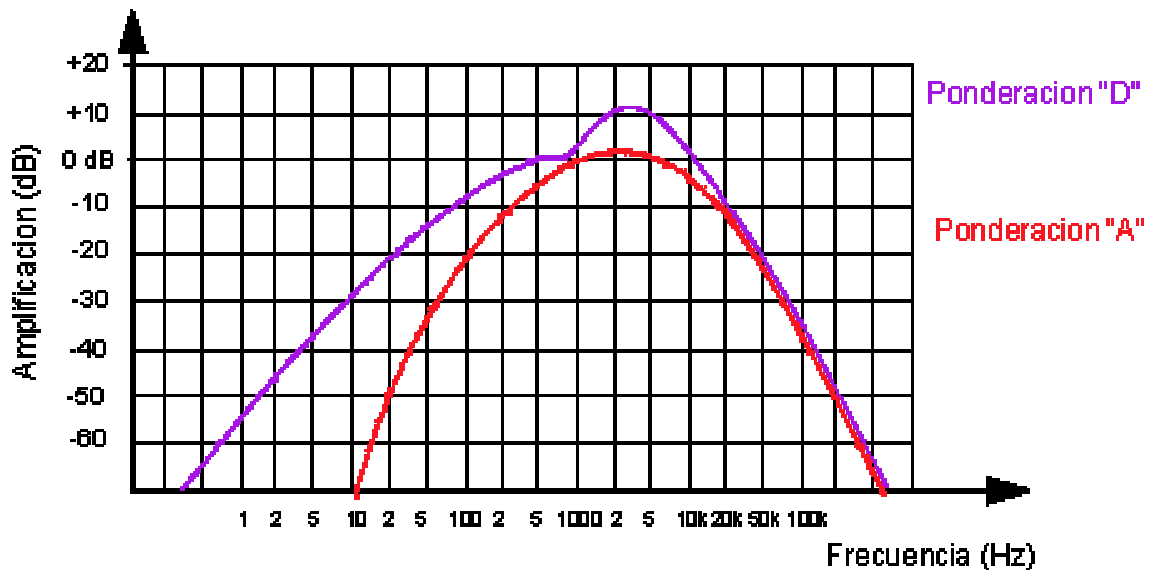


Figura 69. Corbes de ponderació A i D

Alguns equips de mesura també permeten l'opció de fer mesures de so lineals, és a dir, sense aplicar-hi cap corba de ponderació, per tal d'enregistrar el so original sense introduir-hi modificacions i poder fer anàlisis posteriors.

En tot cas, quan es fan lectures s'ha d'indicar clarament de quina forma han estat fetes. Per exemple, en cas d'haver estat fetes amb el filtre A, i haver obtingut un valor de X, el resultat es pot expressar com a X dBA o, d'acord amb les normes ISO, com a L_{pA} X.

La major part de mesures de so es resolen amb la utilització del filtre de ponderació A, però a vegades es fa necessari conèixer l'espectre de freqüències.

Per tal d'analitzar l'espectre del camp audible entre 20 i 20.000 Hz s'ha dividit aquest en deu bandes de freqüències. Aquestes bandes són consecutives, ocupen una amplada de

freqüències de l'espectre anomenat banda d'octava i cada banda s'anomena pel valor de la freqüència central. Aquest valor està normalitzat i té com a característica que cadascun és el doble de l'anterior i la meitat del següent.

CENTRE DE BANDA Hz	ATENUACIÓ CORBA A dBA
31,5	-39,4
63	-26,2
125	-16,1
250	-8,6
500	-3,2
1.000	0
2.000	+1,2
4.000	+1
8.000	-1,1
16.000	-6,6

Taula 2. Bandes d'octava i atenuació del filtre A al centre de la banda

En el cas d'haver de fer un anàlisi per freqüències del soroll ambiental, en general és suficient analitzar el nivell a cada banda d'octava entre la dels 63 Hz i la dels 4.000 Hz.

A.4.- PARÀMETRES DE MESURA

La mesura instantània del nivell de pressió sonora (L_p o L_{pA} si s'aplica la corba de ponderació A) és d'utilitat per realitzar mesures de sorolls continus com, per exemple, el soroll d'un ventilador.

Ara bé, hi ha molts sorolls que tenen una gran variació temporal. És per això que existeixen altres paràmetres de mesura que permeten descriure més fidelment aquest tipus de sorolls.

A.4.1.- NIVELL SONOR EQUIVALENT: $L_{EQ,T}$

Molts sorolls industrials, així com el soroll provocat pel trànsit, són molt variables, fluctuant considerablement al llarg del temps. Per tal de representar aquest soroll amb un sol valor representatiu, s'utilitza el nivell sonor equivalent o $L_{eq,T}$. Aquest paràmetre



permet referir un soroll variable, en un interval de temps T, al nivell de pressió sonora equivalent al d'un soroll continu.

L'expressió que permet calcular el nivell sonor equivalent, partint d'interval de temps de soroll continu o variable, és la següent:

$$L_{eq,T} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N 10^{L_i/10} \right)$$

$L_{eq,T}$: nivell sonor equivalent en l'interval T (dBA)
 $1/N$: fracció de temps al nivell L_i ($1/N = X_i$)
 L_i : nivell sonor en cada interval (dBA)

Equació 3. Càlcul del nivell sonor equivalent en escala decibèlica

En cas que la mesura de nivell sonor equivalent es realitzi emprant una corba de ponderació, s'ha d'indicar en l'abreviació $L_{eq,T}$. Per exemple, una mesura realitzada utilitzant la corba de ponderació A, s'expressa com a $L_{Aeq,T}$.

A.4.2.- NIVELLS ESTADÍSTICS: L_N

S'anomenen paràmetres estadístics els nivells sonors que s'han ultrapassat durant un percentatge determinat del temps de mesurament. I es simbolitzen com a L_N , on la N representa el percentatge de temps que la mesura de nivell sonor ha superat un cert nivell de pressió sonora.

Els paràmetres estadístics més utilitzats són: L_1 , L_{10} , L_{50} , L_{90} i L_{99} , però se'n pot calcular qualsevol dels compresos entre $L_{0,1}$ i $L_{99,9}$.

En concret, el nivell L_{90} d'un soroll es coneix com el nivell de soroll de fons, que és un valor de molta utilitat quan s'avalua el soroll ambiental. I els nivells L_1 i L_{10} posen de manifest la importància de les puntes de soroll durant el temps de mesurament. Com més elevats són aquests paràmetres, més nivells puntuals alts hi ha presents durant la mesura.

En cas que la mesura es realitzi emprant una corba de ponderació, aquest fet s'ha d'indicar quan es calculen els nivells estadístics. Per exemple, els nivells estadístics extrets d'una mesura realitzada utilitzant la corba de ponderació A, s'expressaran com a L_{AN} .



A.4.3.- NIVELL DE CONTAMINACIÓ DEL SOROLL: NPL

Aquest índex NPL (Noise Pollution Level), tampoc és exactament una mesura de soroll, sinó que és un intent de valorar el nivell de molèstia generat pel soroll. Per fer-ho, aquest mètode combina el soroll que hi ha a l'ambient amb el grau de regularitat durant el soroll (un soroll és més molest quan més variacions presenta).

Per calcular el NPL s'han d'haver fet les mesures prèvies amb corba de ponderació A.

La definició bàsica és la següent:

$$NPL = L_{eq,T} + 2,56 \cdot \sigma$$

NPL: nivell de contaminació del soroll (dBA)
L_{eq,T}: nivell sonor equivalent (dBA)
σ: desviació estàndard dels nivells instantanis

Equació 4. Càlcul del nivell de contaminació del soroll (NPL) en escala decibèlica

Aquest procediment de mesura de la molèstia del soroll és molt utilitzat als EUA.

Per altra banda, hi ha una altra manera d'obtenir el valor de NPL sense haver d'utilitzar el valor de σ . Aquesta manera és la següent:

$$NPL = L_{eq,T} + a \cdot (L_{10} - L_{90})$$

NPL: nivell de contaminació del soroll (dBA)
L_{eq,T}: nivell sonor equivalent (dBA)
a = 1 segons "D.W. Robinson, 1969"
L₁₀: nivell estadístic 10 (dBA)
L₉₀: nivell estadístic 90 (dBA)

Equació 5. Càlcul del nivell de contaminació del soroll (NPL) en escala decibèlica

A.5.- EQUIPS DE MESURA

A.5.1.- SONÒMETRES

El sonòmetre és l'eina per mesurar el nivell de soroll que hi ha en un lloc i moment determinats, i que permet verificar el compliment de normatives i ordenances sobre soroll.

Un sonòmetre està format per quatre elements principals:

- micròfon
- pre-amplificador
- amplificador
- dispositiu de lectura de dades

D'aquests quatre elements, el més important és el micròfon, ja que és l'element del sonòmetre que capta el soroll. La majoria de micròfons tenen la sensibilitat màxima a incidència frontal (quan el so arriba perpendicular al diafragma del micròfon). És per això que, en cas de conèixer d'on procedeix, es recomana orientar el micròfon cap a la font de soroll. Si, en canvi, es disposa d'un micròfon de resposta màxima a incidència aleatòria, aquest s'ha d'orientar en un angle de 90° respecte a la direcció de la font de soroll.

