

3. EL SOROLL: CARACTERITZACIÓ FÍSICA

3.1. EL SO

El so és una alteració mecànica de les partícules d'un medi elàstic produïda per un element en vibració. Aquesta alteració mecànica es propaga a través del propi medi, generalment l'aire, en forma d'ones sonores. Les vibracions provoquen una variació de la pressió del medi i creen una ona de pressió que es propaga per compressions i dilatacions del medi en totes les direccions allunyant-se del focus. L'equació d'aquesta ona de pressió és la següent:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \quad (3.1)$$

on: c = velocitat de propagació de l'ona sonora en el medi.

3.1.1. Velocitat de propagació de l'ona sonora: c

La velocitat de propagació de l'ona sonora varia segons el medi on es propaga; en els gasos és de l'ordre de centenars de m/s mentre que en els líquids és de l'ordre del km/s. En el buit el so no es propaga.

En aquesta tesina, degut a les seves característiques, el medi de propagació serà l'aire. Les molècules d'aire vibren i provoquen una variació de la pressió atmosfèrica, que és captada per l'oïda humana creant la sensació auditiva. En general, la velocitat de propagació de l'ona sonora es pot aproximar a partir de la pressió atmosfèrica i de la densitat de l'aire de la següent manera:

$$c = \sqrt{\frac{1.4 \cdot P_{at}}{\rho_{aire}}} \quad (3.2)$$

Un valor acceptat per a la velocitat de propagació de l'ona sonora és de 344 m/s en condicions normals de pressió i temperatura.

3.1.2. Freqüència de l'ona sonora

Des del punt de vista físic, les ones sonores es caracteritzen pel seu espectre, representació del so en el domini de la freqüència. La freqüència indica el nombre de cicles complets d'oscil·lació que es produeixen en un temps determinat. La unitat de mesura és l'hertz (Hz), que equival a un cicle per segon. L'espectre d'una ona sonora pot ser de dues classes: espectre de ratlles, característic dels instruments sonors que produeixen oscil·lacions periòdiques, que correspon als sons musicals, i espectre continu, quan les oscil·lacions no són periòdiques, propi dels sorolls.

3.1.3. Pressió sonora: P

La pressió sonora es defineix com la variació de pressió atmosfèrica en un punt com a conseqüència de la propagació a través de l'aire d'una ona sonora.

Es mesura en pascals (Pa) i la seva expressió és la següent:

$$P = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt} \quad (3.3)$$

on: T = interval temporal durant el que es fa la mitja de p(t).
 p(t) = pressió instantània

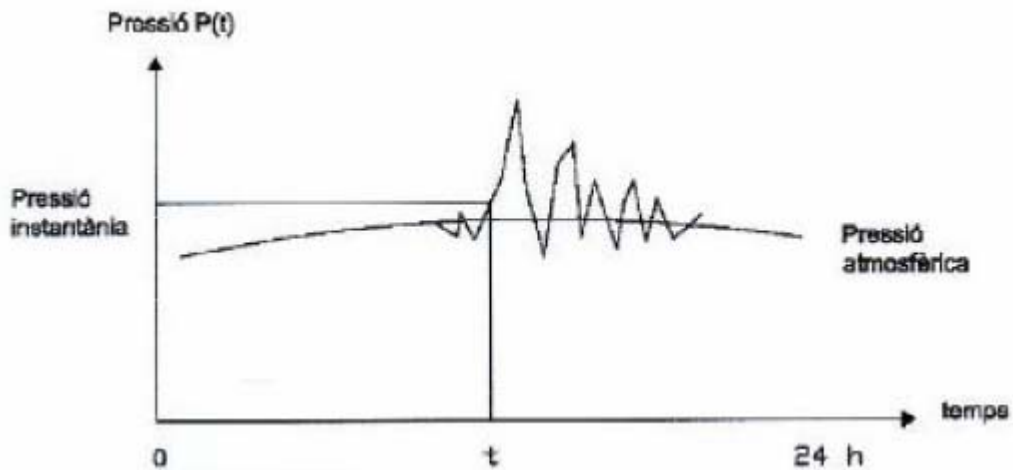


Figura 3.1 Pressió acústica (extret de [1])

3.1.4. Intensitat sonora: I

La intensitat sonora es defineix com l'energia sonora que travessa una unitat de superfície perpendicularment a la direcció de propagació per unitat de temps. En funció del grau d'intensitat, un so serà fort (més intensitat) o dèbil (menys intensitat). Aquesta magnitud es mesura en watts per m² (W/m²) i respon a la següent expressió:

$$I = \frac{P^2}{\rho \cdot c} \quad (3.4)$$

on: c = velocitat de propagació de l'ona sonora
 P = pressió sonora
 ρ = densitat de l'aire

3.1.5. Potència sonora: W

La potència sonora, mesurada en watts, s'obté de forma gairebé immediata a partir de la intensitat ja que només cal multiplicar per l'àrea travessada.

