

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA
MÀSTER EN ENGINYERIA ACÚSTICA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

**“ANÀLISIS DE L'IMPACTE ACÚSTIC
DE VIES DE TRANSPORT A
MONTCADA I REIXAC I PROPOSTA DE
MESURES MITIGADORES”**

TREBALL FINAL DE MÀSTER

Autor:

Vicente Ballesteros, Álvaro

Director:

Martínez Mora, Juan Antonio

Codirector:

Diego i Tortosa, Dídac

GANDIA, 2019

Agraïments

Abans de res, voldria donar les gràcies a tots/es aquells que, d'una forma o altre, han fet possible la elaboració d'aquest treball final de màster.

En primer lloc, a en Dídac, codirector d'aquesta tesina i gran amic, per la seva incombustible paciència i la seva disposició des de el primer minut en prestar-me els seus coneixements i experiència, sense els quals no hagués pogut tirar endavant aquest treball.

A en Joan, per la seva total disposició a dirigir aquest projecte i les seves orientacions que han sigut un element clau per la seva elaboració.

A l'Aitor, maquinista, company de pis i amic pel seu suport i la valuosa informació aportada en l'àmbit ferroviari.

A la Universitat Politècnica de València (UPV), i en especial a l'Escola Politècnica Superior de Gandia (EPSG), per permetre'm endinsar-me en el camp de l'Enginyeria Acústica i marcar els inicis de la meua vida professional en aquest món.

A l'empresa *Aucatel Inspección y Control*, i en especial a en Santiago, no solament per permetre'm fer ús dels equips de mesura professionals que s'han fet servir en aquest treball, si no pels seus consells i la flexibilitat horària que m'ha permès dur a terme el treball de camp en dies feiners.

A l'Ajuntament de Montcada i Reixac, i en especial a en Jordi Català, per la informació proporcionada en temes de queixes veïnals i els detalls del projecte de soterrament de la línia R2 així com l'accés al arxius de modelat digital del municipi que han facilitat el disseny dels models de simulació.

En últim lloc, però no menys important, a la meua família i amics pel seu suport en tot moment.

ANÀLISIS DE L'IMPACTE ACÚSTIC DE VIES DE TRANSPORT A MONTCADA I REIXAC I PROPOSTA DE MESURES MITIGADORES

Autor: Vicente Ballesteros, Álvaro

Director: Martínez Mora, Juan Antonio

Codirector: Diego i Tortosa, Dídac

Resum—Montcada i Reixac és un municipi de la comarca del Vallés Occidental on conflueixen diverses vies de trànsit rodat i ferroviari per la seva proximitat a la capital barcelonina. Aquest projecte estudia l'afectació sonora d'aquestes vies a la població mitjançant la simulació amb el software *Predictor*, el qual s'acompanya amb mesures experimentals per a la seva validació i avalua la implementació de mesures mitigadores concretes per tal de reduir els nivells de contaminació acústica existents. Per poder dur-ho a terme, s'elaboren dos models de simulació per determinar el soroll per trànsit rodat i ferroviari i es combinen els nivells obtinguts per tal d'elaborar mapes de soroll que contemplin ambdós fonts sonores tant a l'estat actual com en estat operacional, un cop aplicades les mesures mitigadores.

Paraules Clau: Contaminació acústica, Ferroviari i trànsit, Mitigació, Simulació, Montcada i Reixac

Abstract—Montcada i Reixac is a municipality in the Vallès Occidental region where several roads and railroad traffic are joined due to its proximity to the capital of Barcelona. This project studies the sound affection of these sound sources to the population through simulation with *Predictor* software, which is accompanied by experimental measures for its validation and evaluates the implementation of concrete mitigation measures in order to reduce the levels of existing acoustic contamination. In order to achieve that, two simulation models are developed to determine the road and rail traffic noise and combine the levels obtained to produce noise maps that contemplate both sound sources in the current state and in operational condition, once mitigation measures have been applied.

Keys words: Environmental Acoustic Pollution, noise, Railroad and road noise, Mitigation, Simulation, Montcada i Reixac

Nota 1: Tota figura, taula o il·lustració en què no s'indiqui la font de procedència, s'ha d'entendre com d'elaboració pròpia.

Nota 2: La definició de variables usades en les diferents equacions, així com la definició de les sigles dels acrònims, apareixeran indicades una sola vegada en tota la tesina.

Nota 3: Les citacions de les referències bibliogràfiques s'efectuen en notació numèrica i entre parèntesi.

Autor: Vicente Ballesteros, Álvaro

e-mail: alvaro.vic93@gmail.com

Data de lliurament: Juliol 2019



Per a veure una còpia d'esta llicència, visiti:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

ÍNDIX

INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS	9
I. INTRODUCCIÓ TEÒRICA	10
I.1 La definició de soroll i el seu origen.....	10
I.2 Indicadors de soroll.....	11
II. NORMATIVA I LEGISLACIÓ	13
II.1 Àmbit Nacional	13
II.2 Àmbit autonòmic: Catalunya	14
II.3 Àmbit municipal: Montcada i Reixac	15
III. CAS D'ESTUDI	16
III.1 El municipi de Montcada i Reixac	16
III.2 Vies de trànsit rodat.....	18
III.3 Vies ferroviàries	18
IV. ELABORACIÓ DEL MODEL DE SIMULACIÓ	20
IV.1 Modelització del municipi.....	20
IV.2 Modelització del trànsit rodat	21
IV.3 Modelització del trànsit ferroviari.....	23
V. VALIDACIÓ DEL MODEL	28
V.1 Durada de les mostres i data de les mesures	28
V.2 Distribució espacial dels punts de mesura	29
V.3 Incertesa de les mesures	31
V.4 Ajust i validació del model de simulació	37
VI. PROPOSTA DE MESURES DE MITIGACIÓ	41
VII. RESULTATS	43
VII. 1 Mapes de soroll a l'estat actual de Montcada i Reixac	44
VII.2 Mapes de soroll a l'estat operacional de Montcada i Reixac.....	45
VII.3 Anàlisis dels nivells sonors aconseguits amb les mesures de mitigació	46
VIII. CONCLUSIONS	50
PROPOSTES DE TREBALLS FUTURS	51
BIBLIOGRAFIA	53
ANNEXOS:	
A. CABDALS MESURATS	
B. CERTIFICATS DE CALIBRACIÓ PERIÒDICA DE SONÓMETRE I CALIBRADOR	
C. FITXES DE PUNTS	
D. MAPES DE SOROLL	

Índex d'Il·lustracions

Il·lustració 1: Resposta relativa del filtre de ponderació A respecte el nivell de pressió sonora sense ponderar.....	11
Il·lustració 2: Esquema de la legislació de soroll ambiental a l'àmbit nacional	13
Il·lustració 3: Municipi de Montcada i Reixac. Font: https://www.google.com/maps	16
Il·lustració 4: Delimitació dels barris del municipi (color blau) i dels nuclis d'estudi (color vermell) sobre el mapa de zonificació acústica de Montcada i Reixac	17
Il·lustració 5: Traç de les vies de trànsit rodat sobre el mapa de zonificació acústica de Montcada i Reixac.....	17
Il·lustració 6: Traç de les vies de trànsit ferroviari sobre el mapa de zonificació acústica de Montcada i Reixac.....	17
Il·lustració 7: Visió 3D del model de simulació per a soroll de trànsit rodat.....	23
Il·lustració 8: Categories de trens segons el mètode holandès (17).	23
Il·lustració 9: Divisió en trams de velocitat constant de les vies de tren.....	26
Il·lustració 10: Visió 3D del model de simulació per a soroll ferroviari.....	27
Il·lustració 11: Ubicació de punts en el mapa de zonificació acústica de Montcada i Reixac juntament amb les vies de transport estudiades i els edificis especialment protegits acústicament.....	31
Il·lustració 12: Procediment efectuat per a l'ajust dels models de simulació i obtenció dels mapes de soroll.....	37
Il·lustració 13: Comparació dels nivells mesurats i simulats	39
Il·lustració 14: Correlació els nivells experimentals i simulats.....	40
Il·lustració 15: Proposta de mesures de mitigació.....	42
Il·lustració 16: Contorn de la malla emprat per a tot el conjunt de models de simulació	43
Il·lustració 17: Nivell dia-vespre-nit del soroll a trànsit rodat del municipi de Montcada i Reixac a l'estat actual	44
Il·lustració 18: Nivell dia-vespre-nit del soroll ferroviari del municipi de Montcada i Reixac a l'estat actual	44
Il·lustració 19: Nivell dia-vespre-nit del soroll a trànsit rodat i ferroviari del municipi de Montcada i Reixac a l'estat actual	44
Il·lustració 20: Nivell dia-vespre-nit del soroll a trànsit rodat del municipi de Montcada i Reixac a l'estat opeacional.....	45
Il·lustració 21: Nivell dia-vespre-nit del soroll ferroviari del municipi de Montcada i Reixac a l'estat operacional	45
Il·lustració 22: Nivell dia-vespre-nit del soroll a trànsit rodat i ferroviari del municipi de Montcada i Reixac a l'estat actual	45
Il·lustració 23: Nivell dia-vespre-nit del soroll a trànsit rodat i ferroviari del municipi de Montcada i Reixac a l'estat operacional	45

Índex de Taules

Taula 1: Objectius de qualitat acústica per a soroll aplicables a àrees urbanitzades existents	14
Taula 2 Annex A.2 del Decret 176/2009. Objectius de qualitat acústica.[9]	15
Taula 3: Cabdals mesurats de cadascun dels carrers que produeixen afectació als punts mesurats.	22
Taula 4 Assignació de trens de rodalies espanyols a les categories de trens del model holandès de càlcul (18).	24
Taula 5 Velocitat de trens establertes per a cada tram de via (19)	26
Taula 6 Resum de la incertesa de mesura per a LAeq.....	32
Taula 7: Quantitat de cotxes que han circulat per cada punt i incertesa deguda a les condicions d'operació corresponent.	32
Taula 8: Càlcul dels paràmetres que intervenen en la incertesa per soroll de fons	35
Taula 9 Incertesa per a cada punt de mesura	36
Taula 10: Mesures experimentals i incertesa associada	36
Taula 11: Comparació dels valors obtinguts experimentalment dels obtinguts per simulació.....	39
Taula 12: Diferències entre els nivells sonors a l'estat actual i a l'estat operacional (dB).....	46
Taula 13: Avaluació del compliment de la normativa vigent.....	48

INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

Ningú dubta a dia d'avui que la contaminació acústica és un problema que afecta a la qualitat de vida de les persones donat que estem contínuament exposat a fonts sonores que la generen. Concretament, el soroll de trànsit (ja sigui trànsit rodat, ferroviari o aeri) és la font més important de molèstia ambiental. Segons el *Environmental Expert Council of Germany*, la exposició excessiva a aquest tipus de soroll durant períodes llarg de provoca múltiples perills per la salut (1). Donat que el sistema auditiu no descansa, s'ha demostrat que inclús durant el son, aquest soroll pot induir a l'alliberament d'hormones d'estrès com és el cortisol donant lloc a un ventall molt ampli de problemes de salut com poden ser la supressió immunològica, resistència a la insulina, malalties cardiovascular i un llarg etcètera (2). És per aquestes raons que cal un control d'aquestes emissions sonores que permeti mantenir una bona qualitat de vida de les persones. Per aconseguir-ho, és necessari una quantificació de la contaminació acústica, mitjançant mapes de soroll, per tal de identificar el grau d'exposició de la població i poder implementar les mesures mitigadores corresponents.

En aquesta tesina ens centrarem en l'afectació del soroll de trànsit rodat i ferroviari a Montcada i Reixac que, degut a la seva proximitat a Barcelona, es troba altament afectat per aquest. Degut al gran interès en que les línies de transport travessin Barcelona, a Montcada i Reixac es genera un "embut" on coexisteixen multitud de grans carreteres i línies de tren en un municipi inferior a 36.000 habitants (cens del 2018). Mentre a Barcelona tota aquesta gran quantitat de xarxes de transport es troba soterrada o ben condicionada per a generar el mínim impacte acústic (3), a Montcada i Reixac es disposen molt properes a habitatges i dividint diversos nuclis urbans del municipi, la qual cosa ha provocat nombroses denúncies de la situació per part de la població.

L'**objectiu principal** d'aquest treball és **quantificar l'afectació** d'aquestes **vies de transport (trànsit rodat i ferroviari)** tant de forma **experimental** com **simulada** i així analitzar la viabilitat de l'aplicació d'una sèrie de **propostes de mesures correctores** que permetin reduir aquesta afectació.

Com a **objectiu secundari**, davant la impossibilitat de simular mitjançant un software de simulació vies de trànsit rodat i ferroviari de forma simultània, es pretén desenvolupar un procediment que permeti **combinar els resultats obtinguts de ambdós models de simulació** i unificar-los en un sol mapa de soroll que permeti analitzar la seva interacció.

El present treball es desenvolupa en 8 capítols:

- En el *capítol I* es desenvolupa una breu introducció teòrica al elements que es treballaran en aquesta tesina en matèria de soroll ambiental: com es defineix la contaminació acústica i quines eines disposem per a quantificar-la i avaluar-la.
- El *capítol II* resumeix la legislació de soroll vigent a nivell europeu, nacional, autonòmic i municipal.
- El *capítol III* introdueix el cas d'estudi, el municipi de Montcada i Reixac, i descriu les fonts sonores que posteriorment s'avaluaran en aquesta tesina.
- El *capítol IV* exposa el procediment dut a terme per tal de modelitzar el municipi estudiat i quin criteri s'ha seguit alhora de descriure el comportament de les fonts sonores en el model de simulació.
- El *capítol V* descriu el procés de validació del model de simulació que parteix d'unes mesures a camp així com el procediment que s'ha seguit per a efectuar-les i la incertesa associada.
- El *capítol VI* exposa les mesures de mitigació que s'aplicaran al model de simulació amb l'objectiu de reduir els nivells de soroll actuals
- El *capítol VII* presenta i analitza els mapes de soroll de l'estat actual del municipi juntament amb els mapes corresponents als nivells de soroll obtinguts un cop aplicades les mesures de mitigació proposades al capítol anterior.
- El *capítol VIII* exposa les conclusions extrems del treball dut a terme en aquesta tesina.

Per finalitzar aquest Treball de Final de Màster (TFM) que es presenta per a optar el títol de Màster en Enginyeria Acústica per la Universitat Politècnica de València (UPV), es tanca amb una proposta de treballs futurs y un últim apartat de referències.

I. INTRODUCCIÓ TEÒRICA

Per a poder dur a terme un estudi de soroll ambiental cal conèixer algunes de les propietats físiques del so per a poder quantificar-lo i classificar-lo.

1.1 La definició de soroll i el seu origen

El soroll es defineix com un so no desitjat i molest. Es pot descriure objectivament mitjançant paràmetres físics (pressió sonora, components freqüencials, etc.), i, concretament pel camp del soroll ambiental, es defineix mitjançant indicadors de soroll. Tot i així, la seva percepció es totalment subjectiva i depèn de cada individu pel que mai es pot arribar a quantificar amb exactitud el grau de molèstia però sí que es un aspecte que té en compte la psicoacústica (3).

Tot i que el soroll pot tenir un origen natural (pluja, animals en llibertat, etc.) les anomenades fonts sonores artificials són les causants del que anomenem soroll ambiental i estan generades per activitats humanes. Si bé podem trobar fonts sonores puntuals, en les que l'emissió sonora es concentra en un sol punt (com podria ser una fàbrica o una discoteca), en aquest treball les fonts que avaluarem seran fonts lineals, provinents de vies de trànsit rodat i ferroviari, donat que els elements que provoquen el soroll es troba en moviment i distribuïts al llarg d'una línia.

1.1.1 Trànsit rodat

El trànsit rodat és la font de soroll ambiental més generalitzada y la que afecta a un major percentatge de la població. És la que correspon als vehicles a motor que es desplacen per carreteres i carrers, sovint asfaltats.

Es distingeix tres tipus de soroll generat per aquestes vehicles:

- **Soroll mecànic:** generat pels elements que participen en la propulsió exceptuant els pneumàtics. Depèn de la potència que estigui desenvolupant el vehicle i de l'estat dels seus components.
- **Soroll aerodinàmic:** generat per la interacció del vehicle amb l'aire el qual augmenta amb la velocitat, essent inexistent a baixes velocitats del vehicle. Aquest soroll també varia amb forma de la carrosseria.
- **Soroll de rodament:** es produeix per la interacció entre els pneumàtics y la superfície del paviment. És l'únic paràmetre que depèn de l'estat de la via i altres elements com la pluja.

En línies generals, en vehicles lleugers (menys de 3500 kg (4)) circulant per sota dels 60 km/h (zones interurbanes) el soroll predominant serà el de motor, mentre que a altes velocitats guanyarà importància el soroll de rodament i, en menor grau, l'aerodinàmic. També afectaran el tipus de vehicle, vehicles pesats i motocicletes son vehicles més sorollosos que els turismes, i el tipus de conducció, si es una circulació fluida o amb alta freqüència de frenades/arrencades (6).

1.1.2 Trànsit ferroviari

El trànsit ferroviari correspon a circulació de trens i tramvies. Es caracteritza per ser un soroll discontinu donat que es tracten de fenòmens discrets que es donen amb una determinada freqüència.

Novament, es poden diferenciar diversos tipus de soroll:

- **Soroll de tracció:** generat pels elements de propulsió. Solament és significatiu en cas de locomotores dièsel, i predomina a baixes velocitats. S'estableix a 0.5, 2 i 4 metres sobre el carril.
- **Soroll de rodament:** generat per la interacció de la roda amb el carril (predomina a baixes velocitats). S'estableix a 0 i 0.5 metres sobre el carril.
- **Soroll aerodinàmic:** generat per la interacció del tren amb l'aire (predomina a velocitats altes, de tal forma que solament es considera per a trens d'alta velocitat). S'estableix a 0.5, 2, 4 i 5 metres sobre el carril.
- **Soroll de frenada:** generat pel sistema de frenat cada cop que es realitza una aturada. S'estableix a 0 i 0.5 metres sobre el carril.