Els sonòmetres tenen, bàsicament, dos temps d'integració fonamentals, el fast i l'slow. El fast o ràpid té una constant de 125 ms, i l'slow o lent de 1 s. Generalment, quan es fan mesures de soroll ambiental, no es posa el sonòmetre en cap d'aquests temps d'integració sinó que es fa que mesuri directament algun dels paràmetres de mesura anteriorment mencionats (normalment $L_{Aeq,T}$). Però hi ha algunes mesures que, per normativa, exigeixen la utilització d'algun d'aquests temps d'integració. Per exemple, pel control del soroll a la via pública amb vehicle aturat, s'ha d'utilitzar el temps d'integració fast.

Pel que fa al sonòmetre en conjunt, també hi ha diverses classificacions. Cada vegada és més difícil classificar-los per les seves funcions, ja que cada cop hi ha una oferta més gran d'equips que proporcionen unes prestacions o combinacions de prestacions molt variables. En canvi, un paràmetre que sí que permet classificar clarament els sonòmetres és el seu grau de precisió. La norma CEI 651, de la Comissió Electrotècnica Internacional, els diferencia entre quatre tipus:

- Tipus 0: Sonòmetres típicament per l'ús en laboratoris d'acústica; amb un grau de precisió excepcional.
- Tipus 1: Sonòmetres de precisió.
- Tipus 2: Sonòmetres per aplicacions generals.
- Tipus 3: Sonòmetres que permeten només una apreciació de nivell.

Tot sovint les normatives a seguir fixen el tipus de sonòmetre a utilitzar. Si aquest no és el cas, per a tasques d'enginyeria, de verificació d'ordenances i de control de soroll ambiental, és recomanable utilitzar sonòmetres de tipus 1 o 2 i rebutjar l'ús dels de tipus 3.

A.5.2.- CALIBRADORS

Per tal de poder assegurar la fiabilitat del sonòmetre, s'ha de dur a terme un calibratge d'aquest. Hi ha dos tipus de calibratge a fer:

- Calibratge anual: es tracta d'un calibratge complet de l'equip. Aquest calibratge es regeix per l'Ordre del 30 de juny de 1999, per la qual es regula el control metrològic sobre els instruments destinats a mesurar els nivells de so audible (sonòmetres, sonòmetres integradors-mitjanadors i calibradors sonors) a Catalunya. Aquesta ordre prescriu que per a tots aquest aparells, abans de ser posats a la venda, primer ha de ser aprovat el seu model. Un cop fabricat, cada aparell s'ha de sotmetre a una verificació primitiva, per posteriorment ser verificat amb una periodicitat anual. En cas de reparació o modificació dels aparells, aquests han de ser novament verificats. Les verificacions s'han de dur a terme en laboratoris de verificació metrològica autoritzats.



- Calibratge periòdic: per una altra banda és convenient calibrar el sonòmetre abans i després de cada mesurament o sèrie de mesuraments. Per fer-ho s'utilitzen calibradors acústics portàtils. Aquests generen un so estable a un nivell i a una freqüència determinats. Per calibrar es posa el sonòmetre en posició vertical, s'acobla el calibrador al micròfon i s'ajusta la lectura del sonòmetre al nivell patró que genera el calibrador. Generalment la freqüència dels calibradors és de 1.000 Hz, per poder calibrar el sonòmetre amb la corba de ponderació A directament sense fer correccions.

A.5.3.- FILTRES

Existeixen filtres com els de banda d'octava o d'un terç d'octava, que poden o bé ja anar incorporats al sonòmetre o bé acoblar-s'hi quan sigui necessari. Amb aquests filtres, el sonòmetre realitza la lectura successivament per a cada una de les bandes de freqüència.

A.6.- CÀLCULS EN DECIBELS

El decibel és una unitat adimensional logarítmica. Per tant, a l'hora de fer operacions amb decibels, aquestes no es poden fer aritmèticament, sinó que s'han de fer logarítmicament.

Les operacions a fer amb decibels són la suma i la resta. Per fer-ho cal aplicar la fórmula següent:

$$L_x = 10 \cdot \log \left(\sum_{i=1}^N 10^{L_i/10} \right)$$

L_x : valor resultant de la suma (dBA)
 L_i : valors a sumar (dBA)

Equació 6. Suma de N valors en decibels

Aquesta fórmula serveix indistintament per qualsevol dels paràmetres expressats en decibels (pressió, potència, etc).

Si s'entra a analitzar una mica la fórmula es veuen, essencialment, tres coses interessants:

- En cas de tenir varies fonts i una ser molt més important que les altres, el resultat final és molt semblant a la font més important. Per exemple, si es tenen tres fonts, una de 80 dBA, una de 65 dBA i una de 60 dBA, el resultat de la suma és de 80,18 dBA (canvi



més petit que la oïda humana pot apreciar és d'1 dBA). Per tant, a la pràctica, les fonts de 65 dBA i de 60 dBA són despreciables.

- En cas de tenir dues fonts iguals, el nivell s'incrementa en 3 dBA. Per exemple, si hi ha dues fonts de 60 dBA cadascuna, s'obté un nivell de pressió sonora de 63 dBA. És a dir, que doblar el nombre de fonts de soroll de les mateixes característiques només suposa un increment de 3 dBA.
- En cas d'haver de solucionar un problema originat per sorolls de varies fonts, sempre s'haurà de començar actuant sobre la font més important. Per exemple, si hi ha dues fonts de 85 i 80 dBA, es té un nivell total de 86,19 dBA. Si es deixa la font de 85 dBA com estava i s'aconsegueix reduir la de 80 dBA fins als 60 dBA, el nivell total serà de 85,01 dBA, havent-se reduït només en 1,18 dBA. És a dir, que s'ha aconseguit una reducció insignificant. De fet, la reducció mínima que s'ha d'assolir per tal que es pugui començar a apreciar és d'uns 3 dBA.

A.7.- TIPUS DE FONTS DE SOROLL

Les dimensions i les formes de les fonts de soroll influeixen en la manera en què el soroll es distribueix en l'espai. Tenint en compte aquest fet existeixen, bàsicament, tres tipus de fonts de soroll:

- Fonts puntuals
- Fonts lineals
- Fonts superficials

Un emissor, com podria ser una sola màquina, un sol vehicle o un altaveu, és una font puntual. Si la font emissora està formada per múltiples fonts puntuals (com per exemple vehicles en una carretera), es tracta d'una font lineal. I si la font pren forma d'una superfície, com per exemple un gran finestral d'una nau industrial, en què el soroll de la indústria s'irradia a l'exterior a través dels vidres, s'anomena font de superfície.

A.7.1.- FONTS PUNTUALS

A efectes de càlcul es considera que tota l'emissió d'energia sonora de les fonts puntuals està concentrada en un sol punt. Una font d'aquest tipus situada en un espai obert, a l'aire lliure i sense obstacles, radia so amb la mateixa energia sonora en totes direccions (omnidireccionalment). L'energia sonora es propaga en forma d'ones esfèriques que s'atenuen proporcionalment amb la distància.

Per caracteritzar una font puntual cal conèixer la potència sonora de la font o bé el nivell de pressió sonora a una determinada distància. D'aquesta manera es podran calcular els nivells de soroll originats per la font puntual a diferents distàncies. Si es coneix la potència sonora de la font puntual, l'equació per calcular el nivell de pressió sonora a una determinada distància a l'aire lliure és la següent:

$$L_p = L_w - 20 \cdot \log r - 11$$

L_p : nivell de pressió sonora (dBA)
 L_w : nivell de potència sonora (W)
 r : distància (m)

Equació 7. Càlcul de la pressió sonora provocada per una font puntual en l'aire

$$L_p = L_w - 20 \cdot \log r - 8$$

L_p : nivell de pressió sonora (dBA)
 L_w : nivell de potència sonora (W)
 r : distància (m)

Equació 8. Càlcul de la pressió sonora provocada per una font puntual sobre una superfície reflectora

Si no es coneix la potència sonora de la font però si la pressió sonora a una certa distància, es pot calcular el nivell de pressió sonora a una altra distància amb la següent relació:

$$L_{p2} = L_{p1} - 20 \cdot \log \frac{r_2}{r_1}$$

L_{p2} : nivell de pressió sonora a la distància 2 (dBA)
 L_{p1} : nivell de pressió sonora a la distància 1 (dBA)
 r_2 : distància 2 (mateixes unitats que r_1)
 r_1 : distància 1 (mateixes unitats que r_2)

Equació 9. Càlcul de la pressió sonora provocada per una font puntual

A partir d'aquesta equació, s'observa que cada vegada que es dobla la distància entre el receptor i la font sonora, l'atenuació és de 6 dBA ($20 \cdot \log 2 = 6$).

A.7.2.- FONTS LINEALS

Es tracta d'una font sonora situada sobre una superfície dura, que radia so en forma de mig cilindre.

Si es coneix el nivell de pressió sonora a una distància de la font sonora, es pot calcular el nivell de pressió sonora d'un punt a una altra distància aplicant la següent fórmula:

$$L_{p2} = L_{p1} - 10 \cdot \log \frac{r_2}{r_1}$$

L_{p2} : nivell de pressió sonora a la distància 2 (dBA)
 L_{p1} : nivell de pressió sonora a la distància 1 (dBA)
 r_2 : distància 2 (mateixes unitats que r_1)
 r_1 : distància 1 (mateixes unitats que r_2)

Equació 10. Càlcul de la pressió sonora provocada per una font lineal

En aquest cas, cada vegada que es dobla la distància entre el receptor i la font sonora, l'atenuació és de 3 dBA ($10 \cdot \log 2 = 3$).

