



ESTUDIS D'IMPACTE ACÚSTIC



Guia per a la realització
d'estudis d'impacte
acústic de les obres



Govern d'Andorra

Índex de continguts

Introducció.....	2
1. Marc normatiu de la gestió de les obres al Principat d'Andorra.....	3
2. Contingut dels estudis d'impacte acústic.....	5
3. Estudis d'impacte acústic en obres.....	8
3.1. Paràmetres/indicadors utilitzats en l'avaluació de les obres.....	8
3.2. La maquinària d'obra.....	10
3.3. La predicció de l'impacte sonor.....	11
3.3.1. Estudi de la situació inicial.....	13
3.3.2. Les dades d'entrada.....	13
3.3.2.1. Dades cartogràfiques.....	14
3.3.2.2. Dades de les fonts de soroll.....	15
3.3.2.3. Condicions meteorològiques.....	18
3.3.2.4. Característiques acústiques de l'entorn.....	20
3.3.2.5. Mesures correctores.....	21
3.3.2.6. Definició dels períodes de temps i valors límit de referència.....	23
3.3.3. Les dades de sortida.....	24
4. Referències.....	26
4.1. Webs.....	26
4.2. Documents i bibliografia.....	26

Introducció

La contaminació acústica afecta la salut de les persones i el seu benestar, i ha esdevingut un vector ambiental que cada vegada preocupa més la població, possiblement degut al fet que està més sensibilitzada i té més coneixement del seu impacte negatiu.

Paral·lelament la normativa evoluciona, actualitzant-se i adequant-se a la nova realitat i incorporant noves eines de gestió i control, i en aquesta direcció, l'annex 3 del Reglament de la contaminació acústica, del 3 de maig de 1996, inclou una regulació específica del soroll que prové de les obres de construcció.

Cal destacar que per regular les obres de construcció el Reglament incorpora eines i procediments preventius estudiats en fase de projecte, moment ideal per prevenir possibles molèsties. En aquest sentit la modificació del Reglament de contaminació acústica preveu, per als projectes d'obres potencialment més sorolloses, la incorporació d'un estudi preliminar d'impacte acústic. Aquest estudi preliminar es complementa abans de començar les obres amb el projecte d'impacte acústic validat per la direcció facultativa de l'obra.

Els estudis d'impacte acústic (EIA) són eines que serveixen per avaluar situacions amb fonts de soroll i receptors al seu voltant i valorar l'impacte d'aquestes fonts de soroll en l'entorn. Aquests tipus d'EIA tenen bàsicament dos objectius:

1. Valorar el compliment de la normativa d'aquestes fonts de soroll sobre el seu entorn, comparant els valors amb els límits existents a la normativa o, si no hi ha límits, amb valors de referència.
2. En cas de superar aquests valors límit o de referència, estudiar possibles mesures correctores que s'hauran d'adoptar per tal de corregir la situació, i optimitzar aquestes mesures correctores per minimitzar o anul·lar aquests nivells excessius.

1. Marc normatiu de la gestió de les obres al Principat d'Andorra

Les obres, històricament, degut al seu caràcter temporal i possiblement també per les característiques canviants de la maquinària i els processos constructius, han esdevingut una tipologia de font de soroll de difícil control, adduint sovint el bé públic que suposen a la societat quan es tracta d'obra pública, o la necessitat de rehabilitar o construir nous edificis d'habitatges o oficines per al desenvolupament de les ciutats.

Tot i aquesta temporalitat, moltes de les obres generen moltes molèsties, especialment als habitatges o edificis pròxims, que pateixen el soroll i les vibracions que generen, i per tant necessiten una regulació per part de l'Administració.

L'annex 3 del Reglament del control de la contaminació acústica, que regula el soroll procedent de les obres i les instal·lacions, es basa en la prevenció, mitjançant l'ús d'eines i procediments preventius per a les obres que, per les seves característiques, són susceptibles de no poder complir els nivells normatius si no s'introdueixen mesures correctores, i que es poden resumir en les obres amb les característiques següents:

- Treballs d'excavació en roca o perforacions.
- Ús de maquinària pesant.
- Existència de receptors sensibles al soroll a una distància inferior a 100 metres del perímetre de l'obra.



Figura 1. Obres amb maquinària pesant, que hauran d'elaborar un EIA

Les obres que es trobin en la casuística anterior hauran de fer un estudi en la fase de projecte (moment ideal per prevenir possibles molèsties) que es formalitza mitjançant un document previ, anomenat **estudi preliminar d'impacte acústic**, que s'ha de presentar en la fase de sol·licitud de llicència urbanística a càrrec del promotor i que ha de fer un tècnic competent.

Aquest estudi preliminar d'impacte acústic ja ha de contenir informació espacial de la ubicació dels treballs de construcció i l'àrea d'afectació, situant els receptors del seu voltant i a quina distància es troben. També ha d'incloure la previsió d'inici i la duració de l'obra, una descripció del tipus de maquinària i dels processos constructius utilitzats i una estimació dels nivells, considerant càlculs amb l'ús de la maquinària tipus més sorollosa sobre el receptor més desfavorable (en camp lliure). Amb aquesta estimació de nivells el promotor podrà fer un càlcul aproximat de la realitat de l'obra respecte el seu possible compliment/incompliment i el paquet de mesures correctores (pel que fa al pressupost) que haurà d'implementar.

Una vegada que el promotor ja disposa de l'autorització corresponent per efectuar l'obra i ha contractat l'empresa o empreses que la duran a terme, el contractista encarregarà el **projecte d'impacte acústic**, que es compon de:

1. El projecte executiu de l'obra, amb una informació detallada de les diferents fases constructives, la maquinària i els recursos utilitzats en cada una de les fases i la informació temporal associada.
2. L'estudi d'impacte acústic, en què es fan càlculs en detall de les diferents casuístiques de l'obra, amb les fases de soroll que componen els processos constructius, amb el temps de funcionament i la maquinària utilitzada, incorporant-hi mètodes de càlcul de previsió de nivells, i amb la recomanació de programari específic per a situacions complexes d'obres amb múltiples fonts o múltiples receptors, seguint els criteris d'elaboració que es descriuen en aquest document.

Per poder fer un estudi d'impacte acústic acurat i al màxim de precís, cal tenir una bona planificació de les fases d'execució de l'obra, tant en temps com en mitjans, i que aquestes previsions es mantinguin. Qualsevol modificació rellevant en la maquinària o en els processos constructius necessitarà càlculs addicionals per poder valorar la incidència dels canvis.

Tots dos documents hauran de ser validats conjuntament per la direcció facultativa de l'obra i el contractista, que són els responsables del compliment del projecte acústic.

En aquest nou marc normatiu, es considera escaient identificar els agents implicats en el projecte d'execució d'una obra:

- *Promotor*: qualsevol persona física o jurídica per compte de qui es du a terme una obra.
- *Contractista*: la persona física o jurídica que assumeix contractualment davant del promotor, amb mitjans humans i materials, propis o aliens, el compromís d'executar la totalitat o part de les obres d'acord amb un projecte i les instruccions verbals i escrites corresponents.
- *Subcontractista*: la persona física o jurídica que assumeix contractualment enfront del contractista, empresari principal, el compromís de dur a terme algunes parts o instal·lacions determinades de l'obra, d'acord amb el projecte que en regeix l'execució i les instruccions verbals i escrites corresponents.
- *Direcció facultativa*: el tècnic o els tècnics, competents i autoritzats, contractats pel promotor encarregats de la direcció i del control d'execució de l'obra.
- *Servei de vigilància acústica*: el tècnic o tècnics competents, designats pel promotor, encarregats del control acústic de l'obra, tant de la implantació de les mesures correctores com del seguiment acústic, que es farà mitjançant mesuraments acústics.
- *Mediador*: persona que fa d'intermediari o procura acords per resoldre conflictes entre parts.

A més a més s'entén per *tècnic competent* el tècnic o tècnics encarregats d'elaborar l'estudi preliminar d'impacte acústic i l'estudi d'impacte acústic (integrat dins del projecte d'impacte acústic). Caldrà que disposi de coneixements d'enginyeria acústica, com ara del comportament de la propagació del soroll, el càlcul de l'eficàcia i el dimensionament de mesures correctores i la mesura i avaluació del soroll.

2. Contingut dels estudis d'impacte acústic

L'estudi d'impacte acústic, d'ara endavant, "EIA", és un document de caràcter tècnic que amb els anys ha anat agafant cada vegada més rellevància, i moltes administracions amb competències en matèria de contaminació acústica han fixat com s'estructura i quina informació ha de contenir aquest EIA.