Val a dir, que a diferència dels cotxes, l'atenuació per distància es més baixa. A més a més, també generen vibracions no quantificables mitjançant micròfons (es mesuren amb acceleròmetres), que poden afectar a habitatges propers a la via, per no mencionar el gran impacte urbanístic que provoca una via fèrria al seu pas per un nucli urbà (6).

1.2 Indicadors de soroll

El soroll és una ona acústica. Es tracta de pressió sonora (tot i que s'expressa en termes de nivells de pressió sonora -SPL- essent els decibels -dB- la seva unitat), que varia en funció del temps, pel que cal establir paràmetres que considerem com a indicadors representatius i ens permeten quantificar-lo (6).

Per a aquest treball, els principals paràmetres que farem servir són els següents:

- *Nivell sonor continu equivalent (Leq)*: Ens permet obtenir un nivell de pressió sonora mitjana a partir d'un registre de molts valors instantanis diferents de tal forma que, per a un temps determinat de mesura T , el nivell continu equivalent posseeix la mateixa energia que el valor fluctuant mig (veure equació 1).

$$L_{eq,T} [dB] = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{P^2(t)}{P_0^2} dt \right) \quad (1)$$

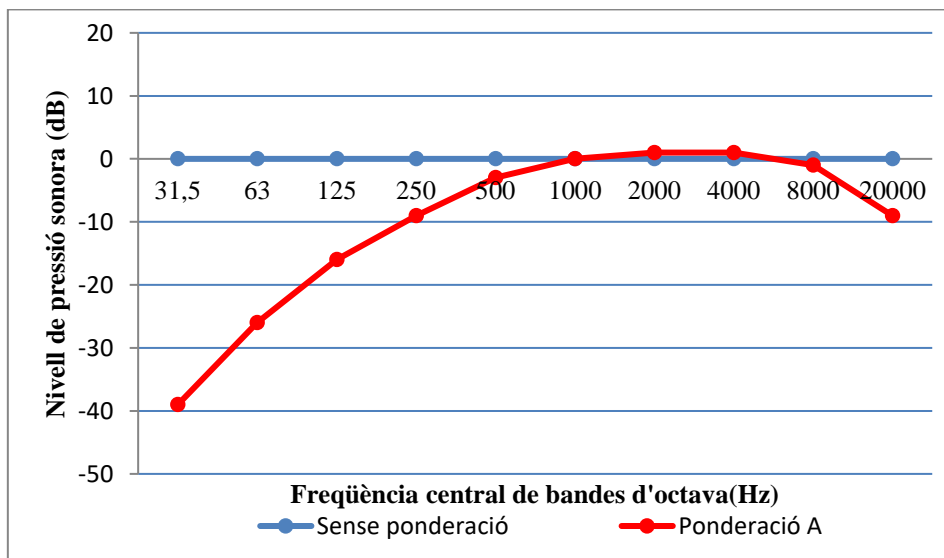
Essent:

T : Interval de temps de mesura [s].

$P(t)$: Pressió sonora per al instant t [Pa].

P_0 : Pressió de referència en aire, 20 μ Pa.

- *Nivell continu equivalent ponderat A (LAeq)*: Es el nivell de pressió sonora continu al que se li aplicat el filtre de ponderació freqüencial A a tot el rang de freqüències de la mesura; la unitat de mesura d'aquest paràmetre és el dBA. Aquest filtre permet tenir en compte el comportament de la oïda humana, que difereix molt de l'espectre que capta un micròfon, penalitzant el soroll a baixa i alta freqüència (veure II·lustració 1). Aquesta ponderació és essencial per a considerar el grau d'impacte d'un soroll en les persones i es l'índex més utilitzat en el camp de la contaminació acústica. En el present treball no serem una excepció i treballarem sempre en termes de dBA.



II·lustració 1: Resposta relativa del filtre de ponderació A respecte el nivell de pressió sonora sense ponderar

- *Nivell estadístic o percentil ($LA_{N\%}$):* És el nivell de pressió sonora ponderat A que ha sigut superat en un percentatge N del temps total de la mesura. Un paràmetre molt utilitzat és el LA_{90} que ens dona el nivell obtingut durant el 90% del temps de la mesura i sovint es fa servir com a indicador del nivell de soroll de fons en casuístiques de no poder independitzar el soroll avaluat del soroll de fons (p. Ex. en una autopista amb tràfic fluid).
- *Nivell de pressió sonora màxim i mínim (LA_{Fmax} i LA_{Fmin}):* Donat que ells nivells sonors registrats són valors instantanis, són necessaris aquests paràmetres que representen el pic màxim i mínim d'un període de mesura en ponderació A. Són molt útils per a avaluar sorolls de caire impulsiu, donat que sovint es pot donar el cas de que un soroll en termes de nivell equivalent pot aparentar no ser molest però al ser molt variable, els seus pics màxims poden ser suficients per a, per exemple, interrompre el son d'una persona.
- *Nivells d'avaluació del soroll ambiental:* Definites amb la ponderació A, permeten definir nivells de sorolls per a l'avaluació i gestió del soroll ambiental i, en el cas que ens ocupa, venen definits pel Decret 176/2009 d'àmbit autonòmic català (7):
 - L_d : Índex de soroll diürn. Indicador de soroll associat a la molèstia diürna. El període del dia que contempla és de 7 H a 21 H.
 - L_e : Índex de soroll vespertí. Indicador de soroll associat a la molèstia vespertina. El període del dia que contempla és de 21 H a 23 H.
 - L_n : Índex de soroll nocturn. Indicador de soroll associat a la molèstia nocturna. El període del dia que contempla és de 23 H a 7 H.
 - L_{den} : Índex de soroll dia-vespre-nit. Indicador de soroll associat a la molèstia global durant 24 H, i és calculat amb la següent equació (veure equació 2):

$$L_{den} = 10 \log_{10} \frac{1}{24} \left(14 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 2 \cdot 10^{\frac{L_e}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_n}{10}} \right) \quad (2)$$

II. NORMATIVA I LEGISLACIÓ

El soroll ambiental no ha tingut tradicionalment una atenció preferent en la normativa protectora del medi ambient ja que no ha estat reconegut com a agent contaminant fins al 1972 en el Congrés de Medi Ambient organitzat per les Nacions Unides a Estocolm (8).

La Unió Europea, al 1996, va prendre consciència de la necessitat d'aclarir i homogeneïtzar l'entorn normatiu del soroll, arribant a la conclusió que és necessari implantar controls adequats sobre els productes generadors de soroll i dur a terme polítiques preventives y reductores del soroll ambiental (9). Així doncs es redacta la Directiva 2002/49/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 25 de juny de 2002, sobre l'avaluació i gestió del soroll ambiental (10).

Caldrà fer referència a la legislació nacional o autonòmica per tal de disposar dels Objectius de Qualitat Acústica que, tal i com el seu nom indica, son els valors d'immissió exterior màxims que es poden registrar en un tipus d'àrea acústica determinada per a assegurar el benestar i la protecció de les persones que hi viuen (mesurats a 4 metres sobre el nivell del sòl).

II.1 Àmbit Nacional

La *LEY 37/2003, del Ruido* es publica el 18 de novembre de 2003 amb l'objectiu de prevenir, vigilar i reduir la contaminació acústica, per a evitar i reduir els danys que aquesta pugui causar a la salut humana, als bens o al medi ambient. Aquesta llei és desenvolupada pel Reial Decret 1513/2005 que la reglamenta pel que fa a l'avaluació i gestió del soroll ambiental, el Reial decret 1367/2007, de 19 d'octubre, que la desplega pel que fa a zonificació acústica, objectius de qualitat i emissions acústiques i pel Reial Decret 138/2012 que modifica aquesta última (veure *Il·lustració 2*).



Il·lustració 2: Esquema de la legislació de soroll ambiental a l'àmbit nacional

La llei 37/2003 actua sobre tots els emissors acústics, ja siguin de titularitat pública o privada, així com les edificacions en termes de receptors acústics. No obstant, la llei exclou les activitats domèstiques (que es deriva a ordenances de convivència i ordenances locals), les activitats militars (que disposen d'una legislació específica) i les activitats laborals (que es regiran per la legislació laboral) (8). Alguns dels aspectes que introdueixen aquestes normatives és la de la elaboració i revisió de mapes de soroll per a obtenir informació dels nivells de soroll ambiental. També s'imposa la delimitació de zones de servitud acústica que pretén compatibilitzar les infraestructures de transport amb els usos i activitats de les zones afectades pel soroll així com la declaració de zones acústiques especials.

El Reial Decret 1367/2007 és el que exposa els objectius de qualitat acústica aplicables a àrees urbanes existents (veure *Taula 1*).

TIPUS D'ÀREA ACÚSTICA		Índex de soroll (dBA)		
		L d	L e	L n
e	Sectors del territori amb predomini de sol d'ús sanitari, docent i cultural que requereixi de protecció contra la contaminació acústica.	60	60	50
a	Sectors del territori amb predomini de sol d'ús residencial.	65	65	55
d	Sectors del territori amb predomini de sol d'ús terciari diferent al contemplat en c)	70	70	65
c	Sectors del territori amb predomini de sol d'ús recreatiu i d'espectacles.	73	73	63
b	Sectors del territori amb predomini de sol d'ús industrial.	75	75	65
f	Sectors del territori afectats a sistemes generals d'infraestructures de transport o altres equipaments públics que ho reclamin. (1)	(2)	(2)	(2)

En aquests sectors del territori s'adoptaran les mesures adequades de prevenció de la contaminació acústica, en particular mitjançant l'aplicació de les tecnologies de menor incidència acústica de les millors tècniques disponibles, d'acord amb l'apartat a), de l'article 18.2 de la Llei 37/2003, de 17 de novembre. (2) En el límit perimetral d'aquests sectors del territori no se superaran els objectius de qualitat acústica per a soroll aplicables a la resta d'àrees acústiques confrontants amb ells.

Taula 1: Objectius de qualitat acústica per a soroll aplicables a àrees urbanitzades existents

Segons la legislació nacional, l'horari diürn ve definit de 7H a 19H, el vespertí de 19H a 23H i el nocturn de 23H a 7H.

II.2 Àmbit autonòmic: Catalunya

A Catalunya la legislació que regula el soroll és la LLEI 16/2002, de 20 de juny, de protecció contra la contaminació acústica. Els trets més significatius d'aquesta Llei són: la consideració de la contaminació acústica des del punt de les immissions; la delimitació del territori en zones de sensibilitat acústica en funció d'uns objectius de qualitat; la regulació d'un règim específic per a les infraestructures de transport, amb l'establiment de zones de soroll per a garantir uns mínims de qualitat acústica en les noves construccions i amb l'establiment de tot un seguit de mesures per a minimitzar l'impacte acústic en les construccions existents afectades per sorolls i vibracions (11).

Aquesta llei es desenvolupa en el Decret 176/2009, de 10 de novembre, pel qual s'aprova el Reglament de la Llei 16/2002, de 20 de juny, de protecció contra la contaminació acústica (7). És a l'Annex A.2 d'aquest on s'especifiquen els Objectius de Qualitat Acústica (OQA) per cada zona de sensibilitat acústica (veure *Taula 2*).

USOS DEL SÒL	Valors límit d'immissió en dB(A)		
	Ld (7h - 21h)	Le (21h - 23h)	Ln (23h - 7h)
ZONA DE SENSIBILITAT ACÚSTICA ALTA (A)			
(A1) Espais d'interès natural i altres	-	-	-
(A2) Predomini del sòl d'ús sanitari, docent i cultural	55	55	45
(A3) Habitatges situats al medi rural	57	57	47
(A4) Predomini del sòl d'ús residencial	60	60	50
ZONA DE SENSIBILITAT ACÚSTICA MODERADA (B)			
(B1) Coexistència de sòl d'ús residencial amb activitats i/o infraestructures de transport existents	65	65	55
(B2) Predomini del sòl d'ús terciari diferent a (C1)	65	65	55
(B3) Àrees urbanitzades existents afectades per sòl d'ús industrial.	65	65	55
ZONA DE SENSIBILITAT ACÚSTICA BAIXA (C)			
(C1) Recreatius i d'espectacles	68	68	58
(C2) Predomini de sòl d'ús industrial	70	70	60
(C3) Àrees del territori afectades per sistemes generals d'infraestructures de transport o altres equipaments públics	-	-	-
Ld, Le i Ln = índexs d'immissió de soroll pel període de dia, vespre i nit respectivament. Valors d'atenció: en les zones urbanitzades existents i per als usos de sòl (A2), (A4), (B2), (C1) i (C2) i per habitatges existents en el medi rural (A3), el valor límit d'immissió s'incrementa en 5 dB(A).			

Taula 2 Annex A.2 del Decret 176/2009. Objectius de qualitat acústica.[9]

A diferència de la legislació nacional, a àmbit autonòmic de Catalunya, l'horari diürn ve definit de 7 H a 21 H, el vesperí de 21 H a 23 H i el nocturn de 23 H a 7 H tal i com s'exposa a l'apartat 2.2.

II.3 Àmbit municipal: Montcada i Reixac

Per sota de la legislació autonòmica trobem l'Ordenança Reguladora del Soroll i les Vibracions (12) de Montcada i Reixac publicada el 12 de febrer de 2012 que es troba adaptada al Decret 176/2009 pel que disposa els mateixos Objectius de Qualitat Acústica.

L'Ajuntament de Montcada i Reixac aprova el 26 de març de 2015 el Mapa de Capacitat Acústica del Municipi de Montcada i Reixac on s'assignen els nivells d'immissió fixats als Objectius de Qualitat Acústica en un territori determinat, establint les zones de sensibilitat acústica, que agrupen les parts del territori amb la mateixa percepció acústica, pels tres períodes temporals diferenciats (dia, vespre i nit), i on també s'incorporen els usos del sòl (13).

Aquest mapa de capacitat acústica és una eina que ens permetrà valorar si actualment es compleixen els nivells que hi son establerts, comparant-los amb els nivells mesurats en la fase experimental i en la simulació.

III. CAS D'ESTUDI

En aquest treball s'estudiarà l'afectació de les principals grans carreteres i vies de tren al seu pas pel municipi de Montcada i Reixac.

III.1 El municipi de Montcada i Reixac.

La vila de Montcada i Reixac (d'ara en endavant, també anomenat com Montcada) es troba a la comarca del Vallès Oriental, província de Barcelona i forma part de l'àrea metropolitana de Barcelona. Limita amb els municipis de Barcelona, Cerdanyola del Vallès, Santa Coloma de Gramenet, Ripollet, Badalona, Sant Fost de Campsentelles, Santa Perpètua de Mogoda i la Llagosta (veure *Il·lustració 3*).



Il·lustració 3: Municipi de Montcada i Reixac. Font: <https://www.google.com/maps>

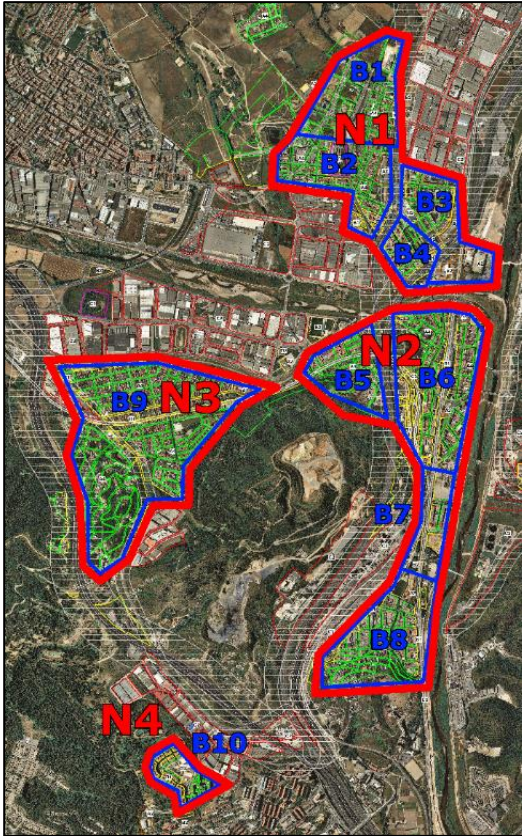
El municipi disposa d'una superfície de 23.5 km² i 35 599 habitants (segons dades recopilades per l'Institut Nacional d'Estadística, actualitzades l'1 de gener de 2018) amb una densitat de 1 514.85 hab/km².

Està format pels següents barris: Can Cuiàs, Can Pomada, Can Sant Joan (Bifurcació), Carrerada (Montcada Nova), Font Pudenta, La Ribera (Valentine), Mas Duran, Mas Rampinyo, Montcada Centre, Pla d'en Coll, Terra Nostra (Santa Maria de Montcada), Vallençana-Reixac.

En aquest estudi solament es tindran en compte els barris afectats per les principals xarxes de transport pel que s'exclou els barris de Can Pomada i Vallençana – Reixac. Tampoc es considerarà l'afectació als polígons industrials donat que no es tracten de receptors sensibles al soroll, tot i així es tindran en compte en el model de simulació per la seva possible influència.