En el cas de carreteres, autopistes i fonts en línia similars, i considerant altres factors de propagació com ara interferències amb el terra proper, es pot estimar que l'atenuació és lleugerament superior:

$$L_{p2} = L_{p1} - 14 \cdot \log \frac{r_2}{r_1}$$

L_{p2} : nivell de pressió sonora a la distància 2 (dBA)
 L_{p1} : nivell de pressió sonora a la distància 1 (dBA)
 r_2 : distància 2 (mateixes unitats que r_1)
 r_1 : distància 1 (mateixes unitats que r_2)

Equació 11. Càlcul de la pressió sonora provocada per una font lineal tipus carretera

En aquesta situació, cada cop que es dobla la distància entre el receptor i la font sonora, l'atenuació és de 4,2 dBA ($14 \cdot \log 2 = 4,2$).

En el cas de conèixer el nivell de potència sonora de la font lineal (font lineal sobre una superfície reflectora; per exemple, un vial de trànsit), es pot conèixer el nivell de pressió sonora en un punt concret a partir de la següent fórmula:

$$L_p = L_w - 8 - 10 \cdot \log(d) + 10 \cdot \log \left[2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{L}{2 \cdot d} \right) \right]$$

L_p : nivell de pressió sonora (dBA)
 L_w : nivell de potència sonora (dBA)
 d : distància al punt (m)
 L : longitud font lineal (m)

Equació 12. Càlcul de la pressió sonora provocada per una font lineal a partir de les característiques d'aquesta

A.7.3.- FONTS SUPERFICIALS

Es tracta d'un tipus de font sonora que podria ser considerada una barreja de les altres dues, una barreja entre font lineal i font puntual.

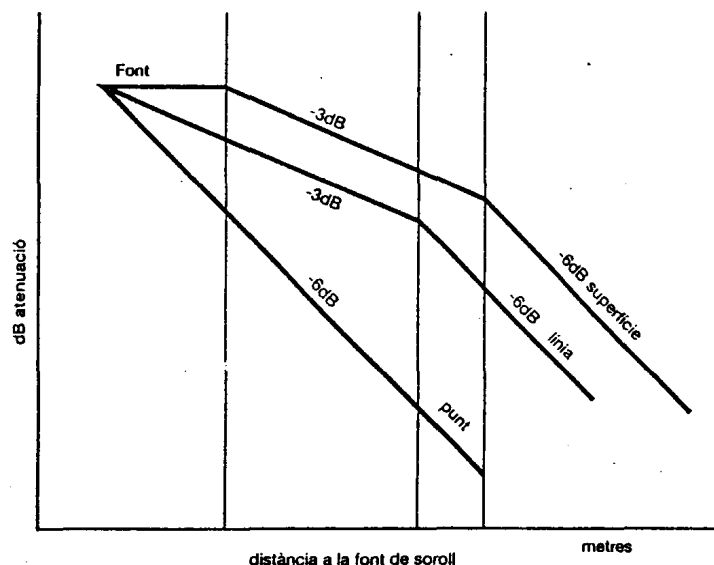


Figura 70. Atenuació amb la distància de les diferents fonts de soroll

A la figura s'observa que, en aquest cas, a distàncies curtes el nivell es manté constant, a partir d'una certa distància la propagació és com la d'una font en línia i, finalment, es comporta com una font puntual.

En general, per tal de determinar el nivell de soroll produït per una font superficial, es sol tractar com si fos una font puntual. A la pràctica es considera que si la distància des d'on es fa la mesura és 3 o més vegades major a la dimensió màxima de la font mesurada, es pot considerar la superfície reduïda a un punt.

Per tant, s'utilitzaran les equacions corresponents a l'apartat A.7.1, corresponent a fonts puntuals (equacions 10, 11 i 12).

A la figura també s'observa que arribat un moment les fonts lineals s'acaben comportant com a fonts puntuals. Però en els casos més habituals de fonts lineals com són carreteres, autopistes, vies de tren i similars, aquesta distància és molt gran (fora de la zona que s'estudia) i per això no s'assumeix un comportament equivalent al d'una font puntual per les fonts lineals.

A.8.- SOROLL DE TRÀNSIT

Del conjunt del soroll ambiental, la major part és generat pel trànsit, aproximadament entre un 80 i un 85 %. És tracta doncs, de la font generadora de molèstia més important de les que es poden trobar en el medi.

En el cas d'una ciutat les principals causes de soroll es mostren en la següent figura:



Figura 71. Causes de soroll en una ciutat

El soroll del trànsit es comporta com una font lineal, però s'ha de tenir en compte que és una font lineal formada per multitud d'elements amb diferents aportacions sonores. Per exemple, a la mateixa velocitat, una motocicleta, un cotxe i un camió, tenen aportacions sonores diferents. Inclús dins la mateixa classe de vehicle, depenent del model, l'estat de conservació, el tipus de conducció, etc. l'aportació sonora també varia.

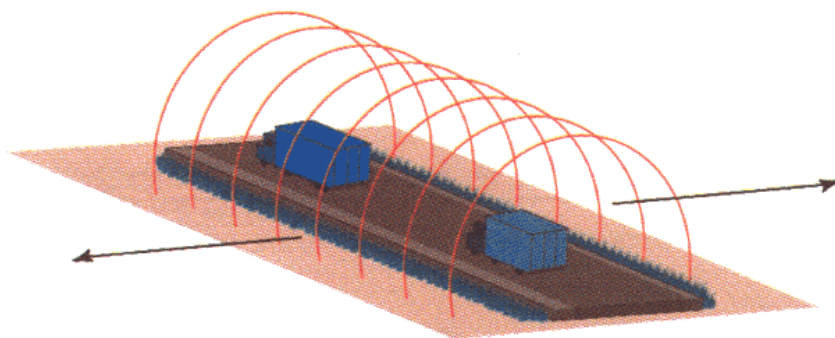


Figura 72. Radiació de so d'una font lineal



A.8.1.- SOROLL GENERAT PER UN VEHICLE

Al considerar un vehicle individualment, el soroll que genera depèn de diversos factors:

- Tipus i classes de vehicle.
- Fonts de soroll dins del vehicle. Estat de conservació del vehicle i els seus components.
- Normatives d'homologació. Quantitat i qualitat de mesures de control del soroll utilitzades en el vehicle.
- Estil de conducció del conductor.
- Estat i tipus de ferm de la carretera.

A.8.2.- TIPUS I CLASSES DE VEHICLES

A efectes de soroll es consideren els vehicles motoritzats dividits en dos grans grups:

- Vehicles pesats: camions, autocars, autobusos, tractors i maquinària.
- Vehicles lleugers: turismes, furgonetes, minibusos, motocicletes i ciclomotors.

De fet, el factor que diferencia un vehicle lleuger d'un vehicle pesat no és qualitatiu, sinó quantitatiu. El límit entre un vehicle lleuger i un de pesat es situa en la capacitat de càrrega total del vehicle. Així doncs els vehicles lleugers són aquells que sumant el pes del vehicle i la càrrega màxima permesa no superen les 3.5 T; i, els pesats, els que si les superen.

A efectes de soroll, es pot dir que tant en els vehicles lleugers com en els pesats, la càrrega espectral té una distribució similar, amb predomini de les freqüències baixes i mitges fins a la banda d'octava de 1 kHz. La principal diferència rau en que els vehicles pesats tenen en totes les bandes d'octava nivells de pressió sonora més alts, sobretot en els tons més greus (freqüències més baixes).

COM AFECTEN ELS CAMIONS EL SOROLL DEL TRÀNSIT

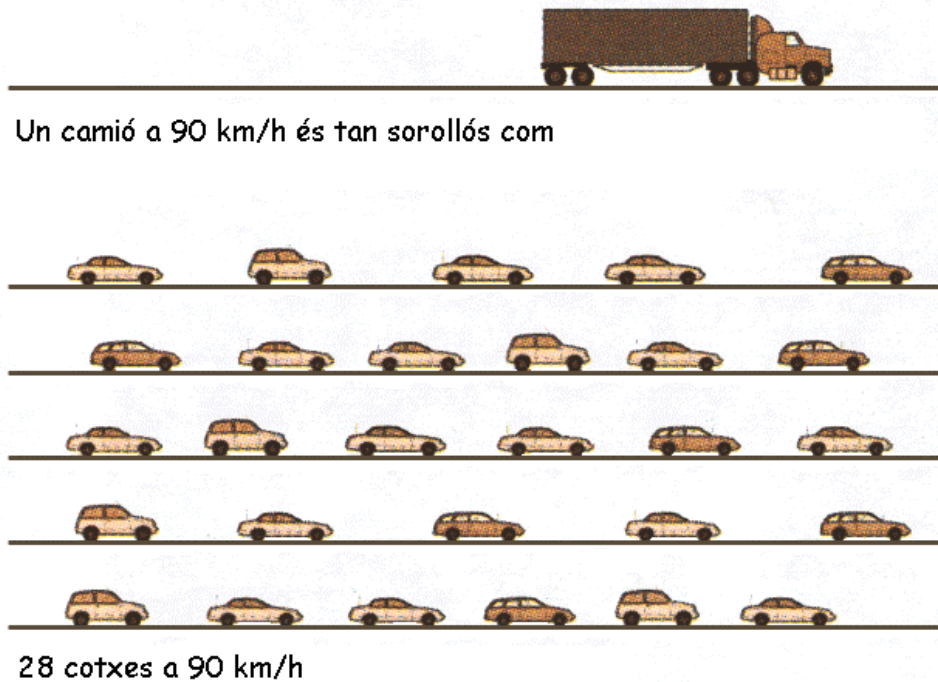


Figura 73. Comparació del soroll generat per camions i cotxes (als EUA)

A.8.3.- FONTS DE SOROLL DINS DEL VEHICLE

Una classificació força generalitzada és la que diferencia entre cinc fonts de soroll:

- Motor
 - De la combustió: quan més pressió hi ha dins dels cilindres, més soroll es genera. Són més sorollosos els motors: amb cicle Diesel (respecte els de cicle Otto a les mateixes revolucions), de dos temps, sense retard en la ignició.
 - D'origen mecànic: principalment generat pels pistons (al impactar amb les parets dels cilindres), el sistema de transmissió i altres elements com l'arbre de lleves, les vàlvules, la bomba de combustible, etc.
- Sistema d'admissió: soroll produït per l'obertura i el tancament de la vàlvula d'admissió.