Per regla general, si es tracta de comprovar la compatibilitat entre el territori i un determinat focus de soroll, en primer lloc caldrà fer un estudi del receptor o receptors i de l'emissor o emissors. A partir d'aquí caldrà fer una avaluació, és a dir, mitjançant una anàlisi per mesuraments o per càlculs teòrics, valorar l'impacte acústic dels focus sobre el seu entorn i els possibles receptors que hi hagi. Finalment si aquesta anàlisi demostra una incompatibilitat, caldrà fer modificacions del projecte o cercar mesures correctores, analitzant també matemàticament l'adequació d'aquestes mesures correctores.

L'EIA ha de contenir la informació mínima i de caràcter genèric següent:

1. Anàlisi acústica del territori.
2. Anàlisi acústica dels focus de soroll.
3. Avaluació de l'impacte acústic.
4. Definició de mesures preventives/correctores.

En funció de si ens trobem davant d'un gran projecte, com pot ser la construcció d'una nova infraestructura que creua el territori, o de la instal·lació d'una màquina de fred a la coberta d'un edifici, el grau de la definició tècnica o la complexitat de l'estudi pot variar molt, però al final tots els EIA han de contenir una informació mínima, més o menys desenvolupada, que pot fixar el regulador. Es desenvolupen més aquests quatre punts inicials:

1. Anàlisi acústica del territori.

a. Descripció de l'entorn i dels receptors propers.

b. Objectius acústics que s'han de complir, en funció dels receptors (tipus, sensibilitat acústica, ús del sòl...). Aquests seran els valors límit que s'han de complir, valors límit exteriors o interiors, en funció de la tipologia de la font de soroll/vibracions i el seu camí de propagació fins al receptor.

En el cas que la propagació sigui aèria, els valors límit que s'han de complir seran exteriors, mentre que si la propagació és estructural, els valors límit que s'han de complir seran interiors. Si la propagació és aèria i estructural, caldrà complir tant amb els nivells exteriors com els interiors.

En cas de no haver-hi valors límit associats, ja que es tracta de supòsits no previstos a la normativa, o d'inexistència de receptors clars, però que sí que hi hagi zones sensibles al soroll, es poden utilitzar valors de referència, que determinarà l'administració competent en funció de recomanacions, normes o publicacions.

c. Característiques del medi:

- I. En ambient exterior i a certes distàncies, les condicions meteorològiques de la zona poden ser importants: valors mitjans de temperatura, humitat, precipitació, direcció i velocitat del vent.

- II. També en ambient exterior, caldrà tenir caracteritzat el tipus d'entorn des del punt de vista del sòl i les possibles característiques absorbents, com poden ser camps de conreu i zones d'arbres/arbustos o reflectors.

2. Anàlisi acústica dels focus de soroll.

a. Descripció de les fonts sonores o vibratòries. En funció del tipus de font aquestes dades poden variar, però del que es tracta és que l'administració encarregada de revisar l'EIA es pugui fer una idea fidedigna de les fonts de soroll. Per exemple:

- I. Si es tracta de maquinària, caldrà especificar-ne la marca, el model, les especificacions tècniques més rellevants i l'emplaçament teòric.
- II. Si es tracta d'una carretera, caldrà especificar-ne el traçat, el nombre de carrils, la velocitat màxima de la via, i les previsions de la composició de trànsit que hi haurà distingint entre les tipologies de vehicles.
- III. Si es tracta d'un heliport, caldrà disposar del nombre d'operacions que s'hi efectuaran, possibles traçats d'enlairament o aterratge, condicionats per les diferents condicions predominants de la zona, així com els models d'helicòpters o d'avions que hi circularan.

b. Caracterització dels nivells d'emissió dels focus emissors. Les dades d'emissió són imprescindibles per poder fer els càlculs d'avaluació, i com més acurades i precises siguin aquestes dades, menys incertesa de resultats s'obtindrà. Aquestes dades es poden obtenir per diferents camins, a partir de dades dels fabricants de la maquinària (fitxes tècniques), a partir de models de càlcul, o empíricament a partir de mesuraments efectuats en fonts de soroll/vibració amb característiques semblants. Per exemple:

- I. Si es tracta de maquinària, és relativament senzill obtenir informació tècnica de la maquinària amb dades dels nivells globals i espectrals, dades que es poden trobar com a nivells de pressió a una certa distància, o com a nivells de potència acústica (recomanable).
- II. Si es tracta d'una carretera, a partir de les característiques físiques i les dades de mobilitat de la via, es poden obtenir els nivells d'emissió (referenciats a una certa distància), aplicant models matemàtics de predicció acústica.
- III. Si es tracta d'una activitat d'obra amb diversa maquinària treballant, es poden utilitzar dades d'altres obres, mesurant la maquinària treballant en les mateixes fases o processos.

c. Altres dades rellevants, com poden ser:

- III. Els horaris de funcionament de la maquinària o activitat.
- IV. Per a infraestructures no construïdes, s'han de fer diferents hipòtesis de càlculs, amb la previsió de creixement del trànsit de la via amb vista a certs anys .

3. Avaluació de l'impacte acústic.

A partir de mesuraments o càlculs teòrics utilitzant diferents mètodes numèrics, en què s'incorporen variables de propagació i transmissió del so, en exteriors o interiors, es pot establir els nivells d'immissió en un punt determinat o en un sentit més ampli per zones, en funció de la complexitat de l'entorn i del tipus de receptors.

a. Si el nivell d'avaluació estimat o mesurat als receptors afectats pel desenvolupament de l'activitat o funcionament de la font o les fonts de soroll/vibracions és inferior als valors límit d'immissió fixats, l'impacte acústic és compatible amb el seu entorn.

b. Si el nivell d'avaluació estimat o mesurat en els receptors afectats pel desenvolupament de l'activitat o funcionament de la font o les fonts de soroll/vibracions supera els valors límit d'immissió fixats, cal aplicar mesures correctores. Aquestes mesures s'han d'incloure i definir en l'EIA.

4. Definició de mesures preventives/correctores.

a. Aplicar mesures preventives, amb caràcter previ a l'inici del funcionament de les fonts, ja sigui una nova infraestructura o el funcionament d'una nova activitat i durant el règim de funcionament. Les mesures poden ser de diferent tipus en funció de la font de soroll/vibracions i els receptors que s'han de protegir:

- I. Si es tracta de maquinària o activitats: canviar l'emplaçament de les fonts, substituir fonts per altres de menys sorolloses, regular el règim d'explotació de l'activitat, definir actuacions de vigilància del règim de funcionament de les fonts o de l'activitat, etc.
- II. Per a infraestructures, estudiar traçats alternatius o el desplaçament de la infraestructura, treballar amb l'orografia del terreny, o incorporar mesures que atenuïn el soroll en el camí de propagació.

b. Aplicar a les fonts emissores mesures correctores mitjançant l'execució de tractaments acústics, millorant l'aïllament o incorporant absorció per disminuir els nivells d'emissió.

c. Aplicar directament mesures sobre els receptors: mesures protectores com apantallaments, tractament de les obertures i millora de l'aïllament acústic, actuant sobre els elements més dèbils de la façana, que acostumen a ser les finestres, amb una millora dels tancaments i vidres.

d. Altres mesures que siguin eficients i susceptibles d'aplicar.

La definició de les mesures ha de descriure en detall les solucions proposades amb la descripció dels materials utilitzats, els detalls constructius del muntatge, emplaçament, amb informació gràfica a una escala adequada i diferents seccions.

És recomanable la inclusió de quadres resum, presentant l'estat acústic inicial, dels diferents receptors estudiats, les mesures proposades i els nivells sonors o vibracions que s'esperen en cada receptor, una vegada s'hagin implantat les mesures. En el cas de mapes de soroll, és interessant elaborar mapes on es vegi la diferència entre l'estat actual i l'estat amb les mesures proposades.

3. Estudis d'impacte acústic en obres

Per poder fer un estudi d'impacte acústic acurat i al màxim de precís, cal tenir una bona planificació de les fases d'execució de l'obra, tant en temps com en mitjans, i que aquesta planificació es mantingui. Qualsevol modificació rellevant en la maquinària o en els processos constructius necessitarà càlculs addicionals per poder valorar la incidència de les modificacions.

3.1 Paràmetres/indicadors utilitzats en l'avaluació de les obres

Per quantificar el soroll de les obres, s'utilitzarà el paràmetre LAeq, que és el nivell equivalent energètic mitjà, ponderat A, associat a un temps d'amitjanament.

$$LA_{eq,T} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{pA^2(t)}{p_0^2} dt \right] dB$$

Per avaluar les obres al Principat d'Andorra, s'utilitzarà com a temps de referència el total d'hores del període diürn o nocturn:

$$LA_{eqd} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{Td} \sum_n^{i=1} (Ti \cdot 10^{\frac{LA_{eqi}}{10}}) \right) \quad [1]$$

$$LA_{eqn} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{Tn} \sum_n^{i=1} (Ti \cdot 10^{\frac{LA_{eqi}}{10}}) \right) \quad [2]$$

On:

- i representa cadascuna de les fases de soroll;
- Ti és la durada de la fase de soroll, i , expressada en minuts;
- Td és el nombre total de minuts per a l'horari diürn;
- Tn és el nombre total de minuts per a l'horari nocturn;

Per a l'horari establert en el Reglament del control de la contaminació acústica, del 3 de maig de 1996:

- Horari diürn: de 8 a 22 h ($Td = 840$ min).
- Horari nocturn: de 22 a 8 h ($Tn = 600$ min).