Les zones estudiades es poden dividir en 4 grans nuclis (veure *Il·lustració 4*):

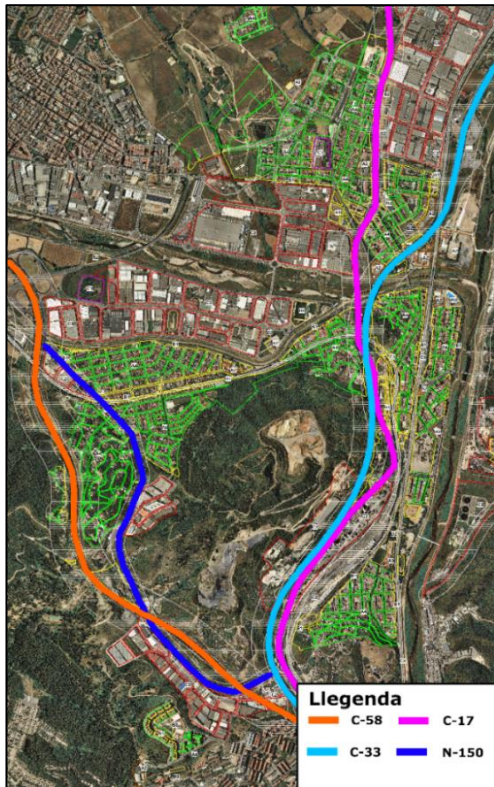
- **Nucli 1:** Ubicada al nord del municipi sobre el riu Ripoll, està format pels barris Mas Duran (B1), Mas Rampinyo (B2), Pla d'en Coll (B3) i Montcada Nova (B4).
- **Nucli 2:** Ubicat a l'est del municipi, conté els barris de Montcada Centre (B6), La Ribera (B7), Cant Sant Joan (B8) i la Font Pudenta (B5).
- **Nucli 3:** Ubicat a l'oest del municipi i format pel barri de Terra Nostra (B9).
- **Nucli 4:** Ubicat al sud del municipi, està format pel barri de Can Cuiàs (B10).



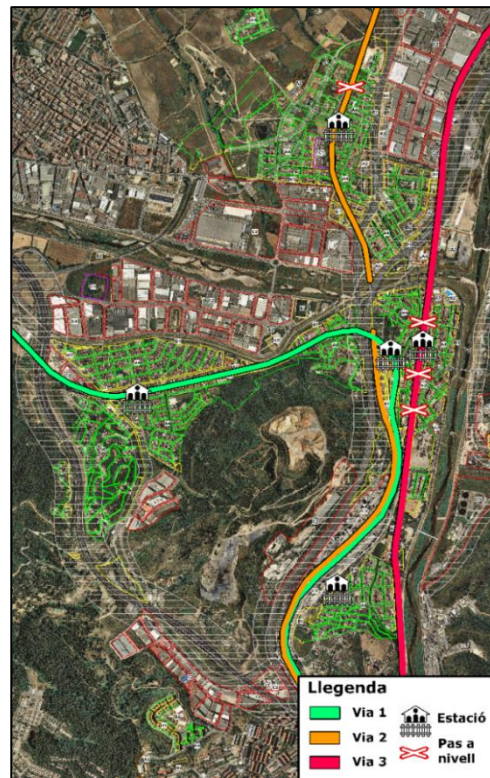
Il·lustració 4: Delimitació dels barris del municipi (color blau) i dels nuclis d'estudi (color vermell) sobre el mapa de zonificació acústica de Montcada i Reixac

Al llistat anterior s'ha fet referència a cada *Nucli* indicat en vermell a la *Il·lustració 4*, però a més, s'ha indicat amb una *B* cadascun dels barris del municipi que pertanyen a cada *Nucli*, indicats en blau a la *Il·lustració 4*.

Tal i com s'ha comentat anteriorment, Montcada i Reixac, per la seva proximitat a Barcelona, és travessada per grans vies de transport, tant de trànsit rodat (veure *Il·lustració 5*) com ferroviari (veure *Il·lustració 6*), que són el que considerarem les nostres fonts sonores lineals a estudiar en aquest treball i que s'exposen a continuació.



Il·lustració 5: Traç de les vies de trànsit rodat sobre el mapa de zonificació acústica de Montcada i Reixac



Il·lustració 6: Traç de les vies de trànsit ferroviari sobre el mapa de zonificació acústica de Montcada i Reixac

III.2 Vies de trànsit rodat

La **C-58** és una autopista de 22 km de longitud que connecta Barcelona amb Terrassa. Al pas per Montcada, la carretera disposa de 3 carrils per a cada sentit amb un carril addicional destinat a vehicles d'alta ocupació. Aquesta via passa propera a Montcada deixant a l'est el *Nucli 3* i *Nucli 4*.

La **C-17** és una autovia de 95 km de longitud que connecta Barcelona amb Ripoll. La carretera disposa de 2 carrils per cada sentit i travessa Montcada de Nord a Sud. En el seu pas pel *Nucli 1* es troba soterrada, deixant a l'oest els barris de Mas Rapinyo i Mas Duran; i a l'est els barris de Pla del Coll i Montcada Nova. Un cop sobrepassat el Riu Ripoll, la carretera es disposa gairebé paral·lela a la C-33 deixant a l'oest la urbanització de Font Pudenta i a l'est la resta de barris que conformen el *Nucli 2*.

La **C-33** és una autopista de peatge de 14 km de longitud que connecta Barcelona amb l'autopista AP-7 a l'alçada de Montmeló. Disposa de 3 carrils per cada sentit i efectua una trajectòria similar a la C-17 amb la diferència que, al nord del riu Ripoll, travessa a l'est del *Nucli 1*. De mateixa forma que la C-17, la carretera es disposa entre la urbanització de Font Pudenta (a l'oest) i la resta de barris que conformen el *Nucli 2*, essent el barri de Montcada-centre el més afectat.

Finalment, la **N-150** és una carretera nacional de 25 km de longitud que era la principal via de comunicació entre Barcelona i Terrassa abans de l'aparició de la C-58. Al seu pas per Montcada i Reixac, aquesta carretera solament disposa d'un carril per cada sentit i amb diversos semàfors que n regulen el trànsit, per aquesta raó, cada matí la densitat de trànsit és molt dens produint afectació principalment al barri de Terra Nostra (*Nucli 3*).

III.3 Vies ferroviàries

Montcada i Reixac disposa de tres línies ferroviàries i cinc estacions de ferrocarril en actiu, quelcom insòlit per a un poble de menys de 40.000 habitants.

En primer lloc, anomenarem **Via 1** a aquella per on circulen les línies R4 i R7, que fan parada a totes les estacions, i la línia R12, que mai fa parada, totes elles de la xarxa de Rodalies de Catalunya. Aquesta via disposa de les estacions Montcada i Reixac-Santa Maria, al barri de Terra Nostra, Montcada i Reixac-Manresa, al barri de Montcada-centre i Montcada i Reixac-Bifurcació, al barri de Can Sant Joan (on s'ajunta amb la línia R3). La Via 1 travessa el *Nucli 2* i el *Nucli 3*, dividint en dos els barris de Terra Nostra i Montcada Centre deixant a l'est el barri de La Ribera i Can Sant Joan.

En segon lloc, anomenarem **Via 2** aquella per on circulen les línies R3 de Rodalies de Catalunya. Aquesta línia fa parada a les estacions de Montcada Ripollet (al barri de Mas Duran) i l'estació de Montcada-Bifurcació. Travessa el *Nucli 1* i el *Nucli 2* i divideix en 2 els barris de Mas Duran i Mas Rapinyó, deixant a l'est els barris de Montcada-Centre (on passa molt propera a habitatges), La Ribera i Can Sant Joan.

Per últim, anomenarem **Via 3** a aquella per on circula la línia R2 que travessa el *Nucli 1* i el *Nucli 2*. La màxima problemàtica que genera aquesta via es la partició del barri de Montcada-centre, on es troba l'única estació per on passa: l'estació de Montcada i Reixa. També passa a l'oest del barri La Ribera i a l'est del barri Can Sant Joan.

III.3.1 Problemàtica amb la línia R2

Des dels últims anys els veïns i veïnes de Montcada i Reixac han exigit a ADIF¹ (*Administrador de Infraestructuras Ferroviarias*) el soterrament d'aquesta línia degut, en part, a la gran quantitat d'atropellaments que es produeixen cada any als passos a nivell d'aquesta línia en el municipi; al setembre de 2018 se'n registraven 172 víctimes mortals (14). A més a més, són moltes les dificultats que es deriven de disposar d'una via ferroviària dividint el centre de la ciutat en dos parts que van des de embussos de trànsit a una contaminació acústica desmesurada.

ADIF, al gener de 2018 adjudica la redacció del projecte de soterrament al ministeri de Foment, amb un cost de 300 000 milions d'euros i es preveu que veurà la llum al 2020 (15). Al novembre de 2018 ja es coneixen alguns aspectes tècnics del projecte com que el soterrament s'efectuarà al llarg de 4 km, des de el barri barceloní de Vallbona, fins a l'alçada del Riu Ripoll detallant els mètodes constructius que es faran servir (16). Al març de 2019 s'inicien les prospeccions geotècniques i geofísiques per a la redacció del projecte de soterrament.

Coneixent aquests detalls, inclourem aquest soterrament previst per l'any 2020 en les propostes de mesures de mitigació exposades al capítol VI i poder avaluar quina millora en els nivells de soroll ambiental s'obté amb un cop estigui implementat aquest projecte.

¹ ADIF, el *Administrador de Infraestructuras Ferroviarias*, és una entitat pública empresarial dependent del Ministeri de Foment. ADIF exerceix un paper principal com a dinamitzador del sector ferroviari, fent del ferrocarril el mitjà de transport per excel·lència i facilitant l'accés a la infraestructura en condicions d'igualtat. Font: <http://www.adif.es>

IV. ELABORACIÓ DEL MODEL DE SIMULACIÓ

El nostre objectiu és el d'elaborar un model de simulació que representi amb la major exactitud possible l'influència de les principals vies de transport en el Municipi de Montcada i validar-lo a partir de mesures de camp a punts que es consideraran especialment afectats per aquestes fonts sonores. Un cop validat, podrem considerar el model com una representació de la realitat acústica del municipi i aplicar-li una sèrie de mesures mitigadores i avaluar com es veu modificada la qualitat acústica de Montcada i Reixac.

Es farà servir el software *Predictor tipus 7810, Brüel & Kjær v7.1*, el qual permet la simulació de mapes de soroll considerant, entre moltes altres coses, el relleu del terreny, els edificis i la ubicació de fonts sonores i receptors tenint en compte les difraccions i reflexions que es poden produir en la interacció de tots aquests elements.

Tal i com s'ha mencionat anteriorment, *Predictor* no permet la simulació de soroll de transit rodad i de transit ferroviari de forma simultània degut a que el mètode de càlcul emprat és diferent. Per aquesta raó es crea un model que solament contempla vies de transit rodad (carrers i carreteres) i un model que contempla vies de tren, únicament.

IV.1 Modelització del municipi

Predictor ens permet modelar un entorn determinat mitjançant una sèrie de objectes (17):

- *Fonts sonores*: són objectes que produeixen soroll a un cert nivell d'emissió i a diverses freqüències, a una determinada direcció i durant determinades hores. En el nostre cas es tracta de fonts definides per una línia que representarà la carretera (*Road*) o la via de tren (*Railway*) en cada cas.
- *Receptors*: són punts on es vol estimar el nivell sonor. Per una banda, es fan servir receptors tipus malla (*Grid*) que permeten establir una sèrie de receptors separats a una certa distància horitzontalment i verticalment, formant una quadrícula, per poder representar visualment el mapa de soroll. I per l'altra banda, es permet establir receptors puntuals (*Receivers*), els quals donen informació de l'emissió a un punt concret; aquests els fem servir com a punts de control, ja que coincideixen amb els punts mesurats de forma experimental, la qual cosa ens permetrà ajustar i validar el model de simulació.

L'alçada dels punts *Receivers* s'establirà a 1.5 metres del nivell del terra, donat que es l'alçada a la que es podrà disposar el sonòmetre, i a 4 metres del sòl es disposarà la *Grid*, altura a la qual es solen presentar els mapes de soroll (4).

- *Obstacles*: són elements que influeixen en la transmissió del soroll. En el cas que ens ocupa es poden tractar de edificis (*Buildings*) o barreres acústiques (*Barrier*).
- *Definició del terreny*: permeten aportat al model informació de las irregularitats del terreny, mitjançant corbes de nivell (*Heigh Line*). També podem donar informació de l'absorció d'aquest terreny mitjançant l'objecte (*Ground Region*) per permetre diferenciar entre un terreny totalment reflectant (factor 0) i un terreny amb alt grau d'absorció (factor 1), com pot ser un terreny amb vegetació.

Per a elaborar un model de tot el municipi s'ha partit d'un arxiu CAD² facilitat pel departament de Medi Ambient de l'Ajuntament de Montcada i Reixac, el qual ha permès importar a *Predictor* la ubicació dels edificis, vies de tren i vies de trànsit rodat, ja siguin petits carrers o autopistes. Mitjançant les corbes de nivell indicades a l'arxiu CAD s'ha pogut introduir manualment el relleu del municipi. Aquest procediment s'ha efectuat de forma aproximada, donat que el relleu es tracta d'un element altament complex i solament s'ha introduït al model de simulació les corbes de nivell que puguin afectar substancialment a la transmissió del so tot indicant les zones que disposen de vegetació.

L'alçada de carreteres i vies de tren també s'ha extret de l'arxiu CAD i introduït manualment. Pel que fa a l'alçada d'edificis, s'ha introduït manualment mitjançant el visor 3D de l'aplicació *Google Maps* (<https://www.google.com/maps>), anotant les plantes de les que disposa cada edifici i considerant 3 metres per planta (i 4 m la planta baixa si l'edifici disposava de baix comercial). Novament, s'efectuen aproximacions alhora de definir aquests valors donada la complexitat dels elements a modelitzar.

IV.2 Modelització del trànsit rodat

Predictor, tal i com ens aconsella la Directiva 2002/49/CE a l'Annex II a tots aquells països que no disposen de mètode de càlcul propi, ens permet fer servir el mètode XPS/NMPB (el mètode francès de soroll de trànsit) per al càlcul de la emissió d'una determinada carretera (10).

El mètode francès de càlcul ens permet establir un nivell d'emissió LE a partir de, principalment, 2 elements: el cabdal de vehicles per hora, i la velocitat. Tots dos diferenciant entre períodes d'horaris, i vehicles lleugers o pesats. També intervenen altres paràmetres com el tipus de asfalt i el tipus de flux (si es tracta d'un flux constant, o bé, un flux intermitent per la existència d'un semàfor o un pas a nivell).

El cabdal de cada via s'ha mesurat experimentalment; en el cas dels carrers s'han efectuat 3 mesuraments de 10 minuts i en el cas de les carreteres (descrites a l'apartat 4.2) s'han efectuat 3 mesuraments de 3 minuts per cada direcció de circulació. Per tal de simplificar el procediment solament s'han mesurat els cabdals en horari diürn, pel que s'estimarà el transit vespertí i nocturn en un 80% i un 20 % del cabdal diürn, respectivament. Val a dir que aquest cabdal mesurat és una aproximació al cabdal real de la via en qüestió i es poden produir variacions respecte la realitat. A continuació es mostren els cabdals de cadascun dels carrers que afecten a cada punt (veure *Taula 3*).

Punt	Nom de la via	Cabdal (vehicles/hora)					
		Vehicles lleugers			Vehicles pesats		
		Diürn	Vespertí	Nocturn	Diürn	Vespertí	Nocturn
1	C/ Palamós	50	40	10	2	2	0
	Av. Catalunya	290	232	58	12	10	2
	C-17 sentit Nord	1807	1445	361	180	144	36
	C-17 sentit Sud	2180	1744	436	227	181	45
2	C/ Sant Ramon	24	19	5	8	6	2
	C/ Alt de Sant Pere	22	18	4	8	6	2
3	C/ Anselm Clavé	172	138	34	18	14	4
	C/ Sant Tomàs	654	523	131	152	122	30
4	C/ Font Freda	316	253	63	16	13	3
	C/ Alacant	48	38	10	2	2	0
5	C/ Francesc Layret	18	14	4	0	0	0
6	C/ San Sebastian	18	14	4	0	0	0
	C-33 Nord	1833	1467	367	93	75	19
	C-33 Sud	2967	2373	593	120	96	24

² Els arxius CAD, de l'angles *computer-aided drafting* és un Sistema de hardware i software emprat per dissenyar i documentar objectes del món real. Per a aquest treball, el software que s'ha emprat per visualitzar i manipular aquest tipus d'arxius és l'*AutoCAD 2019*.

Punt	Nom de la via	Cabdal (vehicles/hora)					
		Vehicles lleugers			Vehicles pesats		
		Diürn	Vespertí	Nocturn	Diürn	Vespertí	Nocturn
7	C/ Barberà	18	14	4	0	0	0
8	C/ Carretera Vella	208	166	42	6	5	1
	C/ Carrer Major	328	262	66	8	6	2
9	C/ Bogatell	78	62	16	2	2	0
	C/ Guadiana	68	54	14	0	0	0
10	C/ Pascual	138	110	28	26	21	5
	Avinguda de la Unitat	76	61	15	15	12	3
11	C/ Molí	12	10	2	0	0	0
12	C/ Viñas	326	261	65	6	5	1
13	C/ Guillerries	10	8	2	2	2	0
	Carretera N-150	1286	1029	257	64	51	13
14	C/ Av. Terra Nostra	192	154	38	14	11	3
	C/ Pujades	28	22	6	5	4	1
15	C/ Monsant	98	78	20	4	3	1
	C/ del Priorat	14	11	3	0	0	0
16	C/ Pere Quart	0	0	0	0	0	0
17	C/ Carlos Rabassó	4	3	1	0	0	0
	C/ Pere Quart	0	0	0	0	0	0
	C-58 sentit Nord	4087	3269	817	207	165	41
	C-58 sentit Sud	4707	3765	941	167	133	33
18	C/ Passatge Wagner	190	152	38	8	6	2
	C/ de la Circumval·lació	162	130	32	6	5	1
19	C/ Petúnies	52	42	10	16	13	3

Taula 3: Cabdals mesurats de cadascun dels carrers que produeixen afectació als punts mesurats.

A l'Annex A es pot veure els cabdals mesurats en cadascuna de les mesures realitzades.