- Sistema d'escapament: soroll produït per l'obertura i el tancament de la vàlvula d'escapament i l'alliberament sobtat del gas al sistema d'escapament.
- Rodament: soroll produït pel fregament entre els pneumàtics i el ferm. Aquest soroll comença a ser important a partir de velocitats mitges (60 ÷ 80 km/h), augmentant amb la velocitat, amb la càrrega i amb el dibuix del pneumàtic.
- Aerodinàmic: soroll produït per la interacció entre la carrosseria del vehicle i l'aire que l'envolta. Aquest soroll comença a ser important a partir de velocitats relativament altes (100 ÷ 120 km/h).

Segons el tipus i estat del vehicle, la velocitat, l'estil de conducció i el tipus i estat del ferm, prenen més importància relativa unes o altres fonts de soroll.

Per tal d'aconseguir una reducció global del soroll emès pel vehicle, s'ha d'actuar primer sobre la font de soroll més important, però per aconseguir reduccions substancials, s'ha d'actuar simultàniament sobre totes les principals fonts de soroll.

A.8.4.- NORMATIVA D'HOMOLOGACIÓ DELS VEHICLES

La Unió Europea disposa de directives d'homologació per tal de limitar les emissions sonores que pot emetre un vehicle a través de la legislació. D'aquesta manera s'obliga als vehicles motoritzats a realitzar una sèrie de proves per tal de poder circular.

El 1970, la Comunitat Econòmica Europea va publicar la Directiva 70/157/CEE, relativa al nivell sonor admissible i al dispositiu d'escapament dels vehicles a motor. Aquesta directiva fixa els nivells màxims d'emissió sonora dels vehicles a motor per a la seva homologació, segons la categoria del vehicle. Anàlogament a aquesta, el 1978, la Comunitat Econòmica Europea també va publicar la Directiva 78/1015/CEE, relativa al nivell sonor admissible i al dispositiu d'escapament de les motocicletes. Les dues directives s'han anat variant, bàsicament precisant els mètodes de mesura de soroll i reduint els nivells d'emissió sonora màxims permesos en cada prova, però conceptualment continuen vigents avui en dia.

En l'actualitat hi ha varis tipus d'assaigs a realitzar:

- Nivell sonor del vehicle en moviment (mesura dinàmica o de pass-by):

Aquesta prova és la necessària per tal d'obtenir la homologació de la Unió Europea.

Per tal de realitzar aquest assaig, es situen dues línies paral·leles separades 20 m entre si. El vehicle ha de travessar aquestes dues línies tot seguint un eix perpendicular a elles. El micròfon es col·loca en un punt intermedi entre les dues línies paral·leles i a una distància de 7,5 m de l'eix que segueix el vehicle.

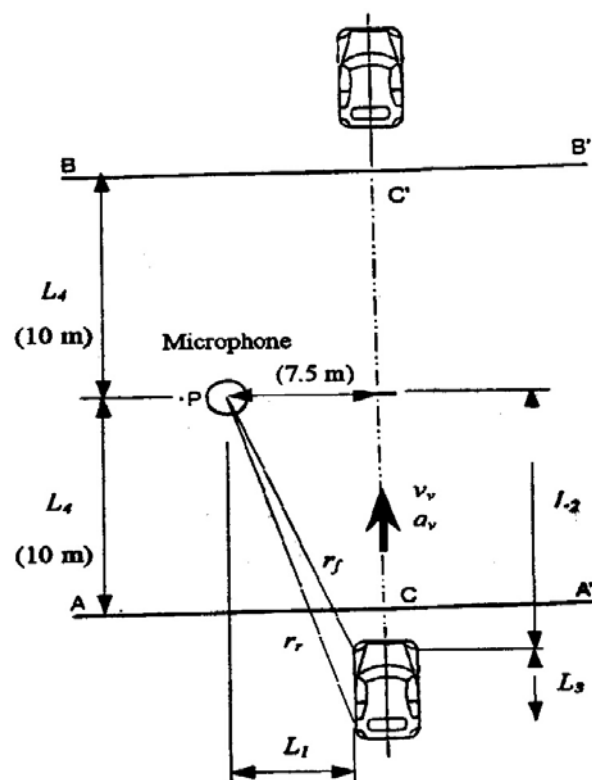


Figura 74. Assaig de pass-by o mesura dinàmica

El vehicle s'ha d'apropar a la primera línia a una velocitat estabilitzada, corresponent a un règim de $\frac{3}{4}$ parts de la potència màxima (mínim 50 km/h), tant en segona com en tercera velocitat (en cas que el vehicle tingui menys de cinc marxes, només es farà en segona velocitat). Un cop el vehicle arriba a la primera línia, s'accelera a fons fins que tot el vehicle hagi passat la segona línia.

Es realitzen dues mesures per cada costat del vehicle i s'agafa el valor més gran dels quatre. Llavors el resultat de l'assaig és la mitja entre els valors obtinguts en segona i tercera velocitat; o l'obtingut en segona velocitat en cas que el vehicle tingui menys de cinc marxes. Per acabar, al resultat obtingut se li resta 1 dBA per tal de tenir en compte possibles imprecisions de mesures.

- Nivell sonor del vehicle aturat (mesura en proximitat):

En aquest assaig es mesura, bàsicament, el soroll d'escapament. Amb aquesta prova es busca determinar un valor de referència a partir del mesurament dels nivells de soroll a 50 cm del tub d'escapament, en un angle de $45^\circ \pm 10^\circ$, i a més de 20 cm del terra. El valor obtingut figura en el full d'homologació.

No hi ha cap límit per aquesta mesura, ja que el valor obtingut s'utilitza com a referència per facilitar el control del vehicle en circulació o en estacions d'ITV a posteriori.

- Soroll emès per vehicles destinats a serveis d'urgències:

Tots els vehicles destinats a serveis d'urgències han de disposar d'un mecanisme de regulació dels dispositius acústics que redueixi el soroll a uns nivells de pressió sonora compresos entre 70 i 90 dBA durant el període nocturn (entre les 22 h i les 7 h), quan circulin per zones habitades. Això no és aplicable quan aquests vehicles hagin d'utilitzar els senyals acústics per alertar la població d'una situació d'emergència.

Per calcular aquest nivell de pressió acústica es farà a 7 m de distància de la part davantera del vehicle. Aquest estarà aturat, amb el motor parat i situat en una zona plana sense obstacles sobre una superfície el més llisa possible (revestida de formigó, asfalt o similar). El nivell màxim de pressió acústica es buscarà en una zona compresa entre 0,5 i 1,5 metres d'altura des del terra.

Tant l'assaig en proximitat com l'assaig de pass-by no són representatius del soroll generat pels vehicles en funcionament normal per les ciutats. Durant les proves d'homologació, els vehicles estan més revolucionats (entre 3.500 i 5.000 rpm) que durant la conducció urbana (99% del temps a menys de 3.000 rpm). A més, la mesura amb vehicle aturat no té en



compte el soroll de rodament. I en l'assaig de pass-by, al col·locar el micròfon a 7,5 m, no representa el que passa en la realitat, ja que a les ciutats els vianants es troben usualment bastant més a prop dels vehicles i, a part de rebre un nivell sonor superior, l'espectre també és diferent. Tampoc existeix correlació entre els dos assaigs.

A.8.5.- CONTROL DE SOROLL DELS VEHICLES

El procediment recomanable per mesurar l'excés de soroll dels vehicles a la via pública i comprovar l'estat del tub d'escapament és el de vehicle aturat, comparant el valor obtingut amb el que figura en el full d'homologació.

En els controls a la via pública es pot tolerar que els nivells màxims de soroll emesos siguin lleugerament superiors als que figuren al full d'homologació del vehicle, ja que és normal un augment lleuger del nivell sonor del vehicle en ús respecte al vehicle nou. Per tant, és recomanable comprovar només els vehicles que sobrepassen àmpliament els límits, ja sigui pel mal estat del silenciador d'escapament original o perquè aquest s'ha substituït per un altre d'inadequat.