Degut al funcionament discontinu de les obres, amb diferents processos constructius i diferent maquinària que no necessàriament ha de funcionar tot el període diürn o nocturn, es dividirà el temps en fases de soroll, que es definiran com a períodes de temps en què el soroll és uniforme en nivell i percepció.

A l'hora de fer una avaluació d'una obra determinada, cal establir quines són les fases de soroll, en funció de les diferents fases constructives de l'obra al llarg del dia, i caracteritzar cada una de les fases de soroll, amb el seu nivell LAeq associat.

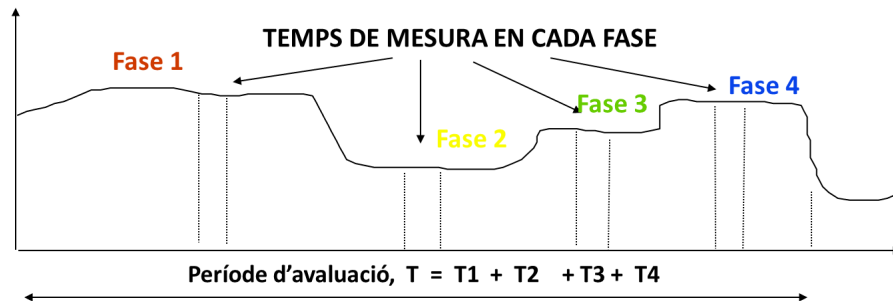


Figura 2. Representació de les fases de soroll

De la fase 1, s'obté un nivell LAeq1, i un temps de fase T1.

De la fase 2, s'obté un nivell LAeq2, i un temps de fase T2.

De la fase 3, s'obté un nivell LAeq3, i un temps de fase T3.

De la fase 4, s'obté un nivell LAeq4, i un temps de fase T4.

A partir de les quatre fases de soroll, en què la suma dels temps és igual al temps de referència (per exemple el total del període diürn), es pot calcular el nivell LAeq dia, segons les expressions [1] o [2]:

$$LAeqd = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{840} \left(T_1 \cdot 10^{\frac{LAeq_1}{10}} + T_2 \cdot 10^{\frac{LAeq_2}{10}} + T_3 \cdot 10^{\frac{LAeq_3}{10}} + T_4 \cdot 10^{\frac{LAeq_4}{10}} \right) \right)$$

Altres paràmetres poden complementar la informació, aportant informació addicional sobre les característiques del soroll, però en cap cas no són normatius:

- Nivells de pressió instantanis màxims (Lmax) i nivells pressió instantanis mínims (Lmin), per valorar-ne la variabilitat o els pics de pressió acústica.
- Nivell LAeq amb constant d'integració Impulse, per tal d'establir la impulsionalitat del soroll, característica freqüent en soroll generat per obres.
- Mesuraments en freqüència, en 1/3 d'octava, per establir possibles components tonals del soroll. Aquesta és una característica del soroll que pot generar un augment de la molèstia si l'energia acústica es concentra en una banda o bandes de freqüència concretes.
- Nivells estadístics (Ln). Són nivells calculats a partir del mostreig, en què s'obtenen valors en funció del temps total durant el qual se sobrepassa un determinat nivell acústic (Ln).

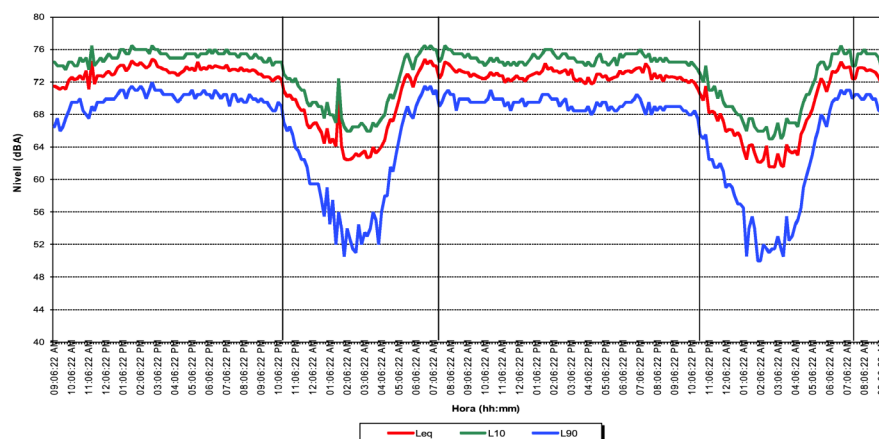


Figura 3. Representació de nivells estadístics on $L90 < Leq < L10$

Per exemple, l'L90 és el nivell que s'ha superat el 90% del temps de mesura, i s'acostuma a associar amb el soroll de fons, i l'L10 seria el nivell superat el 10% del temps.

3.2. La maquinària d'obra

La maquinària a la UE està sotmesa a directives de compliment obligatori per poder accedir al mercat europeu, i s'ha de garantir que no supera uns determinats nivells màxims de soroll, establerts a la Directiva 2000/14/CE, sobre emissions sonores en l'entorn degut a les màquines d'ús a l'aire lliure, i a la seva actualització, la Directiva 2005/88/CE, del 14 de desembre del 2005.

La directiva d'emissions sonores estableix nivells diferents d'avaluació en funció del tipus de màquina. Els fabricants de màquines són responsables d'avaluar les emissions sonores mitjançant assajos i fer la declaració de conformitat i l'etiquetatge posterior del marcatge CE. Per exemple, els nivells de potència acústica màxims per a màquines de tipus compactadores:

«Tipo de máquinas	Potencia neta instalada P (en kW) Potencia eléctrica P_{el} en Kw ⁽¹⁾ Masa del aparato m en kg Anchura de corte L en cm	Niveles de potencia acústica admisibles en dB/1 pW	
		Fase I a partir del 3 de enero de 2002	Fase II a partir del 3 de enero de 2006
Máquinas compactadoras (rodillos, planchas vibratorias, apisonadoras vibratorias)	$P \leq 8$	108	105 ⁽²⁾
	$8 < P \leq 70$	109	106 ⁽²⁾
	$P > 70$	$89 + 11 \lg P$	$86 + 11 \lg P$ ⁽²⁾

Figura 4. Nivell de L_w per a màquines compactadores (font: Directiva 2005/88/CE)

Per tant, els fabricants estan obligats a tenir aquesta dada en la documentació, i molt d'ells l'ofereixen directament en els fulls d'especificacions tècniques de comercialització del producte o en la documentació que acompanya la maquinària, com el que observem en l'exemple de la pàgina següent.

		MSP 1300 CE	
COMPRESSOR			
Presión de trabajo	bar	7	15
	psi	100	215
Caudal efectivo	m3/min	1,3	1,0
	cfm	50	36
Nivel de sonido	db(A) LWA	97	
Número de filtros de aire			
Aceite de compresor	L		
Salidas de aire comprimido			



Figura 5. Informació comercial d'un compressor de benzina (font: web MAC3)

3.3. La predicció de l'impacte sonor

Les obres, tot i ser temporals, utilitzen maquinària i processos que poden generar uns nivells acústics molt alts que impacten negativament sobre el seu entorn, especialment en zones pròximes a habitatges o receptors sensibles. Aquest fet s'agreuja si a més aquestes obres, per les necessitats constructives utilitzades, han d'executar-se de nit. La necessitat d'avaluar aquest impacte mitjançant un projecte d'impacte acústic ens permet valorar els nivells sonors que generarà l'obra i poder treballar amb diferents escenaris acústics, o diferent tipus de maquinària, així com valorar possibles mesures correctores, amb l'objectiu que l'obra s'executi amb el compliment de la normativa vigent.

Per obtenir els nivells sonors que produirà una obra, abans que s'executi, i poder valorar les possibles mesures correctores i la seva efectivitat, per així implantar les que resulten més beneficioses, és indispensable l'ús de metodologies de càlcul. De mètodes de càlcul n'hi ha diversos, desenvolupats a escala internacional. Alguns dels models desenvolupats per modelitzar fonts de tipus industrial (i utilitzats també per al soroll associat a obres i maquinària, ja que el tractament des del punt de vista de caracterització i propagació és igual) són:

- ISO 9613-2: Acoustics -Attenuation of sound during propagation outdoors. General method of calculation.
- VDI 2714/VDI 2720 – Outdoor sound propagation/Noise control by barriers outdoors. Alemanya.
- ÖAL 28 – Environmental noise from industrial plants. Àustria.
- DAL 32 - Nordic Prediction Method for Industrial Plants. Dinamarca.
- BS 5228-1: Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites. Regne Unit.