Pel que fa a al velocitat de circulació dels vehicles per la via, s'ha establert segons la velocitat màxima permesa a cada tram i una estimació de les observacions a camp. En el cas dels carrer, la velocitat s'estableix entre 30 i 50 km/h (velocitats baixes on predominarà el soroll de tracció i rodament). Pel que fa a les carreteres, es considerarà 100 km/h, de velocitat mitja a totes elles, excepte per als vehicles pesats de la C-17 que s'establirà en 90 km/h.

A continuació es mostra una imatge en 3D del model de simulació de Montcada i Reixac per a soroll de trànsit rodat:

















Il·lustració 7: Visió 3D del model de simulació per a soroll de trànsit rodat

IV.3 Modelització del trànsit ferroviari

De igual forma que en el cas de la modelització de carreteres, *Predictor* disposa del mètode de càlcul per a vies de tren que ens recomana la Directiva 2002/49/CE. Es tracta del mètode de càlcul RMR/SRM2 (mètode de càlcul dels Països Baixos per a soroll ferroviari).

Aquest mètode de càlcul es basa en la selecció de certs models de trens holandesos (veure *Il·lustració 8*) dels quals ja es coneixen les seves emissions acústiques per cada tipus de soroll explicats al apartat I.1.2.

categorie	
1	 mat 64 (2)
2	 ICR (5)
	 ICM-III (3)
3	 SGM-II/III (2)
	 DDM-1 (5)
4	 cargo (5)
5	 DE (2)
6	 DH (1)
8	 DDM-2/3 + 1700 (4)
	 DDM-2/3 + mDDM (4)
8	 ICM-IV (4)
	 IRM-III/IV (3)
9	 SM 90 (2)
	 Thalys (5 waarvan 1 motorbak)

Il·lustració 8: Categories de trens segons el mètode holandès (17).

ADIF, per tal de cenyir-se a aquest mètode de càlcul, encarrega a CEDEX (Centre d'Estudi i Experimentació d'Obras Públiques), a l'Octubre de 2006, un informe que ajusti les diferents tipologies de trens espanyols en línies convencionals al model holandès de càlcul [18].

Els resultats d'aquest estudi, pe a trens de Rodalies, es troben sintetitzats en la següent taula:

RODALIES	Frens	Tipus de motor	Vmax [km/h]	Número de cotxes	Categoria acústica	
Rodalies sèrie 440	100% disc	Elèctric	140	3 6	8	
Rodalies sèrie 447	100% disc	Elèctric	120	3 6	8	
Rodalies sèrie 446	100% disc	Elèctric	100	3 6	8	
Rodalies sèrie 450 i 451	100% disc	Elèctric	140	3 6	V ≤ 60 km/h	V ≥ 60 km/h
				2	5	
Altres rodalies	100% disc	Elèctric	Variable	3 6	8	
Civia	100% disc	Elèctric	120	5	8	

Taula 4 Assignació de trens de rodalies espanyols a les categories de trens del model holandès de càlcul (18).

En el cas que ens ocupa, els models que circulen per les línies de Rodalies són els següents (Font: <http://ferropedia.es/>):

- *Civia de Alstom*: Trens de majoritàriament 5 cotxes (Sèrie 465) tot i que de forma ocasional pot circular el model de 4 cotxes (Sèrie 464) i 3 cotxes (Sèrie 463) sempre acoblats a un de Sèrie 465. Cada cotxe mesura 20 metres de longitud, pesa 40 tones i te una capacitat d'entre 600 i 900 viatgers. Circulen habitualment dos unitats acoblades per la R2: dos unitats de la Sèrie 465 o bé una unitat de la Sèrie 465 amb una unitat de la Sèrie 464 o 463. També circula una unitat de la Sèrie 465 tant per la línia R4 com la R7.
- *Sèrie 447*: Trens de 3 cotxes on cadascun té una longitud de 25 metres i pesa 50 tones amb una capacitat total de 200 viatgers. Circulen habitualment per la R3 (una o dues unitats), per la R4 (dues unitats) i per la R7 (una unitat).
- *Sèrie 450 i 451*: Trens de 2 pisos també del fabricant Alstom. La Sèrie 450 disposa de 6 cotxes mentre que la Sèrie 451 de 3 i cadascun d'ells mesura 25 metres i pesa 60 tones. Solament circula per la R2 tant la Sèrie 450 com la Sèrie 451 (amb dues unitats acoblades).

Tal i com es pot observar, per cada línia circulen diversos tipus de tren pel que caldria modelitzar diverses vies per a cada model de tren i comptabilitzar quina quantitat de trens circulen de cadascun, el que és inassolible. Així doncs, seleccionarà un model de tren, el de circulació més freqüent, per a cada via (1, 2 i 3) considerant que les variacions en els nivells d'emissió efectuant aquesta simplificació son poc substancials.

En primer lloc, considerarà que per la **Via 1** circulen trens de la sèrie 465 -Civia- (una unitat) que correspon a la categoria 8 del model holandès.

En segon lloc, pel que fa a la **Via 2** circulen trens de la sèrie 447 que, tant per al model de 3 unitats com pel de 6, correspon a la categoria 8 del model holandès.

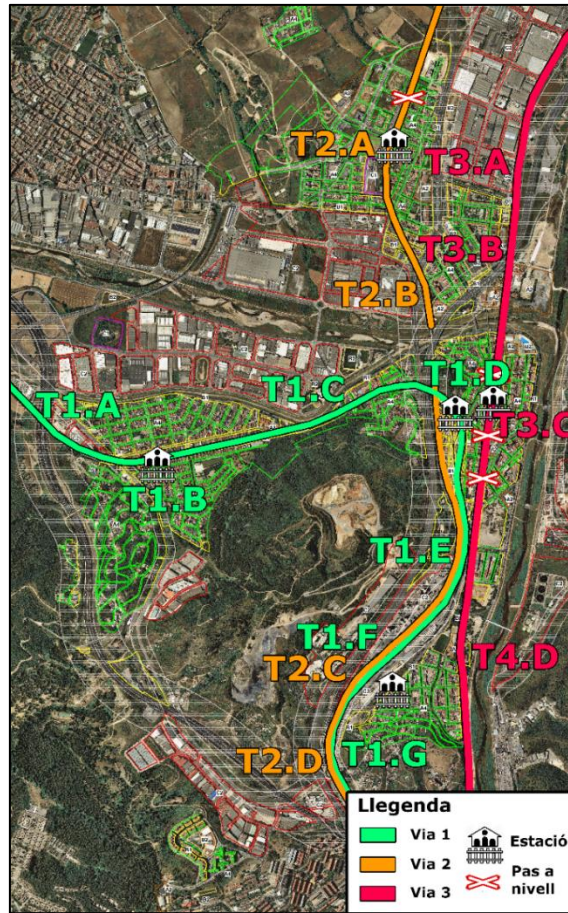
Per últim, per la **Via 3** circulen trens del a sèria 465 -Civia- que, en aquest cas, la majoria són de 2 unitats pel que es correspon a la categoria 8 del model holandès però caldrà indicar un "2" al paràmetre de correcció que ens permet indicar el *Predictor*, tal i com dicta el manual [15].

Així doncs, per a totes les vies tenim en compte trens de la categoria 8 del mètode holandès els quals solament tenen en compte el soroll de rodament (a 0 i 0.5 metres sobre el carril) menyspreant el soroll de tracció (doncs es tracta de trens elèctrics) i aerodinàmic (que solament es considera per a trens d'alta velocitat).

Un cop identificat la donat categoria de tren que circularà per cadascuna de les vies cal quantificar quin és flux de trens que hi circula. Per a obtenir-lo de forma precisa, ens basem en els horaris per a dies laborals que disposa RENFE (Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles) a la seva pàgina web (<http://www.renfe.com/viajeros/cercanias/barcelona/>) que es tracta d'un trànsit constant que ens permetrà distingir el flux diürn, vespertí i nocturn.

El següent paràmetre a descriure és la velocitat al a que circulen els trens en cadascuna de les vies. Per tal de simplificar aquest punt, s'ha aproximat la complexa fluctuació de velocitat que efectuen els trens a trams de velocitat constant. Aquestes velocitats s'han determinat basant-nos en el *Quadre de Velocitats Màximes* publicat per ADIF (19). A més a més, s'ha imposat una velocitat constant de 50 km/h al pas per les estacions, simplificant d'aquesta forma el procés de frenada i arrencada que es produeix (no es tindrà en compte, per tant, el soroll produït per les frenades).

Així doncs, es defineixen els següents trams de velocitat constant (veure Il·lustració 9):



Il·lustració 9: Divisió en trams de velocitat constant de les vies de tren

La velocitat per cada tram és la següent (veure Taula 5):

Velocitats dels trens per tram de via					
Via 1		Via 2		Via 3	
Tram de via	V [km/h]	Tram de via	V [km/h]	Tram de via	V [km/h]
T1.A	90	T2.A	50*	T3.A	120
T1.B	50*	T2.B	85	T3.B	80
T1.C	95	T2.C	50*	T3.C	50*
T1.D	50*	T2.D	70	T3.D	70
T1.E	85				
T1.F	50*				
T1.G	70				

(*) Pas per una estació de tren

Taula 5 Velocitat de trens establertes per a cada tram de via (19)

Per acabar, l'últim paràmetre que ens permet descriure l'emissió de les vies ferroviàries és el tipus de via, que en el nostre cas es tracta de vies de formigó (*Concrete sleepers*).

A continuació es mostra una imatge en 3D del model de simulació de Montcada i Reixac per a soroll ferroviari (veure *Il·lustració 10*):



Il·lustració 10: Visió 3D del model de simulació per a soroll ferroviari

V. VALIDACIÓ DEL MODEL

Un cop dissenyat el model de simulació cal ser conscient que no deixa de ser una representació de la realitat i que, per tant, cal assegurar que els valors obtinguts per aquest son representatius del cas estudiat. Per fer-ho, es seleccionen diversos punts receptors dels que es prendran mesures experimentals. es considerarà que el model es troba ajustat quan aquestes mesures experimentals coincideixin amb les obtingudes per simulació amb una tolerància de ± 3 dB (degut a la immensa incertesa que tenim en mesures d'acústica ambientals, on no controlem res del nostre voltant).

Els mesuraments s'han realitzant segons les directius establertes a la norma ISO 1996-2 (4) tot i que s'han establert certes desviacions per temes purament pràctics que explicarem detalladament al llarg d'aquest capítol.

Els equips emprats per les mesures són propietat de l'empresa AB AUCATEL Inspección y Control S.L.U i són els següents:

- Sonòmetre tipus 1 marca Bruel & Kjaer i model 2250 amb N.sèrie: 2579868
- Calibrador tipus 1L marca Bruel & Kjaer i model 4231 amb N.sèrie: 2583649
- Pantalla paravent Bruel & Kjaer
- Anemòmetre i estació meteorològica marca EHDIS i model LH-300 amb N.sèrie: 01705097
- Trípede marca GITZO model UA-0801

Abans i després de cada mesura s'ha verificat el micròfon de l'aparell mitjançant el calibrador emetent un to de 1000 Hz a 94 dBA, s'ha considerat que l'equip es troba en bon estat per efectuar la mesura si el nivell registrat es trobava entre 93.5 i 94.5 dBA. En totes les mesures s'ha complert aquesta condició.

A l'*Annex B* es mostren els certificats periòdics de calibració de sonòmetre i calibrador.

Adicionalment s'han registrat les condicions meteorològiques de temperatura, humitat relativa i velocitat del vent, per tal de comprovar que aquestes són representatives de la zona de mesura així com no superar els 5 m/s de velocitat del vent tal i com estableix el Decret 176/2009 (7).

Tal i com dicta la norma ISO 1992-2 (4), no s'han efectuat mesuraments en situacions de pluja, gel o que la carretera o els rails puguin estar mullats.

A l'*Annex C* es troben les fitxes de cadascun dels punts, on es pot veure la ubicació del punt, les condicions meteorològiques registrades durant la mesura així com els nivells mesurats i a quina data i hora corresponen.

V.1 Durada de les mostres i data de les mesures

El soroll que estem avaluant és generat pel conjunt de vehicles que circulen per la via, ja siguin trens o cotxes. Amb el pas d'un sol vehicle, per a un receptor ubicat a prop de la via, es registra un augment del nivell sonor fins a arribar a un pic màxim de mesura, seguit d'una caiguda gradual conforme s'allunya. Aquest fenomen el trobem quan mesurem carrers amb poca circulació de vehicles o vies ferroviàries. Quan mesurem vies amb molta afluència de vehicles i el flux es pot considerar continu, com és el cas de grans carreteres o carrers molt transitats, es pot considerar com una font estable amb poca variabilitat al llarg del temps durant tot el període vigent.

Per tal d'obtenir mesures estables y representatives se consideraran tres mesures de 10 minuts cadascuna, amb una separació entre ells de 10 minuts. Malauradament, donat que la disposició dels equips de mesura és limitada solament es mesurarà en horari diürn, entre les 8 H i les 12 H. Per a la resta de períodes (vespertí i nocturn), farem una estimació considerant l'experiència d'altres mesures en condicions similars, tal que considerarem que el període vespertí correspondrà a una decaiguda del 20% de cabdal de tràfic, respecte del diürn, i el nocturn sofrirà una decaiguda del 80%. Així doncs, podrem obtenir valors estimats per a la resta de períodes del dia, a pesar de tenir mesures únicament durant el període diürn, i poder calcular l'indicador de soroll corresponent a 24 H (L_{den}).

Segons la ISO 1996-2, per a l'avaluació de vies ferroviàries cal registrar un mínim de 20 circulacions de tren per cada mesura. Donat que circula un tren amb una freqüència d'entre 4 i 13 minuts, grans trets, els temps de mesura alhora d'avaluar vies de tren se situa entre 1 i 4 hores, fet que resulta totalment inviable efectuar la mesura cenyint-nos a aquesta directriu. Tot i que la durada de les mesures ha sigut de 10 minuts, en els punts que s'ha avaluat vies de tren s'ha registrat el pas d'entre 2 i 3 ferrocarrils, obtenint valors estables, el que serien extrapolables a la durada requerida per la norma.

Les mesures experimentals s'han dut a terme durant els passats mesos de novembre i desembre (de 2018) i maig de 2019.

V.2 Distribució espacial dels punts de mesura

Els punts de mesura s'han determinat per tal de cobrir totes les zones afectades per les vies de transport que volem analitzar i així caracteritzar-les representativament, procurant no registrar l'afectació d'altres fonts sonores. També s'han establert alguns punts de mesura propers a zones acústicament sensibles, com habitatges, escoles i hospitals, donat que l'objectiu de quantificar el soroll ambiental a la població és reduir els nivells sonors que els afecten greument. Així doncs, es cobreixen casos de proximitat a les zones sensibles, casos directes d'estudi de la font sonora i d'altres on s'han registrat queixes de soroll dels veïns, transmeses per via directa establint conversació amb la població del municipi i facilitades pels tècnics de l'Ajuntament de Montcada i Reixac.

La norma ISO 1996-2 estableix que, per a zones residencials amb edificis d'una sola planta, l'alçada del micròfon ha de situar-se a 1.2 ± 0.5 m o a 1.5 ± 0.5 m. Mentre que, per a zones residencials amb edificis de més d'una planta es requereix que l'alçada sigui de 4 ± 0.5 m.

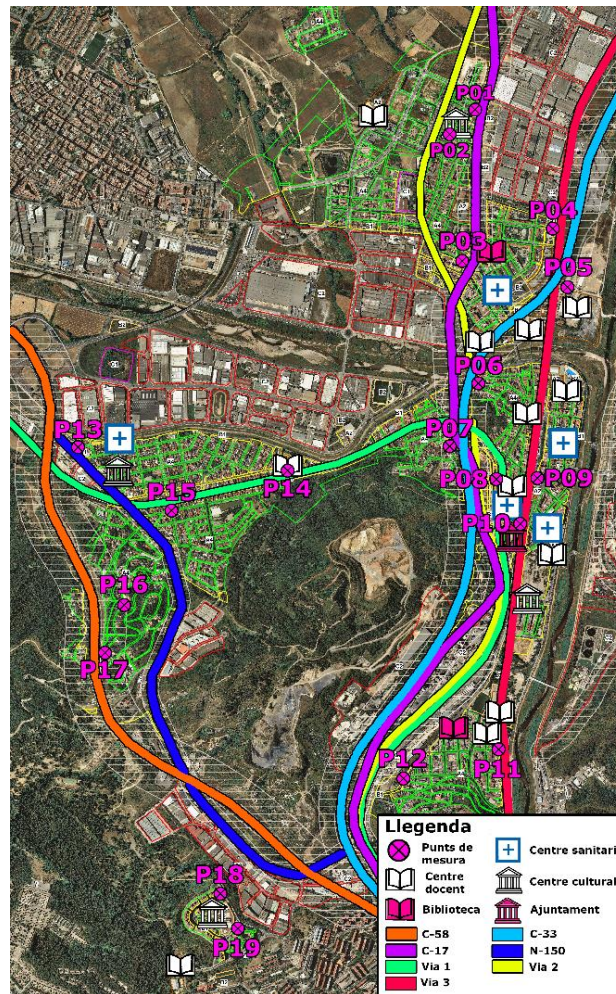
Tot i que la majoria de punts de mesura es troben a zones residencials amb edificis de més d'una planta, a la pràctica les mesures s'han realitzat amb el micròfon elevat a 1.5 m sobre el nivell del terra, donat que no es disposa del recursos requerits per elevar el micròfon a 4 metres.