La normativa de soroll ha de fixar el nivell a partir del qual el propietari del vehicle haurà de reparar el mal estat o mal ús del silenciador. A tall d'exemple es mostren els valors màxims que es permeten a la ciutat de Girona i que consten en l'annex 2 de l'Ordenança Municipal de Circulació:

VALOR MÀXIM PERMÈS	
Vehicles matriculats:	
a) abans 01/01/89	107 dBA
b) entre 01/01/89 i 31/12/95	103 dBA
c) a partir 01/01/96	99 dBA
Ciclomotors:	
d) tots en circulació	90 dBA

Taula 3. Nivells sonors de referència a Girona en mesures de proximitat



Per tal de realitzar les mesures amb vehicle aturat a la via pública d'una forma correcta s'han de seguir els següents punts:

- Entorn de mesura: la superfície del sòl ha de ser reflectora (asfalt, formigó, etc). S'han d'evitar superfícies reflectores verticals (façanes, parets, tanques, etc). a menys de 3 m dels extrems dels vehicles. El soroll ambiental al lloc de mesura ha de ser almenys 10 dBA inferior al nivell sonor emès pel vehicle.
- Equips: s'ha d'utilitzar un sonòmetre tipus 1 o 2, que mesuri en dBA, amb temps d'integració fast i amb retenció de nivell màxim. S'ha de calibrar abans i després de cada mesura. Sempre s'ha d'utilitzar pantalla antivent. També s'ha de disposar d'un tacòmetre digital per tal d'avaluar les revolucions del motor.
- Emplaçament del micròfon: s'ha de situar a l'altura del tub d'escapament i sempre a una alçada mínima de 20 cm sobre el terra, a una distància de 50 cm del tub en un angle de $45^\circ \pm 10^\circ$. En cas d'haver-hi dos tubs d'escapament, si estan separats més de 30 cm, s'ha de mesurar cadascun per separat i quedar-se amb el resultat més alt. Si estan separats menys de 30 cm, el micròfon s'ha d'orientar en direcció a la sortida més propera a la part més exterior del vehicle o a la més alta respecte el terra.

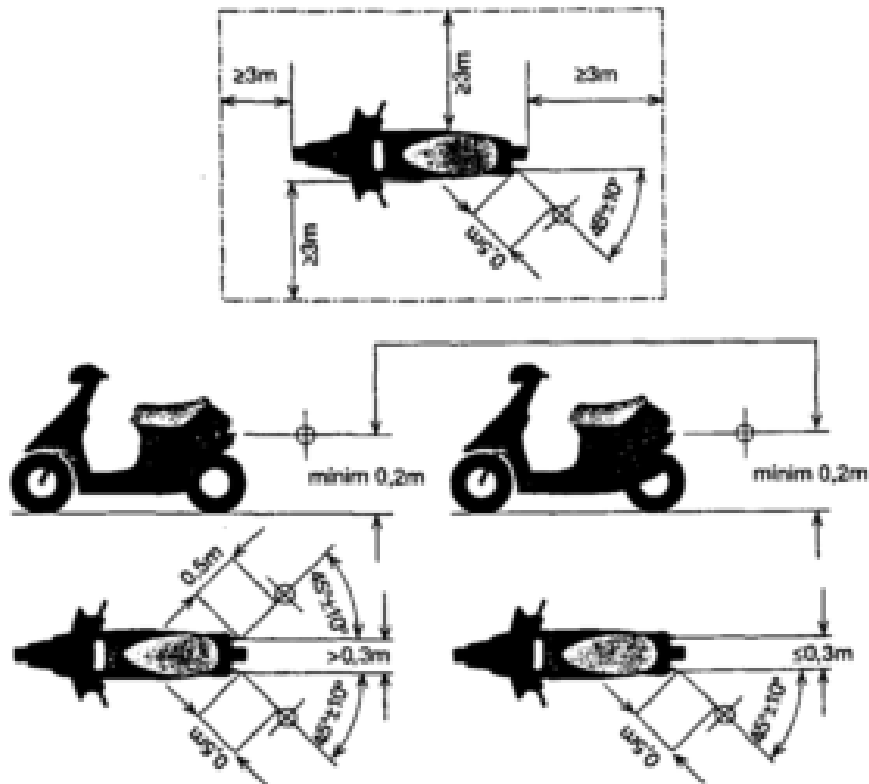


Figura 75. Emplaçament del micròfon en la prova amb la moto aturada

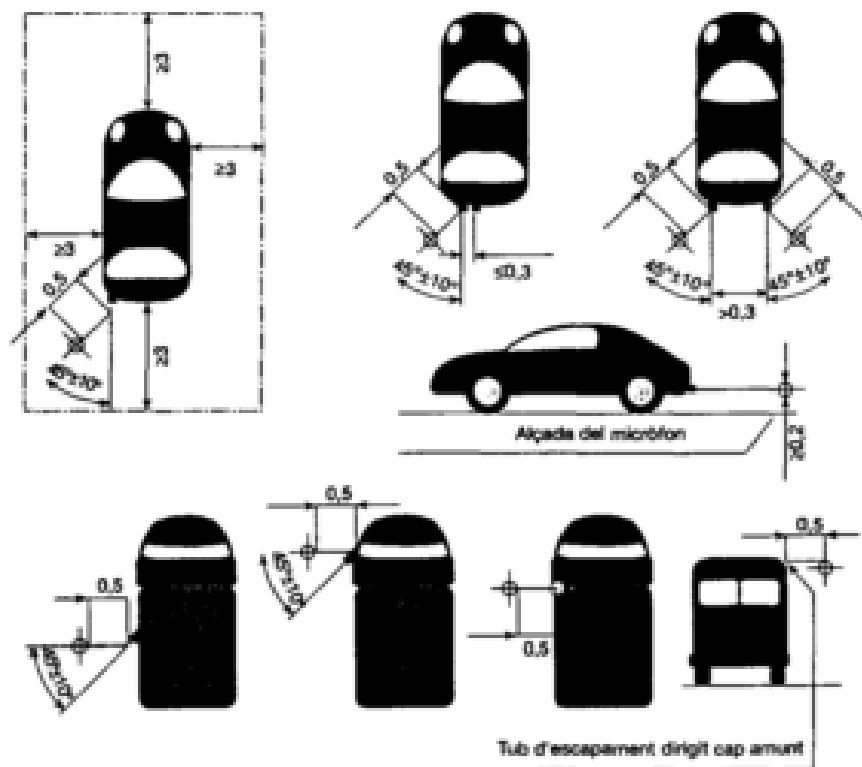


Figura 76. Emplaçament del micròfon en la prova amb el vehicle aturat



- Condicions de funcionament: el vehicle ha d'estar en punt mort. Llavors el règim del motor s'ha d'estabilitzar a $\frac{3}{4}$ parts de la rpm màxima (en motocicletes amb més de 5000 rpm, a $\frac{1}{2}$ de la màxima revolució per minut). Un cop estabilitzat en aquest règim, s'ha de treure el peu de l'accelerador. I és durant aquest període de desacceleració fins al règim de ralentí que s'ha de fer la mesura (el valor màxim de tota la prova).
- Resultat de la prova: es fan dos mesuraments consecutius les diferències dels quals han de ser com a molt de 2 dBA, i com a resultat final s'ha d'agafar el valor més elevat i arrodonir-lo al decibel més proper.

A.8.6.- SOROLL GENERAT PEL TRÀNSIT

Un cop vist el soroll generat per un vehicle individualment, és el moment d'analitzar el soroll generat pel conjunt de vehicles que circulen per un determinat indret. En aquesta ocasió no existeix una font puntual sinó una font lineal formada per multitud de fonts puntuals que van passant per la zona a estudiar.

A.8.9.- INDICADORS DE TRÀNSIT

El nivell de soroll del trànsit urbà i interurbà ve definit d'acord amb els següents indicadors:

- La quantitat de vehicles lleugers que circulen per unitat de temps
- La quantitat de vehicles pesats que circulen per unitat de temps
- La velocitat de circulació
- El pendent de la via
- El tipus de ferm de la via
- Les reflexions dels edificis a cada banda de la via



Per tal d'expressar el trànsit d'una via s'utilitza l'Intensitat Mitjana Diària (IMD). Aquest indicador es calcula a partir del nombre total de vehicles anual que circulen per una via. Quan es calcula l'IMD s'ha de tenir en compte de no fer el comptatge dels vehicles en períodes de vacances escolars, el dia anterior i posterior als ponts, els festius i tampoc en dies amb algun esdeveniment important que pugui afectar el flux normal de trànsit. És per això que en general és recomanable realitzar el comptatge en dimarts, dimecres o dijous.

Un altre punt a tenir en compte és que s'ha de poder desglossar els vehicles lleugers dels pesats. El nombre de vehicles es sol expressar en forma de percentatge sobre l'IMD o sobre el nombre de vehicles per hora, durant el dia i durant la nit.

A partir del coneixement de l'IMD es poden definir els indicadors sobre el nombre de vehicles lleugers o pesats/h, que circulen durant el dia (Nd), durant la nit (Nn) i durant l'hora punta (Hp).

L'Nd és el valor que resulta de la següent expressió:

$$Nd = \frac{IMD}{17}$$

IMD: Intensitat Mitjana Diària (# vehicles)
Nd: vehicles que circulen durant el dia (# vehicles / h)

Equació 13. Càlcul dels vehicles que circulen durant el dia

Aquest flux de vehicles representa una mitjana de trànsit horari entre les hores diürnes (entre les 7 h i les 22 h), en situacions d'una circulació urbana densa, i es prendrà com a referència mentre no ho justifiquin situacions molt particulars. Aquest flux horari sol ser aconseguit o superat unes sis hores al dia.