Cal dir que, tot i que molts països han desenvolupat models de càlcul, l'estàndard internacional ISO 9613 s'ha posicionat com el model de referència a escala mundial, i és el recomanat per la UE per a l'elaboració de mapes estratègics de soroll, quan cal modelitzar fonts de tipus puntual/lineal, associades a activitats, o les d'origen industrial. Les principals característiques de càlcul de la norma ISO 9613-2 són:

- Mètode d'enginyeria per predir els nivells de soroll ($L_{Aeq,T}$) en un receptor donat o més per un o múltiples focus amb una emissió coneguda.
- En la seva major part, considera condicions meteorològiques favorables a la propagació del so (*downwind conditions*).
- Addicionalment, incorpora un mètode per calcular un nivell de pressió avaluat sobre un període de temps llarg, LAT (*long term*), el qual inclou correccions per a una varietat de condicions meteorològiques.
- Incorpora una formulació per calcular factors d'atenuació deguts a diferents fenòmens. El càlcul està definit per bandes d'octava de 63 a 8 KHz i per fonts puntuals aïllades o agrupades, ja siguin estacionàries o en moviment.
- El mètode és aplicable a una gran varietat de situacions, com ara fonts de soroll d'indústria, així com un gran ventall d'activitats o maquinària.
- No és aplicable a soroll d'explosions (voladures).

Aquests models de càlcul són públics i coneguts, pel que fa a la seva formulació. Per exemple, la ISO 9613-2 és una norma publicada per l'Organització Internacional per a l'Estandardització. L'aplicació del model es pot fer manualment, amb un full de càlcul, per exemple, però en funció del nombre de fonts, el nombre de receptors i la complexitat de l'entorn, degut a la seva càrrega computacional, és recomanable usar programaris comercials que l'implementin.»

Els requisits del maquinari dependran del que cada programari demani en les seves especificacions (per regla general amb un maquinari de gamma mitjana serà suficient).

L'estructura del programari segueix l'esquema de blocs següent:

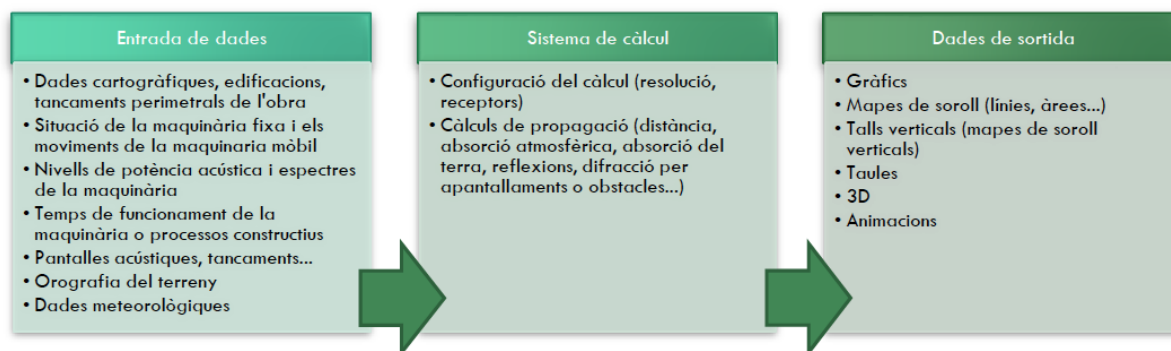


Figura 6. Esquema de blocs d'un programari de càlcul, específic de soroll generat per obres i la seva maquinària

El programari utilitzat per calcular els nivells de soroll en l'ambient exterior ha de complir els requisits que estableix la norma ISO 17534 pel que fa a la garantia de qualitat acústica i a les recomanacions generals per als assajos (test), així com les recomanacions per aplicar el control de qualitat en l'execució dels mètodes implementats pel programari d'acord amb la norma ISO 17534-1.

3.3.1. Estudi de la situació inicial

En tot estudi d'impacte acústic, és important conèixer l'estat inicial, és a dir, la situació acústica de la zona abans que entri en funcionament una activitat o font de soroll o, com en el cas de les obres, es comenci amb la fase constructiva de l'obra. Aquest estudi inicial ha de servir, una vegada efectuats els càlculs pertinents de previsió de nivells de la fase constructiva, per valorar els increments de soroll que hi haurà de cara a establir les mesures correctores o de cara a la comunicació prèvia al veïnat sobre l'impacte que generarà l'obra.

Aquest estudi es pot fer mitjançant mesuraments o mètodes de càlcul, i és recomanable efectuar mesuraments en continu o mitjançant mostres representatius, situant el punt de mesura en els receptors propers a la zona de l'obra i obtenint el nivell LAeqd en cada un d'aquests punts.

3.3.2. Les dades d'entrada

Les dades d'entrada són una de les claus perquè s'obtinguin dades de sortida fiables i tan properes a la realitat com sigui possible. El problema sovint apareix quan no es té del tot clar amb quina maquinària es comptarà o quins processos constructius s'utilitzaran. Per això, és molt important una bona planificació prèvia i un pla de treball que sigui realista. És evident que durant l'execució de l'obra pot haver-hi imprevistos, però sovint poden ser intuïts en la fase inicial, i per tant tinguts en compte com a escenaris futurs possibles; altres vegades sí que es tractarà de fets inesperats que poden modificar substancialment el tipus de maquinària i, per tant, les condicions acústiques de l'obra, i caldrà valorar-ne l'impacte, ja sigui via mesuraments o via càlculs.

Les dades que hauran d'alimentar el model matemàtic són:

- Cartografia i model en 3D de la localització de l'obra i el seu entorn, amb tots els elements que poden tenir una certa incidència en la propagació del soroll: corbes de nivell, edificis, murs, pantalles, vials, etc. Serà important caracteritzar acústicament aquests elements, quan per les seves característiques puguin afectar en la propagació (exemple: pantalles acústiques absorbents, o el grau d'absorció de les façanes dels edificis, etc.).
- Dades i característiques de les fonts de soroll. Aquest és un dels punts clau de l'EIA: caldrà definir les fonts de soroll fixes i mòbils, i tenir-les caracteritzades acústicament, mitjançant dades definides pel fabricant (ja s'ha explicat que hi ha unes obligacions de certificació amb dades acústiques de maquinària d'ús a l'aire lliure) o dades extretes experimentalment a partir de bases de dades que té el consultor o que es mesuren en altres obres. Les operacions amb maquinària mòbil hauran de tenir associat el recorregut, i en tots els casos cal establir el temps de funcionament.
- Paràmetres meteorològics de la zona d'estudi, sempre que els receptors es trobin a més de 100 metres del perímetre de l'obra. Per a distàncies menors, les variables meteorològiques afectaran poc i se'n podran menysprear els efectes a efectes de càlcul.

3.3.2.1. Dades cartogràfiques

El primer que cal és disposar d'una cartografia de referència prou actualitzada, i amb una resolució. La base cartogràfica digital d'Andorra 1:5000 (BTA-5m), que presenta corbes de nivell cada 5 metres, una precisió d'1 m en planimetria (1,5 m en altimetria), dades dels objectes tridimensionals i diferents formats digitals (DXF, SHP, DGN) que es podran importar als programaris de càlcul, pot ser una base cartogràfica adequada.

Sovint la cartografia disposa d'una gran quantitat d'objectes que des del punt de vista acústic no són interessants ni determinants en els càlculs, és a dir, que són totalment transparents i que poden alentir els càlculs.



Figura 7. Exemple de base topogràfica 1:5000 (zona Encamp)

Per millorar la mida dels fitxers i la velocitat de càlcul, en funció del pes de la cartografia, és recomanable una neteja de capes d'aquesta darrera, deixant únicament les capes que són útils per al processament o que poden ser interessants per identificar l'entorn.

Les dades cartogràfiques que s'hauran de tenir en compte són les següents:

- Corbes de nivell.
- Edificis, tant els considerats receptors sensibles com les edificacions que puguin funcionar com a obstacles i modifiquin la propagació del soroll, com per exemple naus industrials.
- Murs, sempre que siguin sòlids i suposin un obstacle al soroll, pantalles acústiques o sistemes de seguretat de carreteres tipus New Jersey quan puguin tenir incidència.
- Zones de vegetació, quan aquesta vegetació sigui arbrada i densa. Aquesta zona podrà atenuar el soroll.
- Carrers o carreteres. Visualment pot ajudar a entendre millor la cartografia, i si hi circula maquinària mòbil, caldrà definir-ne els moviments sobre els vials, sempre que tingui incidència en els receptors en la zona de l'obra.