3.1.6. To i timbre

Cal destacar dues qualitats més que permeten diferenciar un so d'un altre: el to i el timbre. El to és una qualitat que depèn de la freqüència de vibració. Segons com sigui la freqüència dels sons, els tons es classifiquen en aguts i greus. Els

primers corresponen a freqüències altes, més grans que 1000 Hz, i els segons a freqüències baixes, menors de 1000 Hz. El timbre és la qualitat que permet distingir dos sons emesos per dos instruments diferents. Si el so és musical, és a dir, generat per un moviment vibratori periòdic, es pot considerar com una superposició de sons simples harmònics, les freqüències dels quals són múltiples enters de la d'un so base anomenat fonamental o primer harmònic. El seu timbre depèn de les intensitats relatives dels diferents sons simples que el componen.

3.2. EL SOROLL

La definició més habitual de soroll és aquell so molest i no desitjat. És una sensació auditiva no desitjada corresponent a una variació aleatòria, sense periodicitat, de la pressió al llarg del temps. És un so complex i pot ser caracteritzat per la freqüència de sons purs que el componen i per l'amplitud de la pressió acústica corresponent a cadascuna d'aquestes freqüències.

L'oïda humana pot percebre variacions de la pressió acústica dins d'un rang enorme de valors. El llindar d'audició dels humans, és a dir, la pressió acústica mínima que provoca una sensació auditiva, és $2 \cdot 10^{-5}$ Pa, i el llindar del dolor, és a dir, la pressió acústica que comença a provocar una sensació auditiva dolorosa, és d'uns 20 Pa. Degut a aquesta gamma de pressions acústiques tan àmplia, per mesurar el so s'utilitza una escala logarítmica adimensional.

3.2.1. Nivell de pressió sonora: L_p

Es defineix el nivell de pressió sonora (L_p) mitjançant la següent expressió:

$$L_p = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{P_0}\right)^2 = 20 \cdot \log\left(\frac{P}{P_0}\right) \quad (3.5)$$

on: P_0 = valor de referència de la pressió acústica ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa)
 P = pressió acústica (en Pa)

El nivell de pressió sonora s'expressa en decibels (dB).

En la següent taula s'observa el caràcter logarítmic de l'esmentada escala i com les variacions de la pressió acústica afecten al soroll percebut en dB.

Augment relatiu de la pressió sonora	Decibels
1	0
10	20
10^2	40
10^3	60
10^6	120
10^8	160
10^{10}	200

Taula 3.1 Escala logarítmica del soroll (elaboració pròpia)

Per tant, per aconseguir un augment de per exemple 20 dB cal multiplicar la pressió sonora per 10.

3.2.2. Nivell d'intensitat sonora o sonoritat: L_I

El nivell d'intensitat sonora es defineix a través de la següent expressió:

$$L_I = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (3.6)$$

on: I_0 = valor de referència de la intensitat sonora (10^{-12} W/m²), corresponent a la menor intensitat sonora audible per l'oïda humana a la freqüència de 1000 Hz.

I = intensitat sonora (en W/m²)

La sonoritat suposa una caracterització subjectiva del so que representa la sensació sonora causada pel mateix en un determinat oient.

3.2.3. Nivell sonor: L

El nivell de pressió sonora (L_p) i el nivell d'intensitat sonora (L_I) estan relacionats mitjançant la següent expressió:

$$L_I = L_p + 10 \cdot \log\left(\frac{400}{\rho \cdot c}\right) \quad (3.7)$$

on: c = velocitat de propagació del so a l'aire
 ρ = densitat de l'aire

En el cas assumible en la pràctica de tenir una temperatura de 20°C a l'aire ($\rho = 1,2$ kg/m³; $c = 344$ m/s) la diferència entre ambdós valors és insignificant, i per tant, es poden utilitzar indistintament. Per tant, a partir d'ara només es parlarà de nivell sonor (L).