Per calcular l'Nn:

$$Nn = IMD \cdot 0,009$$

IMD: Intensitat Mitjana Diària (# vehicles)
Nn: vehicles que circulen durant la nit (# vehicles / h)

Equació 14. Càlcul dels vehicles que circulen durant la nit

En aquest cas el flux de vehicles representa una mitjana de trànsit nocturn, entre les 22 h i les 7 h.



En hores punta el flux màxim de vehicles per hora (Hp) depèn de la grandària de la població. Una relació que es correspon a l'anterior situació general de circulació urbana densa és la següent:

$$H_p = \frac{IMD}{10}$$

IMD: Intensitat Mitjana Diària (# vehicles)
H_p: vehicles que circulen en hores punta (# vehicles / h)

Equació 15. Càlcul dels vehicles que circulen durant les hores punta en poblacions grans

En cas que la població on es realitza l'estudi sigui de menys de 100.000 habitants:

$$H_p = \frac{IMD}{8}$$

IMD: Intensitat Mitjana Diària (# vehicles)
H_p: vehicles que circulen en hores punta (# vehicles / h)

Equació 16. Càlcul dels vehicles que circulen durant les hores punta en poblacions petites

A.8.10.- TIPOLOGIES DE TRÀNSIT

Existeixen varis tipus de trànsit:

- Fluid continu: vials interurbans i vials ràpids urbans fora de les hores de saturació.
- Pulsatiu continu: vials urbans propers a la saturació que comporten variacions brusques de trànsit en curts períodes de temps i espai.
- Pulsatiu accelerat: sortida d'un peatge, d'un semàfor, d'un stop, ...
- Pulsatiu desaccelerat: és l'invers a l'accelerat.

El tipus de trànsit influeix en el soroll, ja que quantes més acceleracions i frenades hi ha, més soroll es genera. És per això que alguns dels mètodes de predicció del soroll del trànsit que es presenten més endavant, tenen en compte quin tipus de trànsit existeix.

A.8.11.- MESURA DEL SOROLL DEL TRÀNSIT

- Característiques dels equips de mesura:

Per tal de mesurar el soroll generat pel trànsit, s'ha d'utilitzar un sonòmetre del tipus 1 o 2 que ha de tenir, com a mínim, les següents característiques: corba de ponderació A, micròfon de camp lliure, pantalla antivent i poder mesurar directament el nivell L_{Aeq} .

També és recomanable que els equips permetin la mesura dels paràmetres L_{AN} i L_{AE} .

- Paràmetres de mesura

El paràmetre bàsic de mesurament és el nivell de soroll continu equivalent, $L_{Aeq, T}$, en dBA.

Existeixen altres paràmetres complementaris que ajuden a millorar la caracterització de la situació, com són els paràmetres estadístics. Els més utilitzats són L_{A10} , que caracteritza les puntes de soroll, i L_{A90} , que representa el soroll de fons.

- Condicions de mesura

Les mesures s'han de realitzar en les condicions més representatives possibles del lloc a estudiar. És per això que no és aconsellable fer les mesures quan:

- la via està mullada
- el trànsit està pertorbat per obres a la via
- es fan obres en un punt proper al lloc de mesura

- Lloc de mesura

Segons el lloc on s'hagi de dur a terme la mesura del soroll generat pel trànsit, s'ha d'actuar de manera diferent, tenint en compte les diferents regles a seguir:

- En les edificacions, el nivell d'avaluació del soroll en l'ambient exterior es mesura situant el micròfon al mig de la finestra completament oberta de les



dependències d'ús sensibles al soroll (dormitoris, sales d'estar, menjadors, despatxos d'oficina, aules escolars o d'altres dependències assimilables).

- En les zones encara no construïdes però destinades a l'edificació, es mesura preferentment situant el micròfon entre 3 i 11 m d'altura i en el pla d'emplaçament de la façana més exposada al soroll.
- A peu de carrer es mesura situant el micròfon entre 1 i 2 m de distància de les façanes i aproximadament a 1,5 m d'altura. Als valors obtinguts se'ls aplica la correcció de sostreure de 3 a 5 dBA, atenent les característiques de l'edificació de l'indret.
- A camp obert es mesura situant el micròfon, com a mínim, entre 20 i 30 m de distància de les vores de la infraestructura i aproximadament a 1,5 m d'altura. Aquest és el cas de mesurar el soroll produït per vies interurbanes, autopistes i casos similars.

A.8.12.- DETERMINACIÓ DEL SOROLL DEL TRÀNSIT

Hi ha diferents mètodes per tal d'obtenir els nivells de soroll de trànsit; mitjançant mesures de llarga durada, amb mesures de curta durada i utilitzant mètodes de predicció.

➤ Mostreig de durada llarga

Es considera un mostreig com de durada llarga quan recull dades mesurades durant almenys 24 hores seguides.

La utilitat d'aquest tipus de mostreig resideix en què permet conèixer l'evolució temporal dels nivells de soroll i, d'aquesta manera, poder observar les hores punta, les variacions entre els períodes diürn i nocturn, etc.

A partir del coneixement de les dades de 24 hores (o més) es pot calcular el L_{Aeq} de diferents períodes segons convingui.

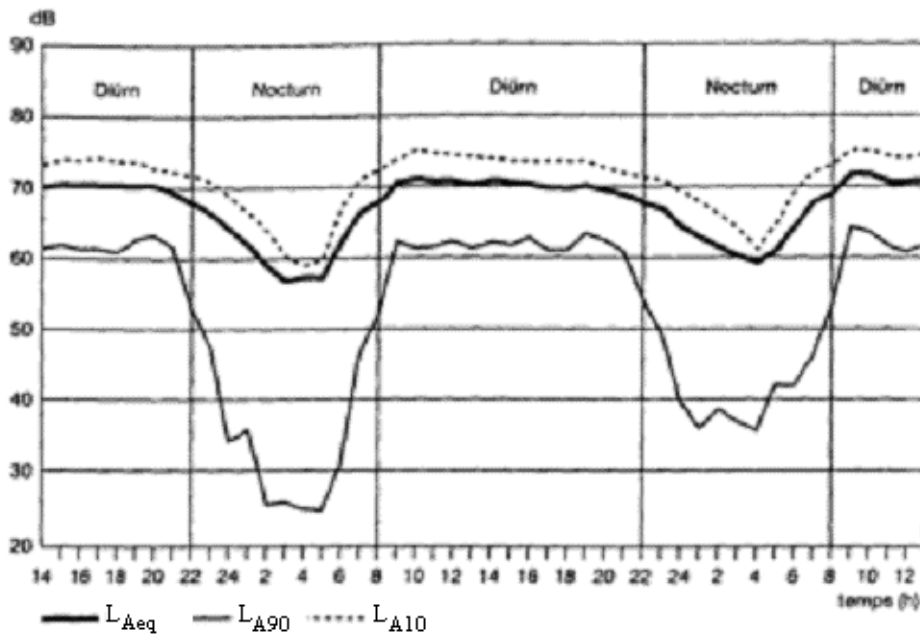


Figura 77. L_{Aeq} , L_{A10} i L_{A90} d'un mostreig de durada llarga (48h)

El problema del mostreig de llarga durada, a part del temps, rau en el fet que no es pot controlar el que passa durant la mesura. És a dir, que si hi ha algun fenomen que altera la mesura, no es pot controlar al no ser-hi presents en el moment en què es prenen les dades.

➤ Mostreig de durada curta

Es considera que una mesura que es fa en un temps de menys de 30 minuts, és de curta durada.

Quan més elevat sigui el trànsit que circula per la via a estudiar, més curt ha de ser el temps de mostreig per tal que aquest sigui representatiu.

A partir del nivell de soroll mesurat durant un curt espai de temps, es pot obtenir el nivell de soroll de períodes de temps molt superiors i obtenir resultats representatius del soroll global, diürn o nocturn, similars als que s'obtidrien amb mesuraments de llarga durada.

L'avantatge d'aquest mètode, a part de l'estalvi evident de temps, és el fet d'estar present en l'indret a estudiar quan es fa la mesura. Per tant, si algun fenomen anòmal l'altera, es pot actuar en conseqüència i repetir la mesura per tal que sigui més representativa.

➤ Predicció de nivells de soroll en carrers amb forma d'U

En el cas concret d'un carrer amb forma d'U, tal i com mostra la Figura 78, un carrer que té edificis a cada banda de manera quasi contínua, existeix la metodologia que presenta la "Guide du Bruit des Transports Terrestres. Previsions des niveaux sonores."; elaborada per la Direction Générale des Transports Intérieurs del Ministère des Transports de França al 1980.