3.3.2.2. Dades de les fonts de soroll

És primordial que la caracterització correcta de les fonts de soroll es faci de manera acurada, per arribar a obtenir uns resultats tan propers a la realitat com es pugui.

En primer lloc, cal tenir ben definit el projecte executiu, amb les diferents fases de treball, la maquinària, les operacions previstes i el calendari. A partir d'aquesta projecció es poden establir els diferents escenaris acústics, assignant un temps de funcionament a cada escenari, per obtenir un indicador mitjà, LA_{eqd}, que s'utilitzarà per avaluar el compliment de la normativa.

Pel que fa a les fonts de soroll, poden ser de tipus fix o mòbil:

- **Fix:** la seva ubicació serà estàtica, sempre en el mateix punt o durant llargs períodes de temps. Per exemple, els grups electrògens.
- **Mòbil:** el seu ús va estretament relacionat amb un moviment o recorregut, que s'haurà de tenir en compte (per exemple, una apantalladora). La font es configura com una font lineal distribuint la seva energia o com una font puntual amb un recorregut determinat.

Una segona diferenciació entre fonts que serà interessant de fer és en funció de si intervé el treball humà en el procés, la qual cosa dificulta l'obtenció de dades d'emissió.

- Font associada a una màquina: el soroll que genera es troba mesurat per part del fabricant i se'n coneixen les dades. Per exemple, una retroexcavadora.
- Font associada a un treball: l'efecte humà influeix en el nivell d'emissió. Per exemple, la construcció d'un encofrat per formigonar-lo posteriorment.

En tots els casos, caldrà disposar d'informació sobre els nivells d'emissió sonora. Aquests nivells s'obtingran de diferents fonts d'informació, conegudes i publicades, o a partir de dades obtingudes de manera empírica pel consultor.

Dins del grup de maquinària amb dades conegudes, la informació es podrà obtenir:

- Com una dada del nivell d'emissió màxim garantit, segons la Directiva 2000/14/CE, sobre emissions sonores en l'entorn degut a les màquines d'ús a l'aire lliure, i a la seva actualització, la Directiva 2005/88/CE, del 14 de desembre del 2005, desenvolupat al punt 3.2 d'aquest manual.
- De bases de dades públiques, que poden ser oficials o privades (si són privades cal saber-ne la font). Alguns dels exemples de BD oficials que podem trobar són:
 - Norma australiana AS 2436: Guide to noise and vibration control on construction, demolition and maintenance sites.

TABLE A1
TYPICAL SOUND LEVELS OF CONSTRUCTION PLANT AND EQUIPMENT*

Plant description	A-weighted sound power levels L_{WA} dB ref: 10^{-12} W		A-weighted sound pressure levels L_{pA} (mid-point) dB at 10 m
	Typical or Range	Typical (mid-point)	
Asphalt paver	103-112	108	80
Asphalt rotomill	111	111	83

Figura 8. Exemple dels nivells de potència acústica de dos asfaltadores (font: AS 2436)

- La base de dades publicada per la Comissió Europea d'acord amb la comunicació dels fabricants pel certificat CE:

 EUROPEAN COMMISSION DG GROWTH		Equipment Noise by Type, Split by Power Category				
		9. COMPRESSORS (< 350 KW)				
		Compressors				
Net Installed Power Category		P <= 15(Kilowatts)				
Net Installed Power Category : 000015						
	Certificate Date	Certificate Number	Equipment Model Name	Equipment Permissible Sound Power L	Guaranteed Sound Level	Measured Sound Power Level
ARGOS Limited Avebury 489-499 Avebury Boulevard, Saxon Gate West, Central Milton Keynes MK9 2 NW UK	12/07/2006	14562	ZTD_012B5A rgos Cat no: 750/0091	97	97	86
ARGOS Limited Avebury 489-499 Avebury Boulevard, Saxon Gate West, Central Milton Keynes MK9 2 NW UK	13/07/2006	14563	RC100 (Argos Cat no: 750/0125)	97	97	86

Figura 9. Exemple dels nivells de potència acústica de dos compressors de potència inferior a 15 KW (font: web de la Comissió Europea)

- Norma britànica BS 5228-1:2009. Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites.

Table C.4 Sound level data on general site activities (continued)

Ref no.	Equipment	Power rating, kW	Equipment size, weight (mass), capacity	Octave band sound pressure levels at 10 m, Hz								A-weighted sound pressure level, L_{Aeq} dB at 10 m	
				63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		
	Pumping concrete												
24	Concrete pump + cement mixer truck (discharging)	223	8 t / 350 bar	69	64	64	66	63	59	53	47	67	
25	Concrete pump + concrete mixer truck (pumping to 5th floor)	171	6 t / 350 bar / 150 mm diameter	83	81	78	79	77	74	71	66	82	
26	Concrete pump + concrete mixer truck (idling)	171	6 t / 350 bar / 150 mm diameter	75	76	71	70	71	68	64	60	75	

BRITISH STANDARD

Figura 10. Exemple dels nivells de pressió acústica a LPA, referenciats a 10 metres de distància, i en octaves (font: BC 5228)

L'avantatge d'aquesta norma britànica és que disposa d'una gran base de dades, tant de potència acústica, L_w , com dades distribuïdes freqüencialment en octaves.

- Les dades que aporten els fabricants, que poden ser complementàries a les obligades per la Directiva. Els nivells de potència acústica podran ser sovint l'única dada que s'aconseguirà de la màquina, però d'algunes especificacions tècniques dels fabricants es pot obtenir el nivell de potència acústica o de pressió acústica referenciada a una certa distància, distribuïda per freqüències, dada molt més interessant a l'hora de fer els càlculs, ja que la ISO 9613-2 treballa amb dades espectrals i serà preferible utilitzar-la en comptes del nivell global de potència acústica (L_w).
- Dades que alguns dels programes de càlcul, com per exemple CADNA-A o SoundPLAN, ja tenen incorporades internament en les seves llibreries de dades.

La segona tipologia de font que té a veure més amb determinades activitats, on hi ha maquinària o no, però on el soroll generat ve donat per les activitats associades als treballadors, no acostuma a ser de les fonts principals, i per tant, la seva contribució al total generat per l'activitat de l'obra és una contribució menor. Tot i així, el consultor responsable d'elaborar l'EIA haurà de valorar la necessitat d'incorporar o no les diferents activitats que es porten a terme dins de l'obra en els càlculs.

A més de la informació acústica, caldrà especificar la situació fixa o mòbil de la maquinària i el temps que funcionarà. Per valorar el compliment de l'activitat de construcció, es definirà l'horari diürn establert per normativa i es calcularà l' L_{Aeqd} , tenint en compte les màquines i els processos que funcionaran i els temps que hi estan associats.

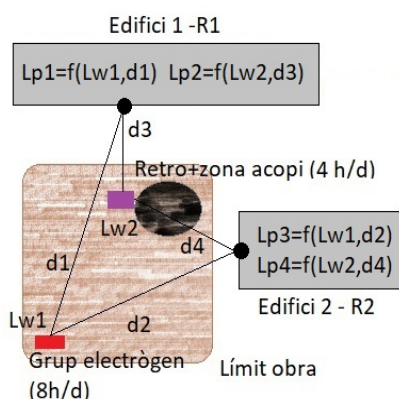


Figura 11. Croquis d'una obra amb dos màquines funcionant i dos receptors

Aquest senzill exemple amb dos màquines i dos receptors sensibles ens permet observar les variables que caldrà tenir en compte i explica el procés de càlcul de manera més detallada. En primer lloc, a partir dels nivells d'emissió $Lw1$ i $Lw2$ de les màquines i per les seves respectives distàncies als dos receptors sensibles (tenint en compte les variables de propagació que intervenen) s'obtenen els nivells $Lp1$ i $Lp2$ (deguts a la màquina 1 i 2 respectivament), associats al receptor R1, i els nivells $Lp3$ i $Lp4$ (també deguts a la màquina 1 i 2 respectivament) associats al receptor R2 (nivells referenciats a les façanes dels edificis receptors).

Una vegada es disposa del nivell que genera cada una de les fonts en el receptor, es calcula el nivell LAeq per a cada receptor com una suma energètica de les dos fonts, amb un temps de referència de 14 hores (període diürn) i corregint en funció del temps de funcionament de cada una de les màquines, incorporant el temps de funcionament en el càlcul. Per exemple, per al receptor R1, aquest càlcul és:

$$LAeq_{R1} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{14} \left(8 \cdot 10^{\frac{LAeq_1}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{LAeq_2}{10}} \right) \right)$$

On:

- LAeq_{R1} és el nivell resultant al receptor R1 i que es compararia amb el valor límit per comprovar el compliment.
- LAeq₁ és el nivell que genera la màquina 1 al receptor R1, i es corregeix amb el temps de funcionament de la màquina 1, 8 hores al dia.
- LAeq₂ és el nivell que genera la màquina 2 al receptor R1, i es corregeix amb el temps de funcionament de la màquina 2, 4 hores al dia.