Els punts seleccionats són els següents:

- Punt P01: Es troba a l'Av. Catalunya en l'encreuament amb C/ Palamós. Avalua el soroll generat per la **C-17** al nord del *Nucli 1*.
- Punt P02: Es troba al C/ Sant Ramon en l'encreuament amb l'Alt de Sant Pere. Avalua l'afectació de la **Via 1** al seu pas pel *Nucli 1*.
- Punt P03: Es troba a la Plaça d'Espanya, concretament a l'encreuament entre el C/ Anselm Clavé i Sant Tomàs. Aquesta plaça es tracta d'una rotonda per on travessa la **C-17** per sota d'aquesta, tractant-se d'un túnel no cobert pel que des d'aquesta localització es pot avaluar l'afectació de la **C-17** al seu pas pel sud del *Nucli 1*.
- Punt P04: Ubicat al camí de Font Freda en el seu encreuament amb el C/ d'Alacant per avaluar l'autopista **C-33** juntament amb la **Via 2** al seu pas pel *Nucli 1* a l'est.
- Punt P05: Ubicat al C/ de Francesc Layret, davant del *Col·legi Públic Font Freda* i proper a la *Guarderia municipal Font Freda*. Permet avaluar l'afectació de la carretera **C-33** i la **Via 3** en aquests receptors sensibles pertanyents al *Nucli 1*.
- Punt P06: Ubicat al revolt de C/ Sant Sebastià proper a l'autopista **C-33** al seu pas pel *Nucli 2*, donat que es troba a escassos metres i a la mateixa alçada. També pot haver contribució de la **C-17** que circula a una alçada inferior.
- Punt P07: Ubicat al C/ Baberà núm. 2, a la part més elevada del barri de Font Pudenta per avaluar l'afectació de la **C-33** i la **C-17** al seu pas pel *Nucli 1*, tot i que pot haver contribució de la **Via 1**. Aquest punt es troba proper al cementiri municipal.
- Punt P08: Ubicat al C/ Major núm. 136 per tal d'avaluar la **Via 1** al seu pas pel sector nord del *Nucli 1* (barri de Montcada-centre).

- Punt P09: Ubicat al C/ Guadiana en el seu encreuament amb C/ Bogatell, just davant d'un dels passos a nivell dels que disposa la **Via 3** al seu pas pel nord *Nucli 2*. Concretament, el punt es troba al barri de Montcada-centre proper a l'*Escola Bressol* i al *CAP Montcada i Reixac*.
- Punt P10: Ubicat a l'Av. de la Unitat en el seu encreuament amb C/ Pasqual, on es troba un dels passos a nivell dels que disposa la **Via 3** al seu pas pel centre del *Nucli 2*. Concretament, el punt es troba al barri de Montcada-centre, proper al *Centre Mèdic Mont-Reix* i l'*Ajuntament de Montcada i Reixac*.
- Punt P11: Ubicat al C/ Carril en el seu encreuament amb C/ Molí per avaluar la **Via 3** al seu pas per la zona sud del *Nucli 2* (barri de Cant Sant Joan).
- Punt P12: Ubicat al C/ Bateria en el seu encreuament amb el C/ Viñas per tal d'avaluar la **Via 1** i la **Via 2** al seu pas per l'estació de Montcada Bifurcació al sud del *Nucli 2*, al barri de Can Sant Joan.
- Punt P13: Punt ubicat al C/ Guilleries en el seu encreuament amb la carretera **N-150**. Aquest punt ens permet avaluar l'afectació produïda per aquesta carretera, tot i que també hi pot haver contribució per la **C-58**.
- Punt P14: Punt ubicat a l'Av. Terra Nostra en el seu encreuament amb C/ Antoni Pujades just davant del Col·legi públic Mitja Costa. Avalua el soroll generat per la **Via 1** al seu pas per l'est del *Nucli 3*.
- Punt P15: Ubicat al C/ Montsant en el seu encreuament amb el C/ Priorat, proper a l'estació Montcada i Reixac-Santa Maria, per avaluar el soroll generat per la **Via 2** al seu pas per l'interior del *Nucli 3*.
- Punt P16: Ubicat al C/ Pere Quart núm. 44 dins de la zona rural del sud del *Nucli 3* (barri de Terra Nostra) afectat pel pas de la **C-58**.
- Punt P17: Ubicat al C/ Pere Quart en el seu encreuament amb l'Av. Rabassó. De la mateixa forma que el punt 16, es troba al sud del *Nucli 3* i està afectat pel pas de la **C-58**.
- Punt P18: Ubicat al C/ Petúnies en el seu encreuament amb el C/ Camèlies. Permet avaluar l'afectació de la **C-58** al nord del *Nucli 4* (barri de Can Cuiàs).
- Punt P19: Ubicat al C/ de la Circumval·lació al seu encreuament amb el Passatge Wagner. Permet avaluar l'afectació de la **C-58** al sud del *Nucli 4* (barri de Can Cuiàs).

En el següent mapa (veure *Il·lustració 11*) es situen els punts seleccionats juntament amb les vies de transport estudiades i els edificis que requereixen especial protecció al soroll:



Il·lustració 11: Ubicació de punts en el mapa de zonificació acústica de Montcada i Reixac juntament amb les vies de transport estudiades i els edificis especialment protegits acústicament

V.3 Incertesa de les mesures

Els mesuraments són el mitjà a través del qual podem quantificar un fenomen real en forma de magnitud, índex o paràmetre. Paradoxalment, mai es podrà arribar obtenir el valor exacte donat que aquest és alterat per molts factors, com són el sistema emprat per fer la mesura, el procediment que es fa servir, les condicions de l'entorn, etc. D'aquesta forma, si es reproduïx la mesura en les mateixes condicions un determinat nombre de vegades s'obtingran diversos valors que permetran estimar el valor real amb una certa dispersió. Com més petita sigui aquesta dispersió més gran serà la precisió de la mesura.

Al efectuar una mesura és important conèixer i quantificar aquesta desviació que anomenarem incertesa de la mesura. La Guia per a l'Expressió de la Incertesa de Mesura (20) (GUM, pel seu nom en anglès) estableix normes generals per avaluar i expressar la incertesa de les mesures. Aquestes directrius inclouen totes les magnituds que poden intervenir de manera significativa en la incertesa associada al resultat essent aplicable a qualsevol camp científic on intervinguin procediments de mesura.

Per al cas que ens ocupa, la norma UNE-EN ISO 1996-2 dona algunes directrius de com calcular la incertesa per a mesuraments de pressió sonora (veure Taula 6), la qual s'expressa com una incertesa expandida, basada en la incertesa típica combinada (σ_c) multiplicada per un factor de cobertura igual a 2, proporcionant una cobertura d'aproximadament el 95%.

INSERTESA TÍPICA					
Deguda a la instrumentació:	Deguda a les condicions d'operació:	Deguda a les condicions meteorològiques i de sòl:	Deguda al soroll residual:	INCERTESA TÍPICA COMBINADA:	INCERTESA DE MESURA EXPANDIDA:
W (dB)	X (dB)	Y (dB)	Z (dB)	$\sigma_t = \sqrt{W^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$ (dB)	$\pm 2.0\sigma_t$ (dB)

Taula 6 Resum de la incertesa de mesura per a LAeq

V.3.1 Incertesa deguda a la instrumentació

La incertesa deguda a la instrumentació (W) s'estableix en 1 dB en cas de que es tracti de instrumentació de classe 1 de la Norma IEC 61672-1:2002 com és el cas que ens ocupa (4).

V.3.2 Incertesa deguda a les condicions d'operació

Al mesurar vies de trànsit rodat o ferroviari estem fent una mitjana de la variació de soroll de cada vehicle individual pel que, a major circulació de vehicles major precisió de mesura i menor incertesa.

La incertesa típica d'operació (X) es pot aproximar segons la següent expressió (veure equació 3):

$$X(\text{dB}) = \frac{10}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Essent n el nombre de vehicles totals (lleugers i pesats) que han circulat durant la mesura.

A la Taula 7 es mostren el número total de vehicles que han circulat durant la mesura de cadascun dels punts i la incertesa deguda a les condicions d'operació corresponent.

Punt	n	$X(\text{dB})$	Punt	n	$X(\text{dB})$
P01	790	0.36	P11	2	7.07
P02	10	3.16	P12	55	1.34
P03	897	0.33	P13	2278	0.21
P04	898	0.33	P14	39	1.60
P05	838	0.35	P15	19	2.27
P06	838	0.35	P16	1526	0.26
P07	1569	0.25	P17	1527	0.26
P08	92	1.04	P18	1587	0.25
P09	25	2.01	P19	1538	0.26
P10	36	1.67			

Taula 7: Quantitat de cotxes que han circulat per cada punt i incertesa deguda a les condicions d'operació corresponent.

V.3.3 Incertesa deguda a les condicions meteorològiques i de sòl

La incertesa deguda a les condicions meteorològiques i de sòl (Y) té en conter el tipus de paviment i l'oratge d'on s'ha realitzat la mesura. Ve caracteritzada pel radi de curvatura de la trajectòria sonora.

Per a una superfície de terreny dura entre la font i el receptor en mesures de llarga duració, les variacions en les condicions de sòl son importants. En canvi, per a mesures de poca duració, com és el nostre cas, les variacions en les condicions de sòl i meteorològiques son molt petites i s'estimen en una incertesa de 0.5 dB.

V.3.4 Incertesa deguda al soroll residual

La incertesa deguda al soroll residual (Z) es defineix com la combinació del nivell total i del soroll residual. Ve definida per la següent equació (veure *equació 4*) :

$$Z = C_r \cdot Z_r \quad (4)$$

On C_r és la sensibilitat residual mitjana per a cada punt de mesura i Z_r la incertesa del nivell sonor residual per a cada punt de mesura.

- **La sensibilitat residual (C_r)** és un paràmetre que depèn únicament del nivell de pressió mesurat (L_m) respecte el nivell de pressió sonora residual (L_r , també anomenat soroll de fons). La sensibilitat residual caldrà calcular-la per a cadascuna de les mesures efectuades en un punt (en el nostre cas, recordem que es tracta de 3 repeticions per a cada punt) segons la següent expressió (veure *equació 5*), per a després obtenir el paràmetre C_r calculant-ne la mitjana:

$$C_{r,i} = \frac{10^{\frac{L_r}{10}}}{10^{\frac{L_r}{10}} - 10^{\frac{L_r}{10}}} \quad (5)$$

On $C_{r,i}$ és la sensibilitat residual per a cada mesura i , L_r el nivell de pressió residual de la mesura i L_t el nivell de pressió sonora mesurat.

Degut a la impossibilitat de mesurar el soroll de fons, donat que el soroll que ens interessa avaluar es troba integrat amb tot el soroll ambiental, s'ha pres el percentil L_{A95} de cadascuna de les mesures com a soroll de fons (L_r) mentre que el nivell de pressió sonora mesurat correspon al paràmetre L_{Aeq} .

- **La incertesa del nivell sonor residual (Z_r)** depèn de les desviacions típiques dels nivells de pressió mesurats i dels nivells de pressió corregits segons la següent expressió (veure *equació 6*):

$$Z_r = \sqrt{\sigma_s^2 - \sigma_0^2} \quad (6)$$

On σ_s és la desviació dels nivells de pressió corregits i σ_0 és la desviació dels nivells de pressió mesurats.

Per a obtenir el nivell de pressió corregit per a cada mesura caldrà aplicar una correcció per soroll de fons a totes aquelles en les que el nivell de pressió sonora residual es trobi entre 3 i 10 dB per sota del nivell de pressió sonora mesurat. Així doncs, per a totes aquelles mesures on es compleixi aquesta condició, caldrà calcular el nivell corregit segons la següent expressió (veure *equació 7*).

$$L_c = 10 \log (10^{\frac{L_m}{10}} - 10^{\frac{L_r}{10}}) \quad (7)$$

On L_c és la pressió sonora corregida, L_m la pressió sonora mesurada i L_r la pressió sonora residual.

A l'efectuar aquest procediment per a cadascun dels punts de mesura s'obté la següent taula (veure Taula 8):

Punt	L_{Aeq} / L_r	L_{A95} / L_m	Dif. ($L_{Aeq} - L_{A95}$)	L_c	$C_{r,i}$	Cr	σ_0	σ_s	Z_r	Z
P01	70.03	64.24	5.79	68.70	0.36	0.32	0.0400	0.1073	0.0996	0.03
	69.99	63.63	6.36	68.85	0.30					
	70.07	63.77	6.3	68.91	0.31					
P02	52.25	46.44	5.81	50.93	0.36	0.54	1.0971	1.0732	0.0000	0.00
	54.39	49.81	4.58	52.53	0.53					
	52.9	49.19	3.71	50.49	0.74					
P03	67.62	55.81	11.81	67.62	0.07	0.09	0.7396	0.7396	0.0000	0.00
	68.87	58.48	10.39	68.87	0.10					
	67.56	56.65	10.91	67.56	0.09					
P04	67.48	57.52	9.96	67.02	0.11	0.12	0.2554	0.2702	0.0881	0.01
	67.6	57.83	9.77	67.12	0.12					
	67.11	57.5	9.61	66.61	0.12					
P05	57.68	51.49	6.19	56.49	0.32	0.24	0.7434	0.9518	0.5943	0.15
	59.13	51.48	7.65	58.31	0.21					
	58.69	51.07	7.62	57.87	0.21					
P06	62.61	57.93	4.68	60.80	0.52	0.55	0.2957	0.2632	0.0000	0.00
	62.42	57.97	4.45	60.49	0.56					
	63	58.65	4.35	61.01	0.58					
P07	65.54	62.75	2.79	65.54	1.11	0.98	0.4419	1.8539	1.8004	1.77
	65.57	62.53	3.04	62.59	0.99					
	64.79	61.41	3.38	62.12	0.85					
P08	62.18	50.89	11.29	62.18	0.08	0.13	0.4761	0.8433	0.6960	0.09
	62.95	52.12	10.83	62.95	0.09					
	62.08	54.41	7.67	61.27	0.21					
P09	67.25	57.58	9.67	66.75	0.12	0.07	1.0060	1.2907	0.8086	0.06
	69.1	56.68	12.42	69.10	0.06					
	68.86	53.33	15.53	68.86	0.03					
P10	67.07	51.71	15.36	67.07	0.03	0.03	2.6631	2.6631	0.0000	0.00
	67.25	52.6	14.65	67.25	0.04					
	71.77	56.85	14.92	71.77	0.03					
P11	58.8	44.21	14.59	58.80	0.04	0.03	1.5213	1.5213	0.0000	0.00
	61.43	44.34	17.09	61.43	0.02					
	58.79	43.45	15.34	58.79	0.03					
P12	63.44	53.37	10.07	63.44	0.11	0.12	0.4727	0.4599	0.0000	0.00
	64.21	54.39	9.82	63.73	0.12					
	63.35	53.87	9.48	62.83	0.13					
P13	71.9	54.54	17.36	71.90	0.02	0.06	0.6405	0.6405	0.0000	0.00
	70.63	59.33	11.3	70.63	0.08					
	71.12	59.24	11.88	71.12	0.07					
P14	60.73	50.52	10.21	60.73	0.11	0.07	1.4307	1.4307	0.0000	0.00
	62.99	49.88	13.11	62.99	0.05					
	63.38	49.62	13.76	63.38	0.04					
P15	60.09	50.46	9.63	59.59	0.12	0.15	0.7419	0.8554	0.4258	0.06
	60.1	50.94	9.16	59.54	0.14					
	58.81	50.69	8.12	58.08	0.18					

Punt	L_{Aeq} / L_r	L_{A95} / L_m	Dif. ($L_{Aeq} - L_{A95}$)	L_c	$C_{r,i}$	C_r	σ_0	σ_s	Z_r	Z
P16	57.34	54.81	2.53	57.34	1.26	1.46	0.9493	0.4781	0.0000	0.00
	57.94	56.46	1.48	57.94	2.46					
	59.2	55.2	4	57.00	0.66					
P17	61.48	57.69	3.79	59.13	0.72	1.00	0.7564	1.8479	1.6860	1.69
	62.78	60.21	2.57	62.78	1.24					
	61.46	58.57	2.89	61.46	1.06					
P18	59.04	56.08	2.96	59.04	1.02	0.84	1.2643	0.4121	0.0000	0.00
	60.95	57.45	3.5	58.38	0.81					
	61.43	57.56	3.87	59.14	0.70					
P19	59.76	57.28	2.48	59.76	1.30	0.88	0.6720	1.5303	1.3749	1.21
	59	55.14	3.86	56.70	0.70					
	60.34	56.28	4.06	58.17	0.65					

Taula 8: Càlcul dels paràmetres que intervenen en la incertesa per soroll de fons

V.3.5 Incertesa combinada i expandida

La incertesa combinada (σ_t) es calcula a partir de les incerteses típiques establertes anteriorment i segons la següent expressió (veure equació 8):

$$\sigma_t(dB) = \sqrt{W^2 + X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (8)$$

Finalment, tal i com s'ha exposat anteriorment, la incertesa de les mesures vindrà donada per la incertesa expandida (en dB) que s'obre multiplicant la incertesa combinada en un valor de 2:

$$\pm 2 \sigma_t$$

Així doncs, la incertesa per a cada punt de mesura es mostra en la següent taula (veure *Taula 9*):

Punt	W	X	Y	Z	σ_t	$\pm 2\sigma_t$
P01	1	0.36	0.5	0.03	1.94	± 3.89
P02	1	3.16	0.5	0.00	3.05	± 6.11
P03	1	0.33	0.5	0.00	1.92	± 3.83
P04	1	0.33	0.5	0.01	1.92	± 3.84
P05	1	0.35	0.5	0.15	2.00	± 3.99
P06	1	0.35	0.5	0.00	1.92	± 3.84
P07	1	0.25	0.5	1.77	2.65	± 5.31
P08	1	1.04	0.5	0.09	2.29	± 4.59
P09	1	2.01	0.5	0.06	2.67	± 5.34
P10	1	1.67	0.5	0.00	2.52	± 5.04
P11	1	7.07	0.5	0.00	4.14	± 8.28
P12	1	1.34	0.5	0.00	2.39	± 4.77
P13	1	0.21	0.5	0.00	1.85	± 3.70
P14	1	1.60	0.5	0.00	2.49	± 4.98
P15	1	2.27	0.5	0.06	2.77	± 5.54
P16	1	0.26	0.5	0.00	1.87	± 3.75
P17	1	0.26	0.5	1.69	2.63	± 5.25
P18	1	0.25	0.5	0.00	1.87	± 3.74
P19	1	0.26	0.5	1.21	2.44	± 4.87