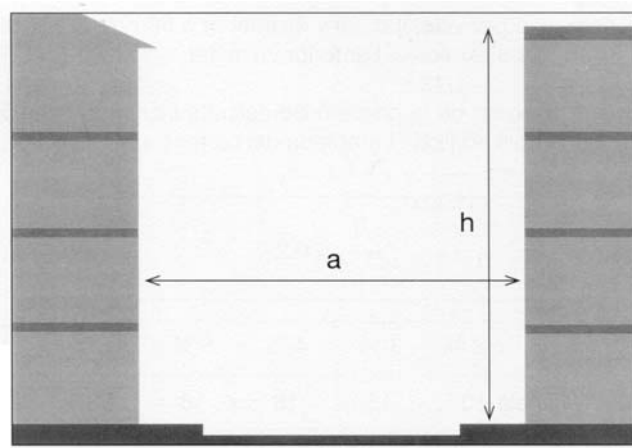


Figura 78. Carrer en forma d'U

$$L_{Aeq,1h} = 55 + 10 \log(Nll + E \cdot Np) \cdot 10 \log a + k_h + k_v \quad L_{Aeq,1h}: \text{nivell sonor eq. (dBA)}$$

Equació 17. Càlcul del nivell sonor equivalent (corba A) en un carrer amb forma d'U

Els paràmetres que intervenen en aquesta equació són aquests:

- Nll: nombre de vehicles lleugers / h
- E: factor d'equivalència acústica entre vehicles lleugers i pesants segons el pendent del carrer

rampa (r)	< 2%	3 %	4 %	5 %	> 6 %
equivalència (E)	10	13	16	18	20

Taula 4: Factor d'equivalència (E) segons el percentatge de la rampa

- r: pendent o rampa del carrer en forma de percentatge



- N_p : nombre de vehicles pesants / h
- a : amplada del carrer en metres
- h : alçària mitjana dels edificis
- k_h : correcció per alçada
si h és inferior a 4m, k_h val 0; si h és igual o superior a 4 m, k_h pren el valor següent:
$$-\frac{2 \cdot (h - 4)}{a}$$
- k_v : correcció per velocitat
si v és inferior a 60 km/h, k_v val 0; per a cada 10 km/h que s'excedeixi l'anterior velocitat, cal afegir 1 dBA
- Per tal de poder disposar de la precisió de càlcul suficient la relació entre l'alçària mitjana dels edificis i l'amplada del carrer ha de ser $> 0,2$:
$$\frac{h}{a} > 0,2$$

➤ Predicció de nivells de soroll en carrers amb forma d'L

Un carrer amb forma de L és aquell que disposa d'edificis d'una forma gairebé contínua en una sola de les seves dues bandes.

En aquest tipus de carrers, sempre que tinguin una amplada menor de 40 metres, es pot obtenir un càlcul aproximat del nivell de soroll amb la següent relació:

$$L_{Aeq,1h} \text{ en } L = L_{Aeq,1h} \text{ en } U - 4 \pm 1,5 \qquad L_{Aeq,1h}: \text{ nivell sonor eq. (dBA)}$$

Equació 18. Càlcul del nivell sonor equivalent (corba A) en un carrer amb forma de L

A.8.13.- AVALUACIÓ DEL SOROLL DE TRÀNSIT

Com ja s'ha vist anteriorment, existeixen proves que permeten controlar el soroll d'un vehicle en concret i comparar els valors obtinguts amb els de les respectives Ordenances Municipals.

Però aquestes proves no són vàlides per analitzar i avaluar el soroll generat per tot el conjunt de vehicles. És necessari doncs, l'ús d'altres criteris, que poden ser molt diversos.

Un d'aquests criteris, i que és l'utilitzat en aquest projecte, és el que recull la Llei de Protecció Contra la Contaminació Acústica de la Generalitat de Catalunya (Llei 16/2002), la qual marca uns valors límits d'immissió que no poden ser superats.

Un altre tipus de mètode existent és el que utilitza criteris qualitius. Aquest tipus de criteris relacionen els nivells de soroll de trànsit amb el percentatge de població que es troba molesta o amb el grau de molèstia que provoca; i es poden presentar en forma de gràfiques o de taules.

NIVELL DE SOROLL L_{Aeq} (dBA)	GRAU DE MOLÈSTIA
< 56	molt baix
57 a 59	baix
60 a 62	bastant baix
63 a 65	mitjà
66 a 68	bastant alt
69 a 71	alt
72 a 75	molt alt
> 75	molt més alt

Taula 5. Avaluació de nivells L_{Aeq} de soroll de trànsit en horari diürn

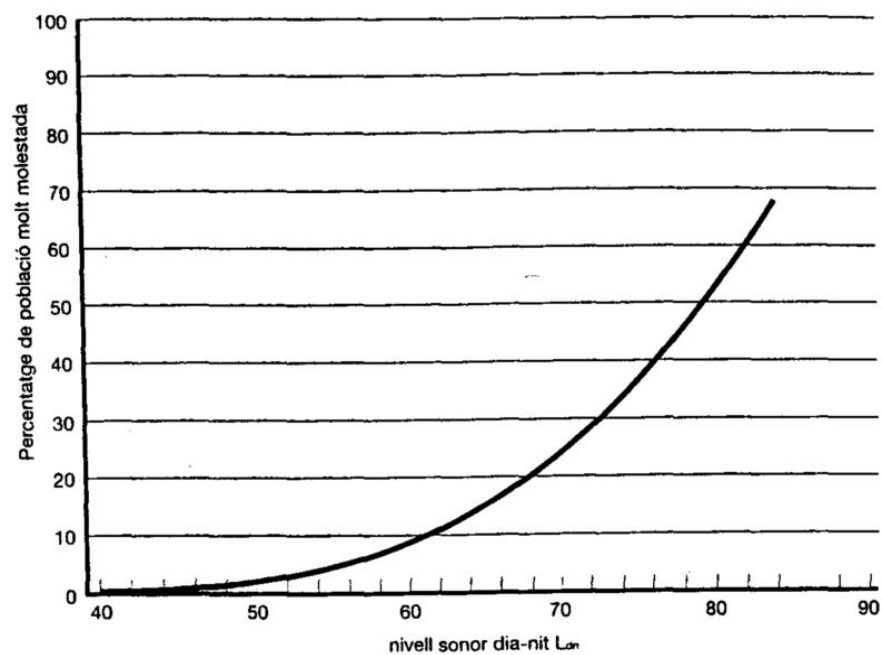


Figura 79. Avaluació de nivells L_{dn} de soroll de trànsit



L'ús de criteris qualitius és molt visual, especialment si es fa a partir de gràfiques, però presenta un problema, ja que el grau de molèstia, per un mateix soroll, és diferent segons la sensibilitat de cada persona, però també ho és depenent del medi. És a dir, el mateix nivell de soroll és molt més molest en un medi rural, en zones residencials, etc. que en un medi urbà, ja que les expectatives que assumeixen els veïns depenen del tipus d'entorn.



ANNEX B: SONÒMETRE CESVA SC-30



ANNEX B: SONÒMETRE CESVA SC-30

<http://www.cesva.com/>

















ANNEX C: PUNTS DE MESURA



ANNEX C: PUNTS DE MESURA

En aquest annex es poden veure les fitxes omplertes en el moment de fer les mesures en l'Avinguda Sant Jordi d'Olot.

Aquestes fitxes corresponen a cada mesura identificada amb el seu codi. A més a més es poden veure dades que en el resum de la memòria no s'inclouen com l'amplada aproximada del carrer en cada punt de mesura, el tipus d'asfalt i un apartat corresponent a observacions.

L'apartat d'observacions inclou aspectes que han pogut succeir en l'interval de la mesura, és a dir, el pas d'alguna ambulància, alguna moto molt sorollosa, pitades d'alguns vehicles, pas de tractors, etc. Per tant en aquest apartat s'hi podran veure observacions d'aquest tipus.

No obstant, tot i que en alguna mesura hi ha alguna observació anteriorment esmentada no s'ha procedit a la seva repetició, excepte la mesura número 13, pel fet de considerar que és habitual en aquesta Avinguda els esdeveniments produïts en l'interval de la mesura. En canvi, mentre es realitzava la mesura número 13 un camió de gran volum va fer una pitada just davant el sonòmetre, la qual cosa va comportar que els valors obtinguts de la mesura fossin desorbitats.

A continuació es mostren les fitxes de totes les mesures realitzades.



Codi Mesura	P1		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	a		
Dia	26/10/2005		
Hora inici	18:15 hores		
Duració mesura	10 minuts 2 segons		
Mesura			
La_{eq}	73.8	Comptatge Vehicles	
L₁₀	76.4	Duració	10 minuts 2 segons
L₉₀	62.3	V. Lleugers	236
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	13
		Tipus trànsit	fluid
Observacions	--		

Taula 6. Fitxa de la mesura número P1

Codi Mesura	P2		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	a		
Dia	26/10/2005		
Hora inici	18:00 hores		
Duració mesura	10 minuts 12 segons		
Mesura			
La_{eq}	74	Comptatge Vehicles	
L₁₀	77	Duració	10 minuts 12 segons
L₉₀	64.3	V. Lleugers	237
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	11
		Tipus trànsit	fluid
Observacions	--		

Taula 7. Fitxa de la mesura número P2



Codi Mesura	P3		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	b		
Dia	26/10/2005		
Hora inici	17:45 hores		
Duració mesura	10 minuts 13 segons		
Mesura			
La_{eq}	71.8	Comptatge Vehicles	
L₁₀	75.3	Duració	10 minuts 13 segons
L₉₀	57.1	V. Lleugers	158
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	20
		Tipus trànsit	fluid
Observacions	--		