3.3.2.3. Condicions meteorològiques

Les condicions meteorològiques afecten bàsicament en la propagació del soroll i en la seva transmissió per l'aire, i especialment a llargues distàncies; per tant, serà una variable que caldrà tenir en compte en funció de les dimensions de l'obra i l'abast del seu impacte. Per a obres acotades on les fonts de soroll i els receptors se situïn per sota dels 100 metres de distància, no es consideraran condicions meteorològiques en els càlculs. En canvi, si els receptors es troben més enllà de 100 metres de les fonts de soroll, serà una dada que caldrà tenir en compte: com més distància, més gran serà l'efecte de les condicions meteorològiques.

Les dades que cal registrar són la temperatura, la humitat relativa i la velocitat mitjana i la direcció del vent.

La temperatura i la humitat relativa s'utilitzen per calcular l'absorció atmosfèrica; de fet la norma ISO 9613-1: "Acoustics -Attenuation of sound during propagation outdoors", dona unes taules amb el coeficient d'absorció per a cada una de les freqüències en 1/3 d'octava i per a diferents condicions de temperatura i humitat en salts de cinc unitats (5°,10°,15°...). L'atenuació del so, degut a l'absorció de l'atmosfera, ve donada per:

$$\Delta L_T(f) = \alpha \cdot s$$

On α és el coeficient d'absorció, en dB/m, degut a l'absorció atmosfèrica per una determinada freqüència, i s és la distància en metres. Per exemple, l'atenuació per l'absorció atmosfèrica a 500 m i amb unes condicions de 20° de temperatura i 70% d'humitat:

(I) Air temperature: 20 °C										
Preferred frequency Hz	Relative humidity, %									
	10	15	20	30	40	50	60	70	80	100
50	$2,70 \times 10^{-1}$	$2,14 \times 10^{-1}$	$1,74 \times 10^{-1}$	$1,25 \times 10^{-1}$	$9,65 \times 10^{-2}$	$7,84 \times 10^{-2}$	$6,60 \times 10^{-2}$	$5,70 \times 10^{-2}$	$5,01 \times 10^{-2}$	$4,47 \times 10^{-2}$
63	$3,70 \times 10^{-1}$	$3,10 \times 10^{-1}$	$2,60 \times 10^{-1}$	$1,92 \times 10^{-1}$	$1,50 \times 10^{-1}$	$1,23 \times 10^{-1}$	$1,04 \times 10^{-1}$	$8,97 \times 10^{-2}$	$7,90 \times 10^{-2}$	$7,05 \times 10^{-2}$
80	$4,87 \times 10^{-1}$	$4,32 \times 10^{-1}$	$3,77 \times 10^{-1}$	$2,90 \times 10^{-1}$	$2,31 \times 10^{-1}$	$1,91 \times 10^{-1}$	$1,62 \times 10^{-1}$	$1,41 \times 10^{-1}$	$1,24 \times 10^{-1}$	$1,11 \times 10^{-1}$
100	$6,22 \times 10^{-1}$	$5,79 \times 10^{-1}$	$5,29 \times 10^{-1}$	$4,29 \times 10^{-1}$	$3,51 \times 10^{-1}$	$2,94 \times 10^{-1}$	$2,52 \times 10^{-1}$	$2,20 \times 10^{-1}$	$1,94 \times 10^{-1}$	$1,74 \times 10^{-1}$
125	$7,76 \times 10^{-1}$	$7,46 \times 10^{-1}$	$7,12 \times 10^{-1}$	$6,15 \times 10^{-1}$	$5,21 \times 10^{-1}$	$4,45 \times 10^{-1}$	$3,86 \times 10^{-1}$	$3,39 \times 10^{-1}$	$3,02 \times 10^{-1}$	$2,72 \times 10^{-1}$
160	$9,65 \times 10^{-1}$	$9,31 \times 10^{-1}$	$8,99 \times 10^{-1}$	$8,49 \times 10^{-1}$	$7,52 \times 10^{-1}$	$6,60 \times 10^{-1}$	$5,82 \times 10^{-1}$	$5,18 \times 10^{-1}$	$4,65 \times 10^{-1}$	$4,21 \times 10^{-1}$
200	1,22	1,14	1,14	1,12	1,06	$9,50 \times 10^{-1}$	$8,58 \times 10^{-1}$	$7,76 \times 10^{-1}$	$7,05 \times 10^{-1}$	$6,44 \times 10^{-1}$
250	1,58	1,39	1,39	1,42	1,39	1,32	1,23	1,13	1,04	$9,66 \times 10^{-1}$
315	2,12	1,74	1,69	1,75	1,78	1,75	1,68	1,60	1,50	1,41
400	2,95	2,23	2,06	2,10	2,19	2,23	2,21	2,16	2,08	2,00
500	4,25	2,97	2,60	2,52	2,63	2,73	2,79	2,60	2,77	2,71
630	6,26	4,12	3,39	3,06	3,13	3,27	3,40	3,48	3,52	3,52
800	9,36	5,92	4,62	3,84	3,77	3,89	4,05	4,19	4,31	4,39
1 000	$1,41 \times 10$	8,72	6,53	5,01	4,65	4,66	4,80	4,98	5,15	5,30
1 250	$2,11 \times 10$	$1,31 \times 10$	9,53	6,81	5,97	5,75	5,78	5,92	6,10	6,29
1 600	$3,13 \times 10$	$1,98 \times 10$	$1,42 \times 10$	9,63	8,00	7,37	7,17	7,18	7,31	7,48
2 000	$4,53 \times 10$	$2,99 \times 10$	$2,15 \times 10$	$1,41 \times 10$	$1,12 \times 10$	9,86	9,25	9,02	8,98	9,06
2 500	$6,35 \times 10$	$4,48 \times 10$	$3,26 \times 10$	$2,10 \times 10$	$1,61 \times 10$	$1,37 \times 10$	$1,25 \times 10$	$1,18 \times 10$	$1,15 \times 10$	$1,13 \times 10$
3 150	$8,54 \times 10$	$6,62 \times 10$	$4,94 \times 10$	$3,18 \times 10$	$2,39 \times 10$	$1,98 \times 10$	$1,75 \times 10$	$1,61 \times 10$	$1,53 \times 10$	$1,48 \times 10$
4 000	$1,09 \times 10^2$	$9,51 \times 10$	$7,41 \times 10$	$4,85 \times 10$	$3,61 \times 10$	$2,94 \times 10$	$2,54 \times 10$	$2,29 \times 10$	$2,13 \times 10$	$2,02 \times 10$
5 000	$1,33 \times 10^2$	$1,32 \times 10^2$	$1,09 \times 10^2$	$7,39 \times 10$	$5,51 \times 10$	$4,44 \times 10$	$3,79 \times 10$	$3,36 \times 10$	$3,06 \times 10$	$2,86 \times 10$
6 300	$1,56 \times 10^2$	$1,76 \times 10^2$	$1,56 \times 10^2$	$1,12 \times 10^2$	$8,42 \times 10$	$6,78 \times 10$	$5,74 \times 10$	$5,04 \times 10$	$4,54 \times 10$	$4,18 \times 10$
8 000	$1,75 \times 10^2$	$2,21 \times 10^2$	$2,15 \times 10^2$	$1,68 \times 10^2$	$1,28 \times 10^2$	$1,04 \times 10^2$	$8,78 \times 10$	$7,66 \times 10$	$6,86 \times 10$	$6,26 \times 10$
10 000	$1,93 \times 10^2$	$2,67 \times 10^2$	$2,84 \times 10^2$	$2,42 \times 10^2$	$1,94 \times 10^2$	$1,59 \times 10^2$	$1,35 \times 10^2$	$1,18 \times 10^2$	$1,05 \times 10^2$	$9,53 \times 10$
										$8,79 \times 10$

Figura 12. Taula del paràmetre α , per a unes condicions de 20 °C i en funció de la freqüència i la humitat relativa en % (font: ISO 9613-1)

La velocitat i la direcció del vent poden condicionar la propagació favorable o desfavorable del soroll, produint una dispersió important en els resultats. S'aconsella treballar amb valors amittjanats anuals pel que fa a la temperatura, la humitat i la velocitat i la direcció del vent, tot i que si hi ha escenaris meteorològics clarament diferenciats, per exemple hivern i estiu, es poden fer càlculs amb valors meteorològics diferenciats.