Taula 9 Incertesa per a cada punt de mesura

La següent taula (veure *Taula 10*) mostra els nivells de pressió sonora mesurats, en període diürn, juntament amb la incertesa expandida associada a cadascuna d'elles:

Punt	$L_{Aeq} \pm 2\sigma_t$	Punt	$L_{Aeq} \pm 2\sigma_t$
P01	70.0 ± 3.9	P11	59.8 ± 8.3
P02	53.3 ± 6.1	P12	63.7 ± 4.8
P03	68.1 ± 3.8	P13	71.2 ± 3.8
P04	67.4 ± 3.8	P14	62.5 ± 5.0
P05	58.5 ± 4.0	P15	59.7 ± 5.5
P06	62.7 ± 3.8	P16	58.2 ± 3.8
P07	65.3 ± 5.3	P17	62.0 ± 5.3
P08	62.5 ± 4.6	P18	60.6 ± 3.7
P09	68.5 ± 5.3	P19	59.7 ± 4.9
P10	69.3 ± 5.0		

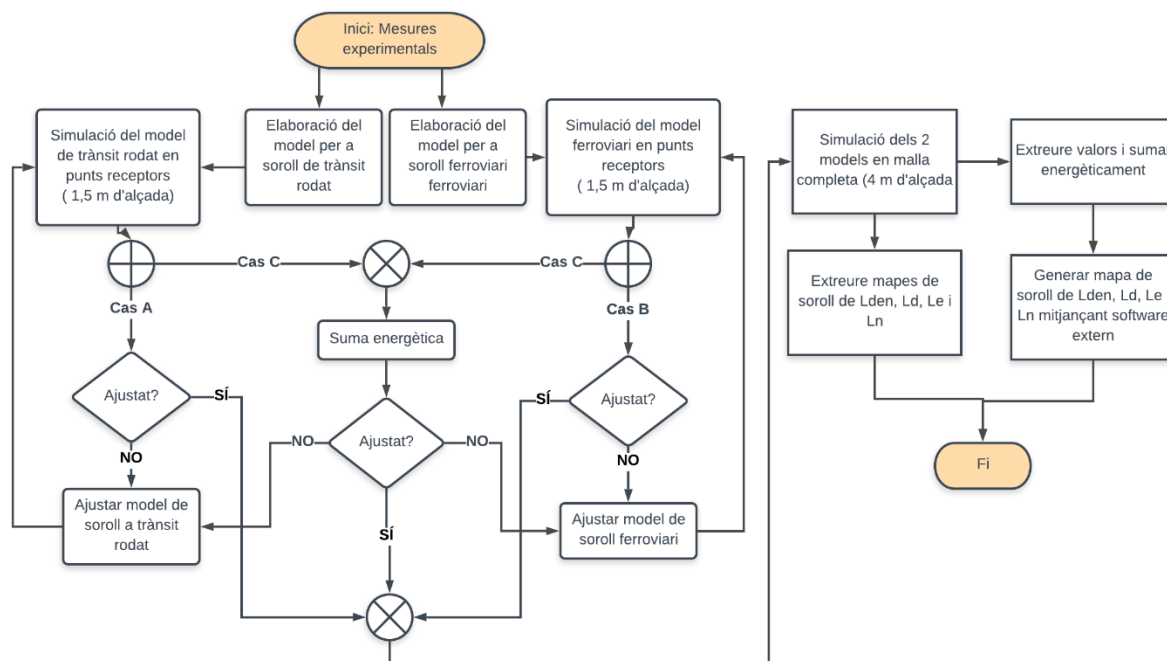
Taula 10: Mesures experimentals i incertesa associada

Es pot observar com les incerteses calculades de les mesures són molt variables entre elles. Donat que la incertesa deguda a la instrumentació (X) i la deguda a les condicions meteorològiques i de terreny (Y) les hem establert com a constants en totes les mesures, aquesta variabilitat depèn de la incertesa deguda a las condicions de funcionament, on s'estableixen valors de incertesa elevats en mesures on es registra el pas de pocs vehicles i a la deguda al soroll residual, que principalment estableix valors de incertesa elevats quan els nivells mesurats varien substancialment d'una repetició a una altre.

Concretament, s'observen nivells d'incertesa elevats en aquells punts on s'avaluen vies de tren, principalment, donat que el flux de vehicles és molt baix i el soroll mesurat és altament variable, generant valors dispersos entre repeticions d'un mateix punt i diferències notables entre el nivell L_{eq} i L_{95} d'una mateixa mesura. Una forma de reduir la incertesa de les mesures seria la d'augmentar el temps de mostres de cada mesura per tal de obtenir valors més estables i poder avaluar un soroll menys variable, especialment en els punts afectats per vies de tren, pel que es recalca la importància de seguir les indicacions establertes a la ISO 1996-2 en termes del temps de durada de les mesures, tal i com s'exposa a l'apartat V.1.

V.4 Ajust i validació del model de simulació

Un cop obtinguts els nivells d'emissió a cada punt mesurats experimentalment, els quals es consideren com *nivells de referència*, es procedeix a ajustar els model de simulació creats per a cada situació (soroll ferroviari i trànsit rodat) mitjançant un mètode iteratiu representat en el diagrama de flux de la Il·lustració 12 i descrit a continuació.



Il·lustració 12: Procediment efectuat per a l'ajust dels models de simulació i obtenció dels mapes de soroll

Un cop s'han pres les mesures experimentals i s'han elaborat els model de simulació per a soroll de trànsit rodat i soroll ferroviari, el procés iteratiu s'inicia amb la simulació d'aquests models en una malla d'1,5 metres d'alçada a la qual s'han pres les mesures experimentals (els considerats com a *nivells de referència*), obtenint un valor simulat de la mesura.

A continuació es procedeix al re-ajust dels models per tal de que els punts simulats s'ajustin als *nivells de referència*. Es considerarà com a ajustat tot aquell punt que el seu valor en la simulació no difereixi en més de 3 dB del valor experimental. Tot i així, cal tenir en compte que els *nivells de referència* poden integrar tant soroll provinent del pas de trens com de trànsit rodat i que, en canvi, els nivells simulats únicament contemplen un dels dos tipus de soroll donat que no es poden combinar en un sol model de simulació. Així doncs, pel que fa a l'afectació del tipus de soroll en cada punt, s'estableixen 3 casos:

Cas a) Que el punt receptor es trobi afectat majoritàriament pel soroll de trànsit rodat.

L'afectació de soroll ferroviari es considera menyspreable pel que, en aquests punts, el nivell obtingut mitjançant la simulació del model de trànsit rodat es pot comparar directament amb el nivell obtingut experimentalment per a fer l'ajust. Aquests punts són: P01, P03, P06, P07, P13, P16, P17, P18 i P19.

Cas b) Que el punt receptor es trobi afectat majoritàriament pel soroll ferroviari:

L'afectació de soroll de trànsit rodat es considera menyspreable pel que, en aquests punts, el nivell obtingut mitjançant la simulació del model de soroll ferroviari es pot comparar directament amb el nivell obtingut experimentalment per a fer l'ajust. Aquests punts són: P02, P09, P10 i P11.

Cas c) Que el punt receptor es trobi afectat tant per soroll ferroviari com de trànsit rodat:

No es pot menysprear l'afectació de cap de les fonts sonores pel que per a efectuar l'ajust caldrà sumar energèticament els nivells obtinguts per cadascun dels models de simulació abans de poder comparar-lo amb el nivell obtingut experimentalment. Aquests punts són: P04, P05, P08, P12, P14 i P15.

Així doncs, primerament s'efectua un ajust dels punts que pertanyen al *cas A* i *cas B* comprovant que els nivells obtinguts en la simulació no difereixen en més de 3 dB dels *nivells de referència*. A continuació, pels punts pertanyents al *cas C*, caldrà sumar energèticament els punts obtinguts de ambdós models i comprovar que no difereixen en més de 3 dB del *nivell de referència* corresponent.

Si algun dels punts de cadascun dels models no s'ajusta als *nivells de referència* de la forma que s'acaba d'establir, es procedeix a un re-ajust del model en el que es modifiquen algunes de les seves característiques:

- Modificació de cabdals (s'accepta una modificació del 10% del cabdal mesurat experimentalment, ja que es mesuraren amb mostres de 10 minuts i al software s'han d'introduir els cabdals per hora, s'estima la possibilitat de cometre un error del 10%).
- Afegir més detall al model (introduir obstacles que no s'havien definit, perfeccionament del relleu...)
- Introducció d'objectes al model que simulin l'absorció de la vegetació i del terreny (*Ground Region, Barrier...*).

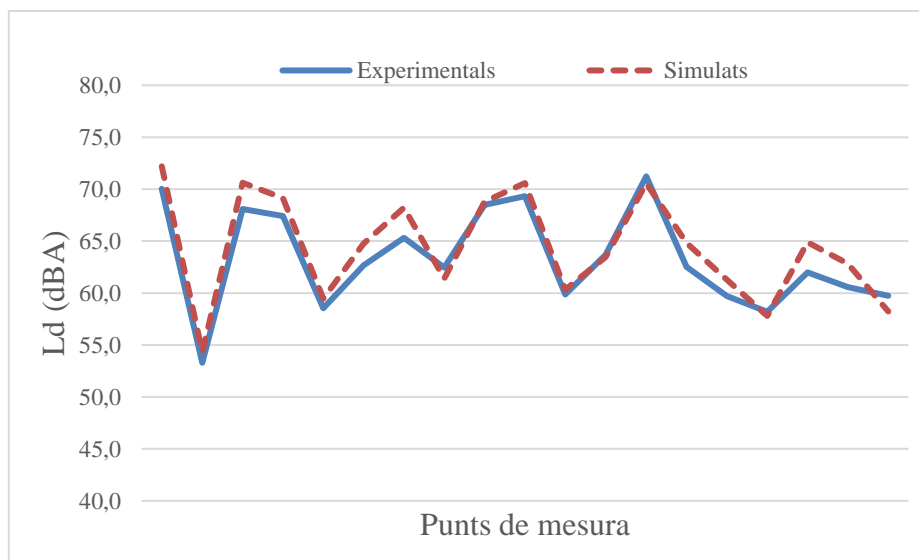
En la taula següent (veure *Taula 11*) es mostren els nivells obtinguts experimentalment i simulats (en període diürn). Val a dir que aquests darrers són el resultat de la suma energètica dels nivells obtinguts a cadascun dels models (de soroll de trànsit rodat i soroll ferroviari):

Punt	L_{Aeq} [dBA] Experimental	L_{Aeq} [dBA] Simulat	Diferència [dBA]
P01	70,0	72,2	-2,2
P02	53,3	54,3	-1,0
P03	68,1	70,6	-2,5
P04	67,4	69,1	-1,7
P05	58,5	59,5	-0,9
P06	62,7	64,8	-2,1
P07	65,3	68,2	-2,9
P08	62,5	61,4	1,0
P09	68,5	68,8	-0,3
P10	69,3	70,6	-1,3

Punt	L_{Aeq} [dBA] Experimental	L_{Aeq} [dBA] Simulat	Diferència [dBA]
P11	59,8	60,3	-0,5
P12	63,7	63,5	0,2
P13	71,2	70,5	0,7
P14	62,5	64,8	-2,3
P15	59,7	61,3	-1,6
P16	58,2	57,8	0,4
P17	62,0	64,9	-2,9
P18	60,6	62,8	-2,2
P19	59,7	58,2	1,5

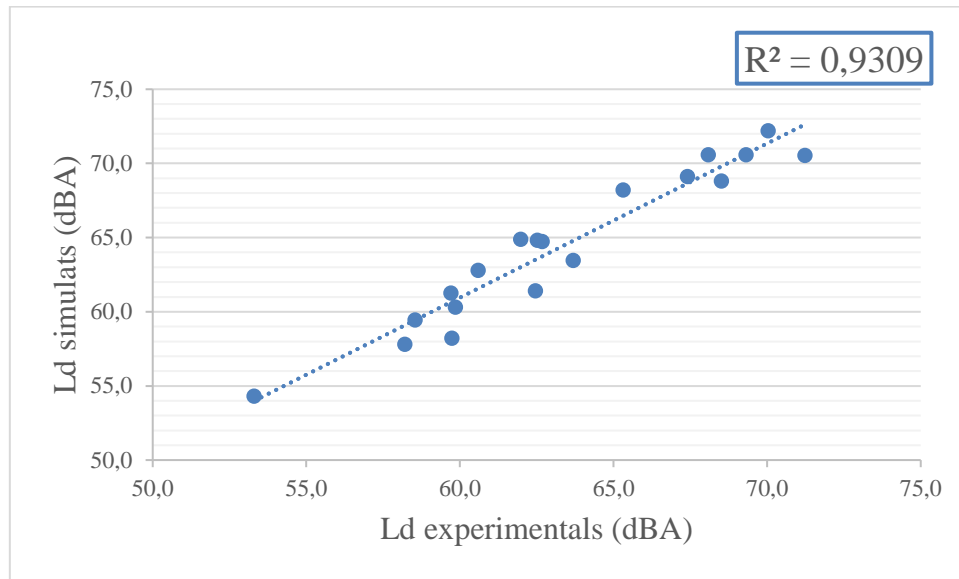
Taula 11: Comparació dels valors obtinguts experimentalment dels obtinguts per simulació.

En el següent gràfic (veure *Il·lustració 13*) es pot veure aquest correspondència de forma més visual:



Il·lustració 13: Comparació dels nivells mesurats i simulats

Finalment, per validar els valors simulats es comprova que la relació entre els nivells simulats i els mesurats experimentalment és directa mitjançant una correlació en la que el factor de correlació R^2 és proper a 1 (veure *Il·lustració 14*):



Il·lustració 14: Correlació els nivells experimentals i simulats

Així doncs, es pot considerar que el model de simulació es troba validat, pel que representa una bona aproximació del soroll ambiental existent a Montcada i Reixac. En conseqüència, les mesures mitigadores que apliquem a aquest model de simulació ens permetran predir el comportament que tindran i avaluar la viabilitat de la seva implementació.

VI. PROPOSTA DE MESURES DE MITIGACIÓ

En aquest capítol es proposen una sèrie de mesures mitigadores amb l'objectiu de reduir els nivells de soroll existents al municipi i podran ser de dos tipus: la col·locació de barreres acústiques o el soterrament de la font sonora.

Les **barreres o pantalles acústiques** son estructures exteriors que, disposades entre la font sonora i un receptor, interrompen la trajectòria directa del so reduint la percepció del primer sobre el segon. Les principals característiques d'aquestes elements són la seva alçada, quan més gran és major es la reducció de soroll, i els materials que la conformen, donat que atribuiran a aquesta propietats reflectores o absorbents en major o menor grau. També poden anar acompanyades de panells fotovoltaics per tal de generar energia aprofitant la radiació solar que reben de forma continuada; d'aquesta forma es pot recuperar una part del cost d'instal·lació (22).

Per simplificar l'estudi d'aquestes mesures correctores no s'establiran comparacions entre barreres de diferent materials. Les propietats de les barreres acústiques que s'implementaran al model de simulació són les que *Predictor* disposa per defecte (corresponen a l'objecte *Barrier*) i tenen propietats reflectores. Es disposaran als límits de la carretera o via de tren amb una alçada de 3 metres en tots els casos.

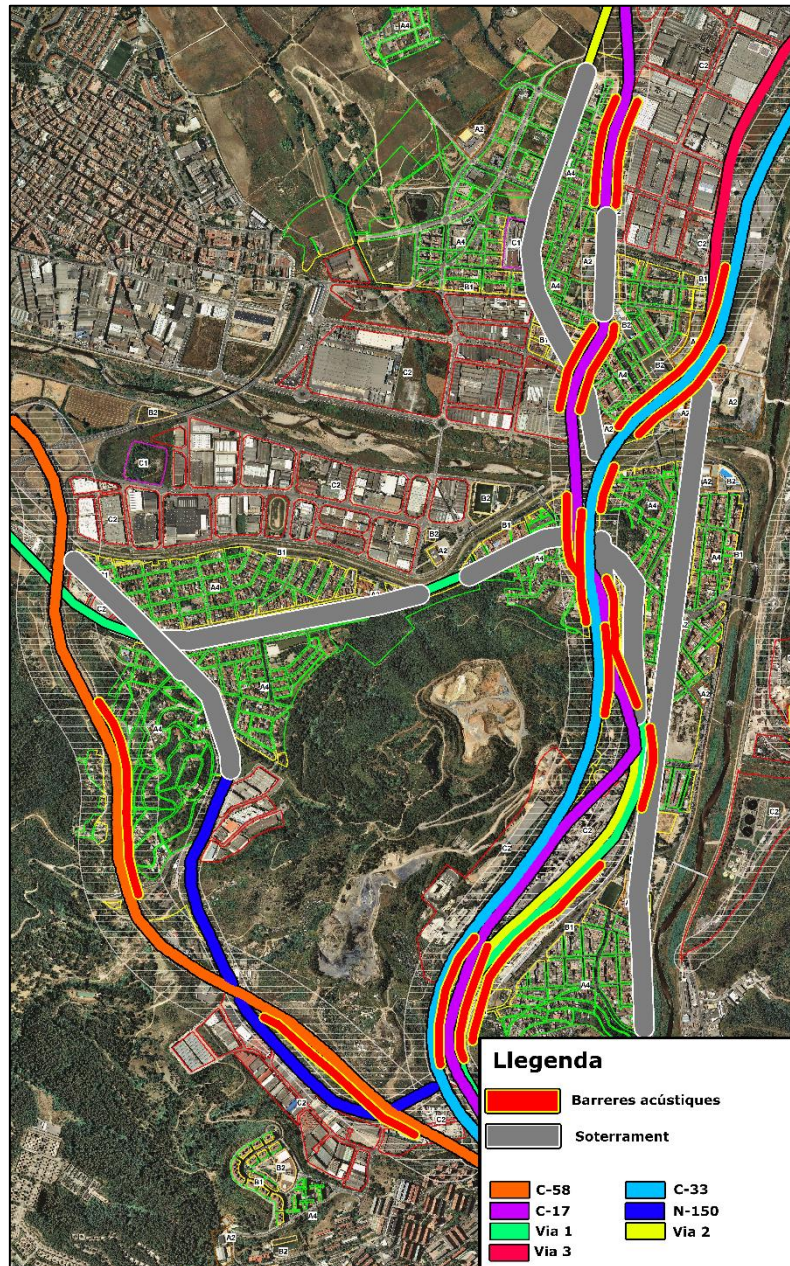
Val a dir que la col·locació de pantalles acústiques molt sovint també produeixen una disminució de la percepció de la font sonora en termes purament psicoacústics. És a dir, a l'establir un obstacle visual entre la font sonora i el receptor, aquest últim, inevitablement, tindrà una percepció menor del soroll més enllà de la reducció sonora que s'estableix realment per fenòmens físics (23).