Taula 8. Fitxa de la mesura número P3

Codi Mesura	P4		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	b		
Dia	25/10/2005		
Hora inici	19:16 hores		
Duració mesura	10 minuts 8 segons		
Mesura			
La_{eq}	73	Comptatge Vehicles	
L₁₀	75.2	Duració	10 minuts 8 segons
L₉₀	64.7	V. Lleugers	277
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	15
		Tipus trànsit	fluid
Observacions	--		

Taula 9. Fitxa de la mesura número P4



Codi Mesura	P5		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	c		
Dia	26/10/2005		
Hora inici	17:25 hores		
Duració mesura	10 minuts 5 segons		
Mesura			
La_{eq}	73.2	Comptatge Vehicles	
L₁₀	76.1	Duració	10 minuts 5 segons
L₉₀	62.2	V. Lleugers	193
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	16
		Tipus trànsit	fluid
Observacions	--		

Taula 10. Fitxa de la mesura número P5

Codi Mesura	P6		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	c		
Dia	25/10/2005		
Hora inici	17:00 hores		
Duració mesura	10 minuts 11 segons		
Mesura			
La_{eq}	72.8	Comptatge Vehicles	
L₁₀	76.5	Duració	10 minuts 11 segons
L₉₀	62	V. Lleugers	264
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	12
		Tipus trànsit	interromput
Observacions	--		

Taula 11. Fitxa de la mesura número P6



Codi Mesura	P7		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	c		
Dia	25/10/2005		
Hora inici	18:41 hores		
Duració mesura	10 minuts 26 segons		
<u>Mesura</u>			
L_aeq	72	<u>Comptatge Vehicles</u>	
L₁₀	75.2	Duració	10 minuts 26 segons
L₉₀	60.8	V. Lleugers	215
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	13
		Tipus trànsit	interromput
Observacions	--		

Taula 12. Fitxa de la mesura número P7

Codi Mesura	P8		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	d		
Dia	26/10/2005		
Hora inici	17:10 hores		
Duració mesura	10 minuts 21 segons		
<u>Mesura</u>			
L_aeq	73.6	<u>Comptatge Vehicles</u>	
L₁₀	77	Duració	10 minuts 21 segons
L₉₀	61.9	V. Lleugers	184
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	18
		Tipus trànsit	interromput
Observacions	--		

Taula 13. Fitxa de la mesura número P8



Codi Mesura	P9		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	d		
Dia	25/10/2005		
Hora inici	18:25 hores		
Duració mesura	10 minuts 7 segons		
Mesura			
La_{eq}	74.4	Comptatge Vehicles	
L₁₀	77.5	Duració	10 minuts 7 segons
L₉₀	63.7	V. Lleugers	239
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	11
		Tipus trànsit	interromput
Observacions	--		

Taula 14. Fitxa de la mesura número P9

Codi Mesura	P10		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	e		
Dia	25/10/2005		
Hora inici	18:05 hores		
Duració mesura	10 minuts 7 segons		
Mesura			
La_{eq}	75.5	Comptatge Vehicles	
L₁₀	78.5	Duració	10 minuts 7 segons
L₉₀	64.9	V. Lleugers	241
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	23
		Tipus trànsit	interromput
Observacions	--		

Taula 15. Fitxa de la mesura número P10



Codi Mesura	P11		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	e		
Dia	25/10/2005		
Hora inici	17:48 hores		
Duració mesura	10 minuts 6 segons		
Mesura			
La_{eq}	74.5	Comptatge Vehicles	
L₁₀	77.8	Duració	10 minuts 6 segons
L₉₀	61.8	V. Lleugers	212
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	11
		Tipus trànsit	fluid
Observacions	--		

Taula 16. Fitxa de la mesura número P11

Codi Mesura	P12		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	e		
Dia	25/10/2005		
Hora inici	17:34 hores		
Duració mesura	10 minuts 7 segons		
Mesura			
La_{eq}	74.3	Comptatge Vehicles	
L₁₀	77.7	Duració	10 minuts 7 segons
L₉₀	59	V. Lleugers	164
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	18
		Tipus trànsit	fluid
Observacions	--		

Taula 17. Fitxa de la mesura número P12



Codi Mesura	P13 (I) → Anul·lada		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	e		
Dia	25/10/2005		
Hora inici	17:15 hores		
Duració mesura	10 minuts 10 segons		
<u>Mesura</u>			
La_{eq}	79.3	<u>Comptatge Vehicles</u>	
L₁₀	79	Duració	10 minuts 10 segons
L₉₀	62.5	V. Lleugers	176
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	23
		Tipus trànsit	fluid
Observacions	La pitada d'un camió just davant el sonòmetre.		

Taula 18. Fitxa de la mesura número P13 anul·lada

Codi Mesura	P13 (II) → Mesura repetida		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	e		
Dia	26/10/2005		
Hora inici	16:50 hores		
Duració mesura	10 minuts 41 segons		
<u>Mesura</u>			
La_{eq}	75.7	<u>Comptatge Vehicles</u>	
L₁₀	79.4	Duració	10 minuts 41 segons
L₉₀	60.8	V. Lleugers	169
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	22
		Tipus trànsit	fluid
Observacions	--		

Taula 19. Fitxa de la mesura número P13 repetida



Codi Mesura	P14		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	f		
Dia	25/10/2005		
Hora inici	17:00 hores		
Duració mesura	10 minuts 13 segons		
Mesura			
La_{eq}	75	Comptatge Vehicles	
L₁₀	77.6	Duració	10 minuts 13 segons
L₉₀	60.6	V. Lleugers	161
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	18
		Tipus trànsit	fluid
Observacions	--		

Taula 20. Fitxa de la mesura número P14

Codi Mesura	P15		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	g		
Dia	25/10/2005		
Hora inici	16:40 hores		
Duració mesura	10 minuts 6 segons		
Mesura			
La_{eq}	73.9	Comptatge Vehicles	
L₁₀	77	Duració	10 minuts 6 segons
L₉₀	59.1	V. Lleugers	123
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	12
		Tipus trànsit	fluid
Observacions	--		

Taula 21. Fitxa de la mesura número P15



Codi Mesura	P16		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	g		
Dia	25/10/2005		
Hora inici	16:27 hores		
Duració mesura	10 minuts 10 segons		
Mesura			
La_{eq}	72	Comptatge Vehicles	
L₁₀	75.7	Duració	10 minuts 10 segons
L₉₀	54.7	V. Lleugers	117
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	13
		Tipus trànsit	fluid
Observacions	--		

Taula 22. Fitxa de la mesura número P16

Codi Mesura	P17		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	h		
Dia	25/10/2005		
Hora inici	15:33 hores		
Duració mesura	10 minuts 46 segons		
Mesura			
La_{eq}	71.9	Comptatge Vehicles	
L₁₀	75.1	Duració	10 minuts 46 segons
L₉₀	57.3	V. Lleugers	145
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	13
		Tipus trànsit	fluid
Observacions	--		

Taula 23. Fitxa de la mesura número P17



Codi Mesura	P18		
Carrer / Situació	Avinguda Sant Jordi		
Tram	h		
Dia	25/10/2005		
Hora inici	16:00hores		
Duració mesura	10 minuts 4 segons		
Mesura			
La_{eq}	71.4	Comptatge Vehicles	
L₁₀	75.1	Duració	10 minuts 4 segons
L₉₀	49.9	V. Lleugers	109
Tipus d'asfalt	normal	V. Pesats	12
		Tipus trànsit	fluid
Observacions	--		

Taula 24. Fitxa de la mesura número P18



ANNEX D: RECULL FOTOGRÀFIC



ANNEX D: RECALL FOTOGRÀFIC



Figura 80. Punt de mesura 1 (P1)



Figura 81. Punt de mesura 2 (P2)



Figura 82. Punt de mesura 3 (P3)



Figura 83. Punt de mesura 6 (P6)



Figura 84. Punt de mesura 7 (P7)



Figura 85. Punt de mesura 8 (P8)



Figura 86. Punt de mesura 10 (P10)



Figura 87. Punt de mesura 11 (P11)



Figura 88. Punt de mesura 12 (P12)



Figura 89. Punt de mesura 13 (P13)



Figura 90. Punt de mesura 15 (P15)



Figura 91. Punt de mesura 16 (P16)



Figura 92. Punt de mesura 17 (P17)



Figura 93. Punt de mesura 18 (P18)



ANNEX E: ESTUDI ECONÒMIC

**ANNEX E: ESTUDI ECONÒMIC**

CODI	DESCRIPCIÓ	UNITAT	QUANTITAT	PREU UNITARI	IMPORT
O001	Treball previ (tractament de la cartografia, tipus trànsit, ...)	h	15	20 €/h	300,00 €
O002	Treball de camp (mesures)	h	15	30 €/h	450,00 €
O003	Digitalització de la cartografia d'Olot	h	7	25 €/h	175,00 €
O004	Simulació, interpretació i anàlisi d'alternatives	h	50	50 €/h	2.500,00 €
O005	Lloguer sonòmetre	dies	2	10 €/dia	20,00 €
O006	Amortització del programa CADNA (hores de càlcul)	h	150	5 €/h	750,00 €
O007	Quilometratge	km	240	0,24 €/km	57,60 €
O008	Redacció del projecte				500,00 €
SUMA					4.752,60 €
12 % BENEFICI INDUSTRIAL					570,32 €
SUMA					5.322,92 €
IVA (16 %)					851,66 €
IMPORT TOTAL					6.174,58 €