Una alternativa per obtenir resultats més precisos pel que fa a les diferents condicions de propagació és treballar des del punt de vista meteorològic amb dos supòsits:

- Condicions favorables de propagació.
- Condicions desfavorables de propagació.

Per cada un dels càlculs obtenim un nivell $Leq_{(C^{FAV})}$ i $Leq_{(C^{DESFAV})}$ i s'aplica un factor de probabilitat (p , valor entre 0 i 1):

$$LAeqd_{R1} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{14} \left(8 \cdot 10^{\frac{LAeq_1}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{LAeq_2}{10}} \right) \right)$$

3.3.2.4. Característiques acústiques de l'entorn

L'entorn que envolta l'obra pot modificar la propagació que aquesta darrera emet, i pot generar un augment o disminució de nivells en els receptors en funció de la interacció dels fronts d'ones acústiques amb els elements físics que envolten l'obra.

En primer lloc hi ha l'efecte de difracció que pot generar qualsevol objecte físic que suposi un obstacle en el camí directe entre font i receptor. Cal tenir present que aquest tipus d'efecte pot generar a la pràctica una atenuació d'uns 20 dB (25 dB si es tracta d'un obstacle amb unes dimensions molt més grans que la longitud d'ona).

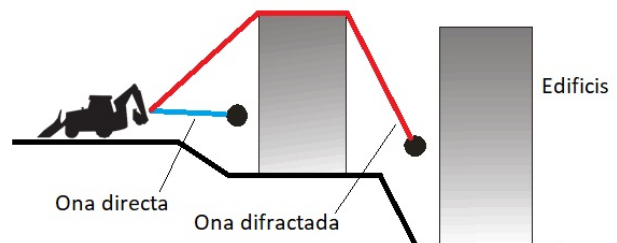


Figura 13. Efecte de difracció d'un obstacle

Aquest efecte és quantificable, i hi ha diferents mètodes de càlcul (Fresnel o Maekawa), que tenen en compte la diferència de camins (diferència entre camí directe i camí que envolta l'obstacle) i la freqüència. A part de la difracció que es produeix en aquests objectes és important definir les seves característiques absorbents, ja que poden generar més o menys reflexions.

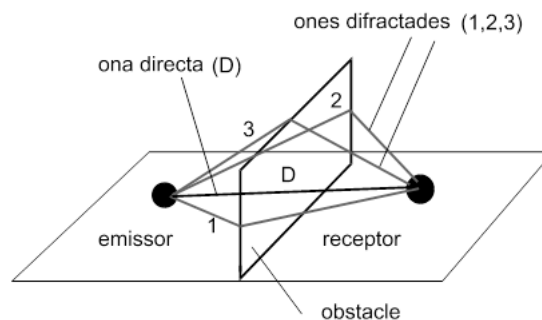


Figura 14. Càlcul de l'efecte de difracció en funció de la diferència de camins que ha de fer el soroll per arribar al receptor

També hi ha la interacció del front d'ones amb la superfície del terra. Aquest terra pot ser dur o tou i generar reflexions. El sòl, per regla general i quan es tracta de sòl vegetal (amb herba, arbustos o arbrat), tindrà un comportament absorbent, mentre que els terres durs o el gel i l'aigua poden generar reflexions que retornen. La norma ISO 9613-2 té en compte l'absorció del terra, dividint el camp entre el receptor i l'emissor en tres zones, i fixa una característica d'absorció per a cada una de les zones.

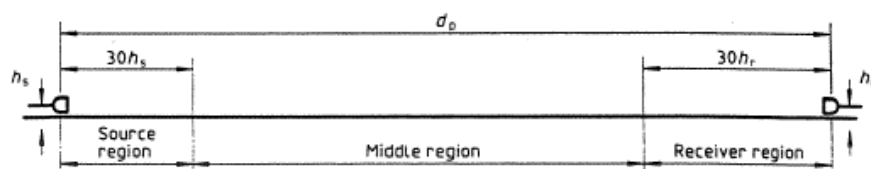


Figura 15. Distribució de l'espai entre font i receptor en tres zones diferenciades segons ISO 9613-2, pel càlcul de la contribució de les reflexions del sòl (font: ISO 9613-2)

Per regla general, el programari existent en el mercat permet caracteritzar acústicament els objectes introduïts en el model en 3D, mitjançant el grau d'absorció (coeficient d'absorció, α), o quan es tracta del sòl, es permet definir diferents àrees, amb diferents tipus de cobertura, caracteritzada pel paràmetre G (paràmetre que va de 0 a 1, equivalent al coeficient d'absorció).

Les edificacions, i les construccions en general, tindran un comportament reflector, ja que el formigó, el maó vist, arrebossat o pintat, l'aplacat de pedra, el vidre o altres materials amb què es fan les façanes són materials reflectors i generaran contribucions positives que caldrà tenir en compte. Aquest fet pot tenir rellevància en zones urbanitzades amb una certa densitat. S'aconsella treballar fins a un màxim de dos reflexions, i el més habitual és treballar únicament amb la primera reflexió.

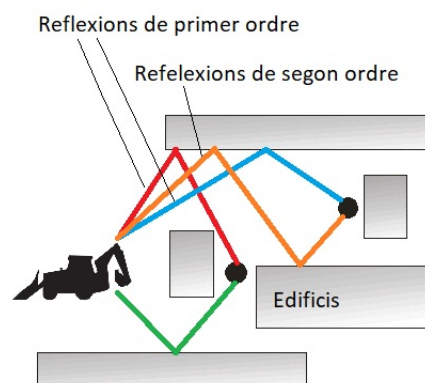


Figura 16. Efecte sumatori de les reflexions. En general és suficient treballar amb reflexions d'ordre 1, 2 com a màxim, per no generar un cost computacional que no justifiqui un augment significatiu de precisió en els càlculs

A més de l'absorció que pot aportar el sòl, si hi ha zones arbrades extenses, amb prou densitat de fullatge, pot aportar una atenuació addicional d'absorció. La ISO 9613-2 ens aporta taules i dades per calcular-ho.

3.3.2.5. Mesures correctores

Totes les obres que hagin de treballar amb el conjunt dels supòsits següents: a) treballs d'excavació en roca o perforacions; b) ús de maquinària pesant; c) existència de receptors sensibles al soroll a una distància inferior a 100 metres del perímetre de l'obra, hauran d'aplicar les mesures preventives i correctores següents per poder desenvolupar l'obra:

- Els motors de combustió han d'anar equipats amb silenciadors de gasos de combustió i sistemes esmorteïdors de soroll i vibracions.
- Els motors de les màquines s'han d'aturar quan no s'utilitzin.
- La maquinària ha de disposar d'elements silenciadors, sempre que n'admeti.
- Els grups electrògens i compressors han de funcionar amb tots els elements de protecció tancats.

- e) Els generadors elèctrics que s'instal·lin en via pública, i per a durades superiors a tres mesos, el generador ha de ser substituït per una escomesa elèctrica, excepte en les obres d'urbanització.
- f) Apantallaments acústics perimetrals fixos de 3 metres d'alçària.
- g) Tancament perimetral de la maquinària fixa i allunyada de les zones més properes als receptors.
- h) Apantallament perimetral de la maquinària pesant i mòbil amb apantallaments mòbils en proximitat.
- i) S'ha de comunicar al veïnat les fases constructives i el soroll que es generarà, a través de la persona medidora, així com posar a disposició dels veïns un mitjà de contacte amb el mediador (telèfon, correu electrònic, etc.).
- j) Control inicial i controls periòdics de les fases de construcció representatives.
- k) Si és necessari, també caldrà fer convenis i acords entre el contractista i els receptors sensibles afectats per minimitzar les molèsties per soroll.

En el paquet de mesures preventives/correctores, hi ha mesures de bones pràctiques i de gestió, però també hi ha mesures físiques, que caldrà haver incorporat a l'EIA, per valorar-ne l'eficàcia i comprovar si es consideren les millors tècniques disponibles.

Les mesures *f*, *g* i *h* van encaminades a obstaculitzar la propagació del soroll des de la font generadora als receptors, i com a elements físics que tenen unes certes dimensions i d'uns determinats materials poden modelitzar-se i caracteritzar-se, a fi i efecte de calcular-ne l'efectivitat. A efectes de càlcul, es pot valorar la millor posició, les seves dimensions (llargada, amplada), inclús amb les seves característiques d'absorció, per arribar a optimitzar la solució correctora i obtenir-ne la reducció més elevada, tenint en compte sempre la seva viabilitat tècnica i econòmica.