Malauradament, la implementació de barreres acústiques comporta d'altres elements perjudicials per l'ecosistema, pels conductors així com per aquells que viuen propers a la carretera (pèrdua de llum solar) (24).

El **soterrament de la font sonora** suposa una solució radical del problema però alhora resulta altament costosa i requereix un projecte de dimensions faraòniques. Tal i com el seu nom indica, consisteix en fer passar la via de transport pel subsol eliminant d'aquesta forma qualsevol percepció sonora que se'n poques derivar (tot i que la propagació estructural pot romandre en forma de vibracions). Aquesta mesura mitigadora és especialment útil en casos on la font sonora travessa un o varis nuclis del municipi dividint-lo donat que, a banda de reduït dràsticament el soroll generat, restaura el trencament d'aquests nuclis millorant la qualitat de vida de les persones que hi viuen i prescindint del perill per atropellament que suposa.

En termes del model de simulació, aplicar aquesta mesura mitigadora suposa la font sonora en aquells trams on es troba soterrada.

A continuació es mostren les propostes de mitigació ubicades en el mapa de zonificació acústica de Montcada i Reixac (veure Il·lustració 15):



Il·lustració 15: Proposta de mesures de mitigació

Com es pot veure a la imatge, en els casos de les carreteres més transitades (C-58, C-17 i C-33) s'ha proposat la instal·lació de barreres acústiques. A més a més, a la C-17 es proposa el tancament total del túnel, donat que actualment es troba obert per dalt. Pel que fa a la N-150 s'ha proposat un soterrament donat que, la principal causa per a que aquesta font sigui tant problemàtica és la densitat de flux causada per l'escàs nombre de carrils (solament un per cada sentit) i la existència de semàfors que regulen el trànsit dels quals es podria prescindir amb la construcció d'un túnel subterrani.

Pel que fa a les vies de tren, s'ha optat per soterrament de les vies quan travessen nuclis de població per tal d'evitar les múltiples divisions del municipi que existeixen actualment.

VII. RESULTATS

En aquest capítol de resultats presentarem els mapes de soroll de les zones d'estudi (detallades en el *Capítol III*) del Municipi de Montcada i Reixac. Aquests mapes s'han elaborat segons la metodologia explicada en el *Capítol IV* i estan basats en la predicció mitjançant software amb la introducció d'informació recopilada en el treball de camp i que han permès validar-lo (veure *Capítol V*).

Es presentaran els mapes de soroll del municipi en estat actual i posteriorment en estat operacional, és a dir, amb les mesures de mitigació proposades al *Capítol VI* ja aplicades.

Tal i com s'ha mencionat anteriorment, *Predictor* no permet la modelització de soroll de transit rodar i ferroviari de forma simultània així que, per tal de visualitzar la interacció d'aquests dos tipus de soroll en un sol mapa ha sigut necessari desenvolupar una metodologia que permeti la elaboració d'un mapa de soroll combinat.

En primer lloc, s'ha exportat del *Predictor* els nivells de soroll de cada període horari de cada punt de la malla de simulació i de cadascun dels dos models (soroll de trànsit rodar i soroll ferroviari). A continuació, s'han sumat energèticament els nivells corresponents de cada model per poder obtenir punt a punt el nivell combinat de soroll. Per a que això sigui possible, és necessari establir la mateixa malla per a ambdós models de simulació (veure *Il·lustració 16*); en el nostre cas es tracta d'una malla poligonal per tal d'ajustar-la al contorn del municipi i minimitzar així el nombre de punts de la malla (i per tant, el temps de càlcul) sense perdre definició, establint-se un punt de mesura cada 25 metres en ambdós eixos de la superfície.



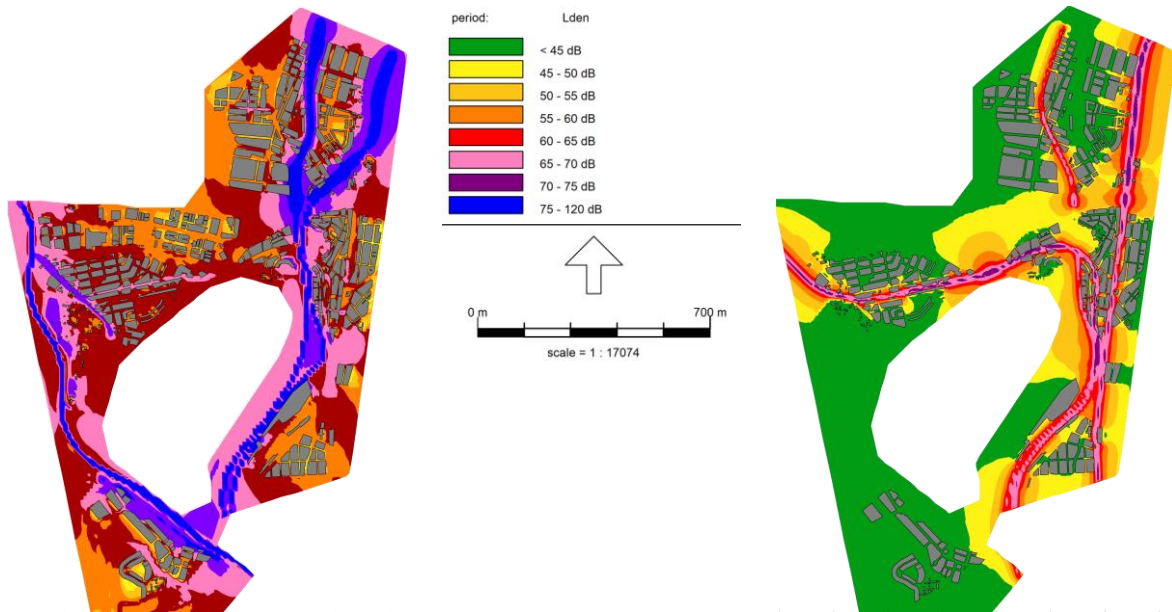
Il·lustració 16: Contorn de la malla emprat per a tot el conjunt de models de simulació

Seguidament, s'han importat aquests nivells combinats al software *Surfer 15.3.307*, programa que permet, entre altres coses, elaborar mapes de contorn a partir de nivells de soroll associats a coordenades extrapolant-los per tota la superfície d'estudi.

Per tal de no estendre'ns en excés, els mapes de soroll mostrats en aquest capítol corresponen al període dia-vespre-nit (L_{den}). Els mapes corresponents als períodes dia (L_d), vespre (L_e) i nit (L_n), juntament amb els mostrats en aquest capítol, es troben a l'*Annex D*.

VII. 1 Mapes de soroll a l'estat actual de Montcada i Reixac

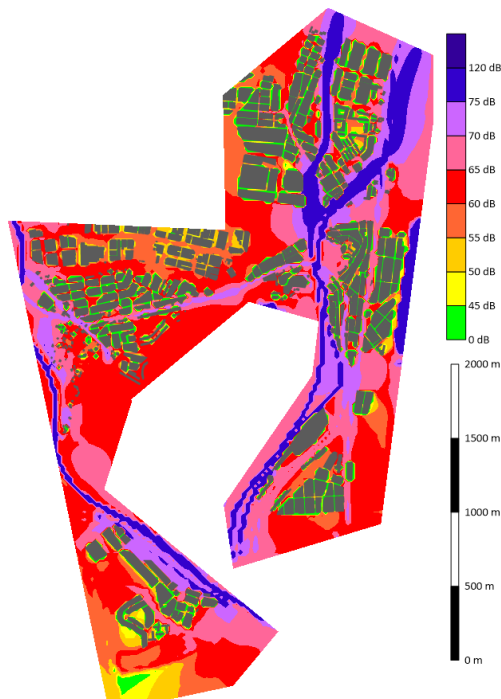
A continuació es mostren els mapes de soroll, de trànsit rodat (Il·lustració 17) i ferroviari (Il·lustració 18) per separat, del municipi a l'estat actual:



Il·lustració 17: Nivell dia-vespre-nit del soroll a trànsit rodat del municipi de Montcada i Reixac a l'estat actual

Il·lustració 18: Nivell dia-vespre-nit del soroll ferroviari del municipi de Montcada i Reixac a l'estat actual

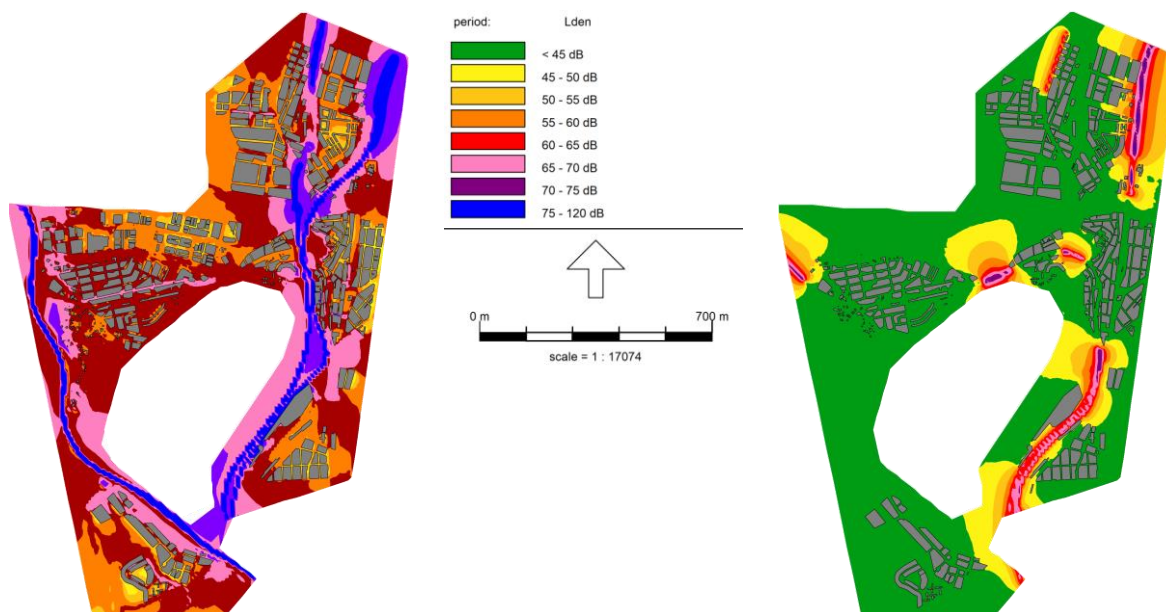
Aquests mapes resulten molt útils per detectar quines zones es troben més afectades pel soroll de trànsit rodat o bé pel soroll ferroviari, però per obtenir els nivells totals cal consultar el mapa combinat (veure Il·lustració 19) que mostra els nivells sonors fruit de la contribució del trànsit rodat i el pas de trens simultàniament.



Il·lustració 19: Nivell dia-vespre-nit del soroll a trànsit rodat i ferroviari del municipi de Montcada i Reixac a l'estat actual

VII.2 Mapes de soroll a l'estat operacional de Montcada i Reixac

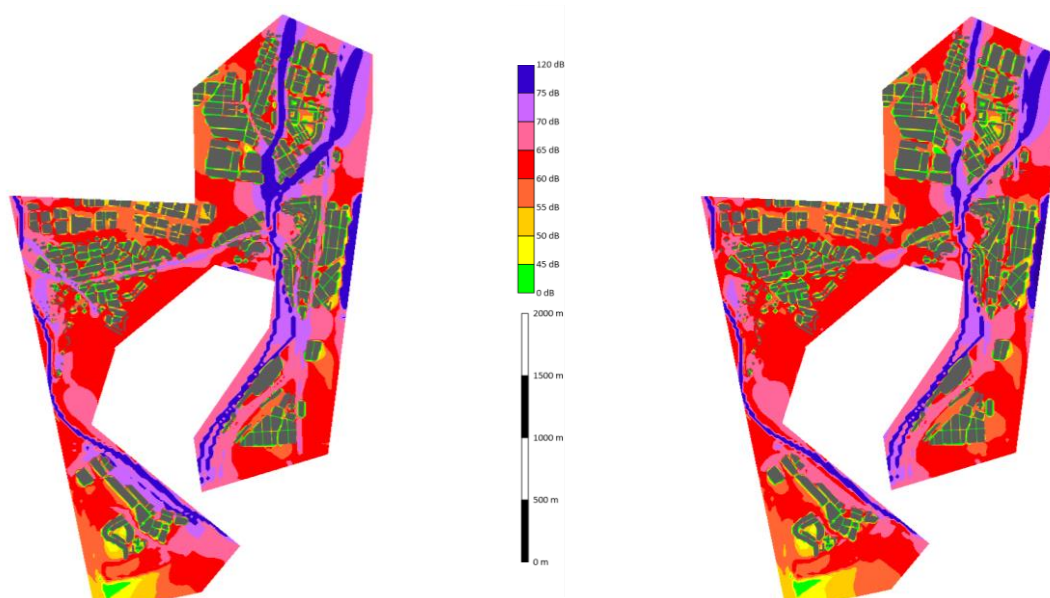
A continuació es mostren els mapes de soroll, de trànsit rodater (veure *Il·lustració 20*) i ferroviari (veure *Il·lustració 21*) per separat, del municipi amb les mesures mitigadores aplicades:



Il·lustració 20: Nivell dia-vespre-nit del soroll a trànsit rodater del municipi de Montcada i Reixac a l'estat operacional

Il·lustració 21: Nivell dia-vespre-nit del soroll ferroviari del municipi de Montcada i Reixac a l'estat operacional

Tot i que es pot visualitzar fàcilment la reducció de soroll de cadascun dels tipus de soroll per separat en aquests mapes de soroll, caldrà consultar el mapa que combina ambdós sorolls per poder veure la millora que realment es produeix al aplicar les mesures mitigadores. Per afavorir la comparació visual, a continuació es mostren ambdós mapes de soroll combinat, a l'estat actual (*Il·lustració 22*) i a l'estat operacional (*Il·lustració 23*), respectivament.



Il·lustració 22: Nivell dia-vespre-nit del soroll a trànsit rodater i ferroviari del municipi de Montcada i Reixac a l'estat actual

Il·lustració 23: Nivell dia-vespre-nit del soroll a trànsit rodater i ferroviari del municipi de Montcada i Reixac a l'estat operacional

A nivell qualitatiu, s'observa com els nivells de soroll a l'interior dels nuclis urbans a caigut dràsticament en gran part pel soterrament de les línies de tren. Tot i que segueix havent afectació del trànsit pels carrers del municipi, s'ha aconseguit que zones altament sorolloses (65-75 dB) hagin passat a ser zones amb una contaminació acústica acceptable (55-65 dB). Pel que fa a les carreteres, les pantalles acústiques han complert la seva funció reduint els nivells d'immissió a les zones properes a aquestes.

A continuació farem un anàlisi qualitatiu de la reducció dels nivells sonors a partir dels valors obtinguts en els punts de mesura.

VII.3 Anàlisi dels nivells sonors aconseguits amb les mesures de mitigació

La taula (veure *Taula 12*) següent recull els nivells sonors en els punts avaluats a l'estat actual (L_{Act}) i a l'estat operacional (L_{Op}) així com la diferència que hi ha entre ells. En vermell es marquen les reduccions de soroll considerades com a no substancials (<2dB).

Punt	L_{Act}	L_{Op}	Reducció
P01	72,2	66,9	5,3
P02	54,3	53,4	0,9
P03	70,6	70,0	0,6
P04	69,1	64,1	5,1
P05	59,5	52,7	6,8
P06	64,8	64,5	0,2
P07	68,2	65,4	2,8
P08	61,4	59,2	2,2
P09	68,8	65,6	3,2
P10	70,6	66,9	3,7

Punt	L_{Act}	L_{Op}	Reducció
P11	60,3	52,2	8,1
P12	63,5	60,3	3,2
P13	70,5	65,0	5,6
P14	64,8	63,2	1,6
P15	61,3	58,4	2,9
P16	57,8	56,4	1,4
P17	64,9	63,9	1,0
P18	62,8	61,5	1,3
P19	58,2	57,9	0,3

Taula 12: Diferències entre els nivells sonors a l'estat actual i a l'estat operacional (dB)

D'aquests resultats es destaca que:

- Les pantalles acústiques de la **C-17** al nord del *Nucli 1* redueixen considerablement els nivells sonors tal i com ens indica el *P01* (reducció de 5,3 dB).
- El soterrament de la *Via 1* al nord del *Nucli 1* no suposa una millora significativa degut a que el soroll de trànsit rodat pels carrers propers és molt predominant en aquesta zona.
- El tancament del túnel de la **C-17** no és una opció viable donat que el *P03* experimenta una reducció molt petita (reducció de 0,6 dB). Això és degut a que segueix existint un elevat trànsit en aquella zona degut a la gran quantitat de cotxes que s'incorporen o abandonen aquesta carretera en aquest punt.
- Les barreres acústiques aplicades tant a la **C-33** com a la **Via 3**, a l'est del *Nucli 1*, han donat lloc a una reducció molt bona tal i com ens indica el punt *P04* i el *P05*. Les reduccions obtingudes són de 5,1 dB i 6,8 dB, respectivament.
- La barrera acústica aplicada a la **C-33** a l'alçada del *P06* no resulta una bona proposta donat que no s'assoleixen els nivells de reducció esperats. Caldrà estudiar aquesta zona amb deteniment en treballs futurs.
- Les pantalles acústiques instal·lades a l'alçada del *P07*, tant a la **C-17** com a la **C-33**, semblen ser una opció viable donat que aquest punt registra una disminució de 2,8 dB. Val a dir que el soterrament de la *Via 1* en aquest tram no genera reduccions significatives.