En la següent taula es representen els nivells sonors en decibels corresponents a diferents situacions de la vida quotidiana.

Font de soroll	dB(A)
Silenci	0
Petjada	10
Fulles dels arbres en moviment	20
Conversació en veu baixa	30
Biblioteca	40
Despatx tranquil	50
Conversació	60
Trànsit d'una ciutat	80
Aspiradora	90

Motocicleta amb tub d'escapament	100
Concert rock	120
Martell pneumàtic	130
Enlairament d'avió a reacció	150
Explosió d'un artefacte explosiu	180

Taula 3.2 Soroll provocat per situacions quotidianes (extret de [2])

El nivell sonor té l'avantatge de ser una mesura objectiva i bastant còmoda de la intensitat del soroll. En contraposició però, té l'inconvenient que no representa amb precisió el que realment es percep degut a que no té en compte les freqüències que componen el soroll.

3.2.4. Freqüències audibles per l'oïda humana. Corbes estàndards de ponderació

La sensació sonora experimentada per l'oïda humana quan capta un so o un soroll d'una intensitat sonora determinada varia segons la freqüència d'emissió del focus sonor. L'interval de freqüències audibles per l'oïda humana es situa entre els 20 Hz i els 20.000 Hz. Per a un mateix nivell sonor, el soroll serà més molest a mesura que tingui una proporció més gran de freqüències altes. Els sons molt greus o molt aguts són percebuts amb menor sensació de sonoritat o força que els mitjos. Per aquest motiu, als anys trenta i principalment als Estats Units es defineix el nivell percebut de sonoritat corresponent a les distintes freqüències audibles i apareixen les corbes estàndard de ponderació.

Aquestes corbes actuen com a filtres selectius de manera que assignen un pes relatiu diferent a cadascuna de les freqüències que conté un determinat soroll en funció de la banda de freqüència a la qual pertanyen. Habitualment s'utilitzen els tres tipus de corbes de ponderació que es mostren en la figura següent: l'A, la B i la C. La corba A atenua progressivament les freqüències inferiors a 1000 Hz arribant a eliminar les més baixes. La B atenua freqüències per sota de 500 Hz i per sobre de 3000 Hz. Per últim, la C dona una resposta pràcticament plana en el rang de freqüències entre 500 i 3000 Hz.

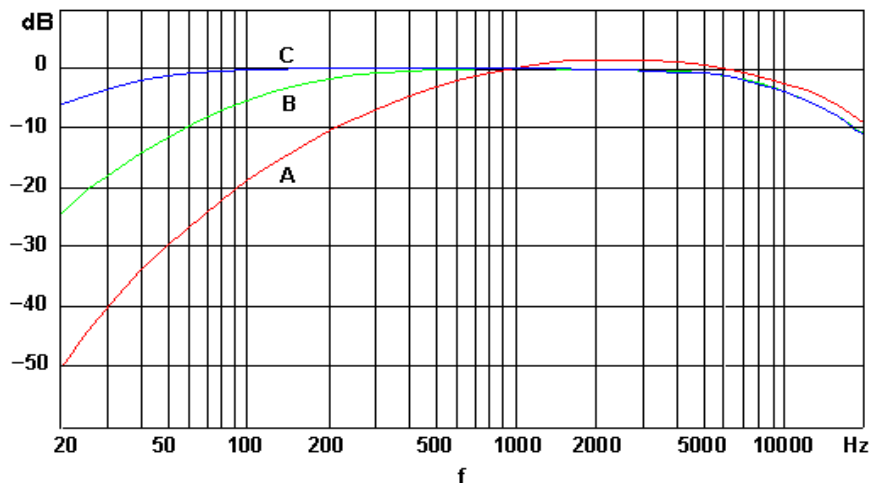


Figura 3.2 Corbes estàndard de ponderació (extret de [1])

El filtre més utilitzat en el domini del soroll dels ferrocarril i en general del soroll que afecta a l'ésser humà és l'A. Això es deu a que la seva resposta a les diferents freqüències és la que millor s'adapta a la manera en què l'oïda humana percep el soroll. Per tant, els nivells sonors solen anar referits a decibels A (dBA). En aquesta tesina totes les referències a nivells sonors estan fetes a aquest tipus de ponderació.