Pot haver-hi altres mesures no previstes en la llista, però que vagin encaminades a reduir el soroll, i que, des del punt de vista físic, puguin ser calculades i se'n pugui valorar l'efectivitat. Algunes d'aquestes mesures podrien ser:

- Modificar el traçat de les formigoneres o els camions de recollida de runam.
- Modificar l'aplec del material.
- Folrar superfícies verticals amb material absorbent per disminuir les reflexions i generar un nivell reverberant més baix.
- Canviar la ubicació de la maquinària fixa, p. ex., grups electrògens, o substituir grups electrògens per una escomesa.
- Modificar el recorregut de la maquinària mòbil, per evitar al màxim que hagi de fer desplaçaments de marxa enrere i evitar, així, l'ús del sistema d'avís acústic.
- Instal·lar tancaments que obliguin a usar sistemes de ventilació forçada (orientació d'aquests sistemes).
- Etc.

3.3.2.6. Definició dels períodes de temps i valors límit de referència

Segons el Reglament del control de contaminació acústica que s'aplica al Principat d'Andorra:

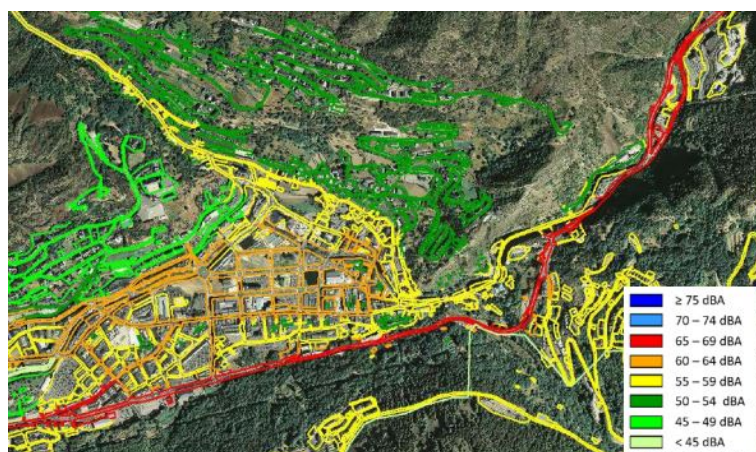
- Horari diürn, 8 a 22 h (T = 14 h)
- Horari nocturn, 22 a 8 h (T = 10 h)

Pel que fa als valors límit que s'han d'aplicar per valorar la compatibilitat de l'obra amb el territori, al Reglament del control de contaminació acústica s'estableixen aquests límits de caràcter temporal i excepcional durant l'execució de l'obra i en horari diürn, en funció dels tipus d'usos sensibles al soroll:

Zona de recepció	Nivell de dia LAeq dB(A)
Zona d'ús educatiu o sanitari	70
Zona d'ús residencial	75
Zona d'ús terciari	80

No hi ha valors associats a l'horari nocturn ja que no es preveuen obres de construcció pública o privada planificades en horari nocturn, si produeixen un increment sobre el nivell de fons dels nivells sonors. Sols s'exceptua de la prohibició de treballar en hores nocturnes les obres públiques d'interès general i els treballs de serveis tant públics com privats de caràcter urgent que per urgència o perill i pels seus inconvenients no puguin fer-se de dia.

El cadastre sònic defineix diferents zones de sensibilitat acústica, a partir de l'ús del sòl, la planificació del territori i els nivells de soroll ambiental existents a la zona. Aquesta eina serà d'utilitat per disposar d'informació acústica prèvia a l'inici de les obres (estudi de la situació inicial), i valorar els increments que pot generar l'activitat de construcció.



Andorra disposa d'un cadastre sònic per a totes les parròquies, en horari diürn i nocturn, per a l'indicador LAeq, i en condicions de temporada alta i temporada baixa.

Figura 17. Cadastre sònic del Comú d'Escaldes-Engordany, pel període nocturn i en temporada baixa (font: Govern d'Andorra)

Les dades són consultables aquí: <https://www.mediambient.ad/contaminacio-acustica>.

Si l'Administració ho considera, es podran establir requisits addicionals, pel que fa a altres indicadors (com per exemple els associats als components impulsius o als components tonals del soroll, de vegades presents al soroll d'obres), o establir zones de protecció addicionals, que requereixen unes determinades condicions de qualitat acústica, com podrien ser espais naturals o zones tranquil·les.

En el cas que no es treballi durant tot el període diürn o es faci de manera discontinua, l'estudi haurà de preveure les possibles combinacions de màquines o processos constructius que coincideixen en temps, per poder identificar les fases de soroll més desfavorables.

3.3.3. Les dades de sortida

Es poden distingir dos tipus de dades de sortida del model matemàtic:

- Dades numèriques
- Dades cartogràfiques

En qualsevol cas, l'EIA ha d'incloure les dades numèriques, i es recomana complementar-les també amb les dades cartogràfiques.

Com s'ha explicat en punts anteriors, l'EIA ha d'identificar clarament els receptors sensibles al voltant de l'activitat de l'obra i totes les zones que requereixen protecció. Per a tots aquests punts identificats, cal donar valors numèrics exactes dels nivells d'immissió (receptors sensibles), i fer l'avaluació segons s'estableix a la normativa d'aplicació. Es recomana l'ús de taules d'interpretació fàcil on s'identifiquin la ubicació dels receptors, la descripció, i els nivells obtinguts en període de dia.

A més dels valors numèrics resultants, fixats per la normativa, poden ser interessants, de cara a interpretar resultats o elaborar els plans de reducció del soroll, dades de la contribució de la maquinària o les activitats de l'obra en el valor global del nivell equivalent. Aquestes taules poden ajudar a identificar les activitats més sorolloses dins del total d'activitats que s'hi desenvolupen i a prioritzar on cal aplicar les mesures correctores per reduir els nivells de contaminació acústica.

Pel que fa a la informació cartogràfica de sortida, s'ha de representar en una escala de colors, amb àrees amb un mateix nivell acústic, en salts de 5 decibels, segons la proposta de paleta de colors següent:

Rang	Color	Propietats del color R-G-B
≤40	Turquesa	160-235-235
>40-45	Verd clar	200-255-150
>45-50	Verd	100-200-0
>50-55	Verd fort	50-128-0
>60-65	Groc	255-255-0
>55-60	Ocre	255-205-105
>60-65	Taronja	255-128-0
>65-70	Vermell	255-0-0
>70-75	Vermelló	190-0-0
>75-80	Rosa	255-0-255
≥80	Blau	0-110-255

Figura 18. Paleta de colors per representar els nivells sonors

L'escala ha de ser suficient per mostrar la informació en detall; es recomana la impressió en una escala de 1:5000 a 1:1000.

Tots els mapes de sortida que figurin en l'EIA han de tenir la cartografia topogràfica de fons i s'han d'acompanyar d'una llegenda amb la informació següent:

- Identificació del mapa
- Indicador/paràmetre utilitzat
- Rangs de nivell i colors utilitzats
- Condicions/escenari calculats
- Escala
- Data

Aquests mapes es poden calcular a diferents altures, sobre el model digital de terreny. Per regla general s'obtidran mapes a 1,5 metres d'altura i a 4 metres (corresponents a una primera planta), però per a zones construïdes amb edificis plurifamiliars d'altura, serà convenient extreure mapes resultants de les plantes superiors dels edificis.

4. Referències

4.1 Webs:

https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/noise-emissions-outdoor-equipment_en

<https://www.epa.vic.gov.au/about-epa/publications/1834>

<https://www.datakustik.com>

<https://www.soundplan.eu>

<https://www.woelfel.de>

4.2 Documents i bibliografia:

Directiva 2000/14/CE sobre emissions sonores en l'entorn degut a les màquines d'ús a l'aire lliure:

<https://www.boe.es/doue/2000/162/L00001-00078.pdf>

Directiva 2005/88/CE per la qual es modifica la Directiva 2000/14/CE:

<https://www.boe.es/doue/2005/344/L00044-00046.pdf>

ISO 9613-1: Acoustics -Attenuation of sound during propagation outdoors. Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.

ISO 9613-2: Acoustics -Attenuation of sound during propagation outdoors. General method of calculation.

British Standard BS 5228-1:2009. Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites (part 1: Noise)

Australian Standard AS 2436-2010. Guide to noise and vibration control on construction, maintenance and demolition sites.

Reglament del control de la contaminació acústica, del 3 de maig de 1996, del Govern d'Andorra

Decret 26/2022, del 19 de gener de 2022, de modificació del Reglament del control de la contaminació acústica, del 3 de maig de 1996.

Decret 29/2022, del 19 de gener de 2022, d'aprovació del Reglament de modificació del Reglament de construcció.

Manual de medidas acústicas y control del ruido. Cyrill M. Harris. Tercera edició. 1998.

Guia per a la realització d'estudis d'impacte acústic de les obres

Autor:

Eduard Puig Solé

Col·laboradors:

Silvia Ferrer López

Laura Coll Malé

Nerea Tekwani Movellan

Míriam Monferrer Marsellés

Dipòsit legal: AND.80-2022

ISBN: 978-99920-0-936-9