- Al P08 s'experimenta una reducció de 2,2 dB motivada únicament pel soterrament de la **Via 1** donat que, tot i haver col·locat pantalles acústiques a la **C-17 i la C-33** els nivells obtinguts en els models de simulació de trànsit rodat no mostren millores significatives pel que es podria prescindir d'elles.
- Els P09 i P10 mostren millores entorn als 3 i 4 dB degudes al soterrament de la **Via 3**. No és possible assolir reduccions més altes donat que el soroll de trànsit rodat provinent dels vehicles que circulen per l'interior del municipi segueix afectant aquesta zona. Per contra, al P11, s'ha pogut assolir una reducció del 8,1 dB donat que en aquesta zona el trànsit de vehicles és escàs i la **Via 1** es la font sonora prioritària.
- Al punt P12 s'experimenta una reducció de 3,2 dB, aparentment gràcies a les pantalles acústiques instal·lades a la **C-17, C-33** i a les vies de tren (**Via 1 i Via 2**). Tot i així, si observem els nivells obtingut de cadascun dels models de simulació es pot veure com la reducció prové únicament de les pantalles acústiques instal·lades a les vies de tren mentre que les instal·lades a les carreteres no s'experimenta cap reducció significativa.
- El soterrament de la N-150, com és d'esperar, genera una reducció de nivells sonors elevada (5,6 dB) evidenciada pel P13.
- El soterrament de la **Via 1** al seu pas pel *Nucli 3* provoca reduccions notables al punt P15. Malauradament, al P14, el pas de vehicles no permet una reducció superior a 1,7 dB pel que, si es volem reduir els nivells d'immissió en l'escola que es troba en aquesta zona, és necessari estudiar la implementació d'altres mesures mitigadores que actuïn sobre el trànsit rodat.
- Pel que fa a les barreres acústiques proposades en la C-58, segons els nivells calculats en els punts P16, P17, P18 i P19, no es produeixen reduccions prou significatives com per justificar la seva implementació, fent especial menció al P19 que es troba únicament afectat pel soroll de trànsit rodat dels carrers propers. Tot i així, donat que es coneixen queixes de soroll per part dels veïns de la zona dels punts P16 i P17, caldria valorar la opció de implementar les barreres acústiques en aquest tram de la C-58 per tal de provocar una reducció de la percepció sonora en termes de la psicoacústica. Aquest efecte és degut a la desaparició visual de la font sonora respecte al receptor al interposar una barrera acústica entre ells, fenomen que es suma a la reducció de soroll que generen de per si, tot i ser baixa (entorn a 1.3 dB).

La següent taula exposa el compliment del cadascun dels punts de mesura a l'estat actual i a l'estat operacional (amb les mesures mitigadores implementades) segons les exigències establertes pels Objectius de Qualitat Acústica establerts al Decret 176/2009 i a l'Ordenança Reguladora del Soroll i les Vibracions de Montcada i Reixac (veure *Taula 13*).

Punt	Nivell	dBA	Zonificació	OQA*	Cumpleix?
P01	L _{act}	72,2	B1	65	No
	L _{op}	66,9			No
P02	L _{act}	54,3	A4	60	Sí
	L _{op}	53,4			Sí
P03	L _{act}	70,6	B1	65	No
	L _{op}	70,0			No
P04	L _{act}	69,1	A2	55	No
	L _{op}	64,1			No
P05	L _{act}	59,5	A2	55	No
	L _{op}	52,7			Sí

Punt	Nivell	dBA	Zonificació	OQA*	Cumpleix?
P06	L _{act}	64,8	B1	65	Sí
	L _{op}	64,5			Sí
P07	L _{act}	68,2	A4	60	No
	L _{op}	65,4			No
P08	L _{act}	61,4	B1	65	Sí
	L _{op}	59,2			Sí
P09	L _{act}	68,8	B1	65	No
	L _{op}	65,6			No
P10	L _{act}	70,6	B1	65	No
	L _{op}	66,9			No
P11	L _{act}	60,3	B1	65	Sí
	L _{op}	52,2			Sí
P12	L _{act}	63,5	B1	65	Sí
	L _{op}	60,3			Sí
P13	L _{act}	70,5	B1	65	No
	L _{op}	65,0			Sí
P14	L _{act}	64,8	B1	65	Sí
	L _{op}	63,2			Sí
P15	L _{act}	61,3	A4	60	No
	L _{op}	58,4			Sí
P16	L _{act}	57,8	A4	60	Sí
	L _{op}	56,4			Sí
P17	L _{act}	64,9	A4	60	No
	L _{op}	63,9			Sí
P18	L _{act}	62,8	B1	65	Sí
	L _{op}	61,5			Sí
P19	L _{act}	58,2	A4	60	Sí
	L _{op}	57,9			Sí

(*) OQA: Objectius de Qualitat Acústica establerts pel Decret 176/2009 (7).

Taula 13: Avaluació del compliment de la normativa vigent

Tal i com podem veure a la taula anterior, solament el P05, P13, P15 i P17 han obtingut valors per sota de les OQA establerts, essent punts que actualment els estan incomplint, pel que les mesures proposades en aquest projecte poden servir de referència a l'administració per establir el compliment de la normativa.

S'observa com molts dels punts seleccionats com a conflictius compleixen actualment la normativa. Tot i així, donat que hi ha queixes conegudes de veïns del municipi i l'afectació de les vies de transport en termes de soroll ambiental són evidents, s'ha considerat la possibilitat de reduir els nivells actuals i, fins i tot, modificar la classificació de certes zones considerades com a Zones de Sensibilitat Acústica Moderada (B) a Alta (A), on els nivells són més restrictius, com és el cas del P11 i P12.

Malauradament, hi ha d'altres punts en els que no s'han reduïts els nivells d'immissió per sota dels permisos a l'aplicar mesures mitigadores pel que caldrà proposar-ne de més eficaces en treballs futurs si es vol donar compliment a la normativa vigent.

VIII. CONCLUSIONS

L'objectiu d'aquest treball és, des de els seus inicis, posar en pràctica tots els coneixements adquirits durant el màster en matèria de acústica ambiental per la millora de la qualitat de vida dels habitants de Montcada i Reixac. Aquesta tesina ha posat en evidència que, per fer-ho, és necessari conèixer prèviament la realitat acústica del municipi i quantificar-la, només així serà possible analitzar la viabilitat de qualsevol proposta de mesura de mitigació que es plantegi.

Si alguna cosa podem concloure amb total seguretat és la complexitat que suposa recrear la situació acústica de tot un municipi com és el de Montcada i Reixac. En aquest procés intervenen gran quantitat de variables on moltes d'elles són difícils de quantificar pel que, per tal de fer realitzable aquest projecte, s'ha hagut de dur a terme multitud de simplificacions i estimacions.

Tot i així, podem afirmar que es possible determinar de forma molt propera a la realitat els nivells sonors existents en el municipi i que, tot i que no s'estableixi un incompliment generalitzat de la normativa vigent (veure *Taula 13*), es poden establir plans d'actuació que permetin reduir la contaminació acústica tal i com es demostra a la *Taula 11*. Cal tenir en compte que, tot i la existència d'un mapa de zonificació acústica que defineix els Objectius de Qualitat Acústica permesos en una determinada zona, aquest s'elabora adaptant-se a les vies de transport existents i que aplicant les mesures mitigadores pertinents és possible establir nivells de soroll ambientals molt per sota dels establerts en aquests documents (i més tenint en compte les queixes veïnals de les que es té constància).

El mètode de simulació que s'ha fet servir ha sigut validat mitjançant un total de 19 mesures experimentals repartides per tot el municipi i que han permès ajustar els models de simulació mitjançant el procediment descrit a l'apartat *V.4* obtenint diferències menors a 3 dB entre els nivells experimentals i els simulats. En la *figura 14* podem veure la relació directe, amb un alt factor de correlació, entre ambos nivells. Pel que també podem concloure que *Predictor* és un software fiable per a la simulació de soroll en entorns urbans. Així doncs, es conclou que s'ha aconseguit quantificar de forma exhaustiva els nivells sonors existents en el municipi de Montcada i Reixac.

La majoria de les mesures mitigadores proposades han suposat una reducció dels nivells sonors existents en el municipi que justifiquen la seva possible implementació en un futur pròxim i es troben exposades en detall al *Capítol VI*. De totes elles, cal fer especial menció a, en primer lloc, les pantalles acústiques proposades a la C-17 i la C-33 a l'alçada dels punts P01, P04 i P05 així com el soterrament de les vies de tren que no només redueix considerablement el soroll ambiental si no que converteix Montcada i Reixac en una municipi menys perillós i més agradable per a passejar i fer vida. Tot i així, cal redissenyar amb responsabilitat l'espai urbanístic que deixaria lliure el soterrament de les vies per tal de que no augmenti el soroll de trànsit rodat; una bona opció seria la construcció de rambles peatonals.

És important mencionar que els nivells de incertesa associats a les mesures experimentals han resultat elevats en alguns casos (veure *Taula 10*), fet que s'atribueix a l'escassa circulació de trens registrada i l'alta variabilitat de les mesures. Per tal d'obtenir mesures més precises és necessari augmentar el temps de mesura, especialment quan s'avalua soroll ferroviari. Tot i així, es considera que aquesta imprecisió és assumible donat que el temps disposat per a efectuar les mesures experimentals ha estat limitat donat que també ho ha estat la disposició dels equips.

Finalment, mencionar que, tot i partir de dos models de simulació que analitzen fonts de soroll d'origen diferent (trànsit rodat i ferroviari), en aquest treball s'ha aconseguit desenvolupar un procediment eficaç per visualitzar la contribució conjunta d'aquestes. D'aquesta forma s'aplana el camí de futurs/es investigadors/es que decideixin endinsar-se en la modelització de trànsit rodat i ferroviari.

PROPOSTES DE TREBALLS FUTURS

A continuació, a partir de les conclusions establertes en aquesta tesina, es presenten diverses propostes de treballs futurs que permetran continuar el camí traçat per a la millora de la qualitat de vida dels habitants de Montcada i Reixac disminuint els seus nivells de contaminació acústica.

Tots els procediments duts a terme en aquesta tesina per tal d'elaborar els mapes de soroll s'han efectuat a partir de simplificacions i estimacions que han fet possible la seva realització. Així doncs, una millora en la qualitat y el detall tant de la informació obtinguda com de la complexitat del model de simulació faria possible un major coneixement de l'estat real dels nivells de contaminació acústica i més precisió en la estimació de la disminució dels nivells sonors al aplicar les mesures mitigadores proposades. Concretament, es podria incrementar el temps de mesura (especialment en l'avaluació de vies de tren) i el nombre de punts per tal d'obtenir dades més acurades dels nivells sonors existents i menors valors d'incertesa. També seria possible realitzar models de simulació amb més detall pel que fa a la definició del relleu, edificis i zones de vegetació. A més a més, es pot caracteritzar amb més detalls les vies de transport, especialment en el cas del transit ferroviari on és possible establir les parades i arrencades dels trens així com els trams d'acceleració i desacceleració.

Algunes de les mesures mitigadores proposades en aquesta tesina no han reduït els nivells d'immissió de forma representativa o bé per sota dels nivells establerts per la normativa. Així doncs, es proposa treballar en la millora d'aquestes mesures mitigadores per tal d'assolir reduccions de soroll més significatives.

Un cop efectuat el soterrament de la línia R2 programada per l'any 2020, seria interessant elaborar un nou mapa de soroll del municipi per tal de comparar els valors obtinguts amb els estimats en aquest projecte. De la mateixa forma, es possible efectuar aquesta comparació si l'administració decideix instal·lar qualsevol de les altres mesures mitigadores proposades.

També es proposa estudiar el municipi de Montcada, no solament des de el punt de vista del soroll ferroviari i de trànsit rodat de grans carreteres, si no també focalitzant-se en el soroll generat a l'interior del municipi, provinent d'ambients de oci, serveis de neteja, transport públic i d'altres, aplicant un sistema de monitoratge que permeti la elaboració de mapes de soroll dinàmics incorporant les noves TIC (tecnologies de la informació i comunicació) (24).

Finalment, és proposa efectuar un estudi subjectiu, a partir de discussions o enquestes amb els habitants del municipi, per avaluar quina percepció tenen del soroll que s'hi genera i determinar si els nivells establerts per la normativa vigent asseguren el benestar de les persones.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Health effects caused by noise: Evidence in the literature from the past 25 years*. Ining H, Kruppa B. 2004, Noise Health, p. 6: 5-15.
2. *Possible health effects of noise induced cortisol increase*. M., Spreng. 2000, Noise Health, p. 2:59-63.
3. *Mapa estratégico de ruido 2017 Barcelona: actual, real y sensible a las necesidades de gestión del ruido de la ciudad*. Casado Novas, Javier, et al. Barcelona : s.n., 2018.
4. *Libro Blanco sobre los efectos del ruido ambiental en la sociedad y su percepción por parte de la ciudadanía*. Madrid : Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Telecomunicaciones, 2008.
5. *ISO 1996-2: 2007 "Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels"*. Gènova, Suïssa : International Organization for Standardization, 2007.
6. Delegació de contaminació acústica de l'Ajuntament de València. Haz ruido contra el ruido: 4. Naturaleza del ruido ambiental. Fuentes de ruido. [En línia] <http://www.hazruidocontraelruido.com/wp-content/uploads/2014/12/Tema-4.-NATURALEZA-DEL-RUIDO-AMBIENTAL.pdf>.
7. *ISO 1996-2:2005. Acústica. Descripción, medida i evaluació del soroll ambiental. Part 1: Magnituds bàsiques y metodes d'avaluació*. Gènova, Suïssa : Internation Organization of Standarization, 2005.
8. *Decret 176/2009, de 10 de novembre, pel qual s'aprova el Reglament de la Llei 16/2002, de 28 de juny, de protecció contra la contaminació acústica, i se n'adapten els annexos*. Barcelona : Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, 2009.
9. *Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido*. Madrid : Butlletí Oficial de l'Estat, 2003.
10. *GREEN PAPER: Promoting a European framework for Corporate Social Responsibility*. Brussel·les : Comissió de la Comunitat Europea, 2001.
11. *Directiva 2002/49/CE del Parlament Europeu i del Consell de 25 de juny de 2002 sobre evaluació y gestió del soroll ambiental*. Unió Europea : Diari Oficial de les Comunitats Europees, 2002.
12. *Llei 16/2002, de 20 de juny, de protecció contra la contaminació acústica*. Barcelona : Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, 2002.
13. *Ordenança reguladora del soroll i les vibracions*. Montcada i Reixac : Butlletí Oficial de la Província de Barcelona, 2012.
14. *Mapa de capacitat acústica del municipi de Montcada i Reixac*. Montcada i Reixac : Ajuntament de Montcada i Reixac, 2015.
15. Nou atropellament a l'estació de tren de Montcada: ja són 172 les víctimes mortals en aquest tram de Rodalies. [En línia] Diari Ara, 13 / setembre / 2018. https://www.ara.cat/societat/Retards-mes-hora-R2-Rodalies_0_2087791339.html.
16. Adif adjudica la redacció del projecte de soterrament de la R2 a Montcada i Reixac. [En línia] Diari Ara, 8 / gener / 2018. https://www.ara.cat/societat/Adif-soterrament-R2-Montcada-Reixac_0_1939006234.html.
17. El soterrament de la línia R2 al seu pas per Montcada es farà amb dos mètodes constructius diferents. [En línia] La Veu, 29 / novembre / 2018. <https://www.laveu.cat/noticies.cfm/id/597874/el-soterrament-linia-r2-seu-pas-montcada-es-fara-amb-dos-metodes-constructius-diferents.htm>.

18. *Documentación técnica: Predictor Tipo 7810 Versión 6.1. Manual de Usuario*. Dinamarca : Brüel & Kjær, 2008.
19. Asignación de los trenes españoles a las categorías de trenes del modelo holandés de cálculo utilizado en la elaboración de los mapas estratégico de ruido de tráfico ferroviario. [En línea] http://www.adif.es/es_ES/compromisos/doc/Tablas_Asignacion_trenes.pdf.
20. ADIF. Cuadro de Velocidades Máximas Grupo 2º (Act. 11/10/16). 2016. Vol. Annex 3.
21. *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements*. Ginebra, Suïssa : International Standardization Organization, 1993, revisada i reeditada en 1995.
22. *Pantallas acústicas fotovoltaicas para tráfico ferroviario*. Daniel, Pfretzschner, Jaime i de la Colina, Carlos. Madrid : s.n., 2002.
23. *Sobre la percepción de la reducción de la molestia por ruido asociada a las pantallas acústicas*. Redondo, J., et al. 2018.
24. Arenas, Jorge P. *Potential problems with environmental sound barriers when used in mitigating surface transportation noise*. Valdivia : Institute of Acoustics, Univ. Austral of Chile, 2008. p. 173-179. Vol. 405.
25. *Pequeñas acciones para maximizar el beneficio percibido por la sociedad en las "smart cities"*. Domingo, Robert Barti. Mollet del Vallés : s.n., 2018.