

El soroll

Unitat didàctica

Maig 2009



COL·LEGI OFICIAL DE DOCTORS
I LLICENCIATS EN FILOSOFIA I LLETRES
I EN CIÈNCIES DE CATALUNYA

Al servei de la professió docent



Generalitat de Catalunya
**Departament de Medi Ambient
i Habitatge**

UNITAT DIDÀCTICA: EL SOROLL

Equip redactor: Carles Saura

Nivell educatiu: batxillerat.

Índex

Bases teòriques

1. Naturalesa del soroll
2. Paràmetres per a la mesura del soroll
3. Tipus de fonts de soroll
4. Sonòmetres
5. Tècniques de medició de nivells sonors

Activitat 1: Calculem els nivells sonors

Activitat 2: Velocitat i freqüència del so

Activitat 3: Mesurem el soroll amb un sonòmetre

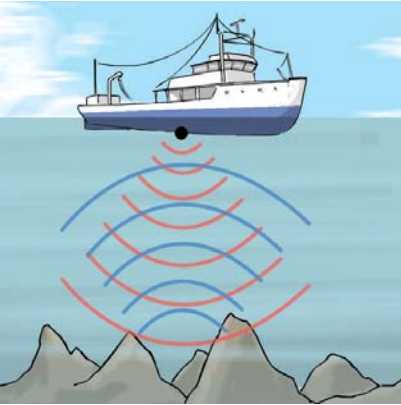
Guia del professor

1. Currículum
2. Orientacions en relació a les activitats
3. Recursos a Internet
4. Bibliografia

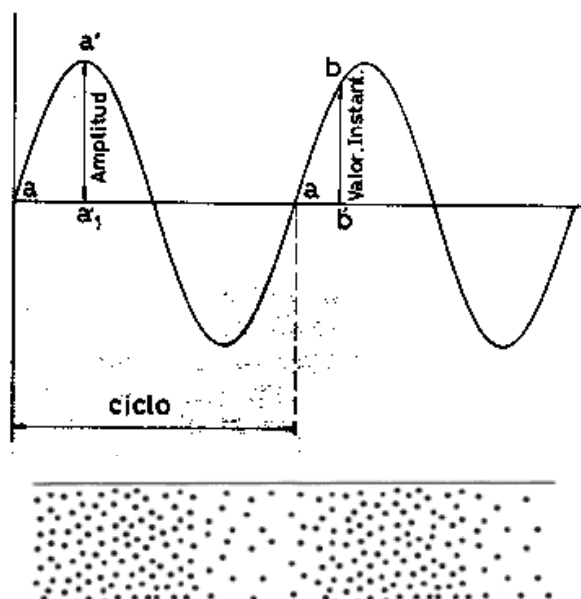
UNITAT: EL SOROLL**Nivell educatiu: batxillerat****1. Naturalesa del soroll**

Podem definir per soroll com un conjunt de sons molestos per a les persones. S'ha de considerar el soroll com una combinació complexa de sons diferents. Els sons, si són molestos o intempestius, produeixen efectes fisiològics i psicològics nocius sobre les persones.

Des del punt de vista de la Física, els sons es manifesten amb ones acústiques. Aquestes ones són moviments ondulatoris que es propaguen per un medi material, a l'aire, a l'aigua o a través de sòlids, i que poden ser percebudes per l'oïda de l'home i d'alguns animals. El so en manifestar-se com a ona presenta les propietats pròpies de les ones com ara l'amplitud de l'ona, la freqüència, la longitud de l'ona, el seu període, la intensitat, la velocitat i la direcció. Així mateix les ones presenten fenòmens de reflexió, refracció i interferències d'ona en passar d'un medi a un altre. El sonar és una de les aplicacions basada en la propietat de reflexió de les ones sonores.



Els moviments ondulatoris de les partícules de l'aire provoquen canvis periòdics de pressió de l'aire que són perceptibles per l'oïda. En absència de soroll la pressió sobre l'oïda és la pròpia de la pressió atmosfèrica.



La sensació del so es produeix per la successió de compressions i enrariments que provoquen les ones acústiques en desplaçar-se pel medi i que al arribar al timpà provoquen vibracions forçades d'igual freqüència.

Inicialment, un so s'origina per una aportació d'energia mecànica sobre un medi material que dóna lloc a vibracions mecàniques de la matèria. Així el cos que l'origina el so vibra amb una o diverses freqüències provocant sobrepressions i depressions a les partícules materials de l'aire que estan a prop i que consecutivament fan vibrar altres partícules materials properes a aquestes fins arribar al receptor. És per això que en absència d'un medi material (en el buit), el so no es transmet. Cal saber que la velocitat de propagació varia a cada medi material depenent de la compressibilitat de la matèria. Així per l'aire és de 344 m/s (1.224 Km/h) mentre que per l'aigua és força més elevada, de l'ordre de 1.493 m/s encara que el valor depèn també de factors com la temperatura o la salinitat de l'aigua.

Es parla de vibracions quan la transmissió de les ones es realitza a través d'un medi material diferent de l'aire. En aquest cas la percepció de la vibració és possible a través del sentit del tacte i també per l'oïda si la vibració es transmet també a través de l'aire.

2. Paràmetres per a la mesura del soroll

Les ones sonores es caracteritzen per l'amplitud dels canvis de pressió (per la seva intensitat), per la seva freqüència (o to) i per la velocitat de propagació. A mesura que passa el temps tant la intensitat del so com la seva freqüència poden variar a la font emissora. Els sorolls són combinacions complexes de sons que presenten diferent intensitat i freqüència i que a més poden ser variables en el transcurs del temps.

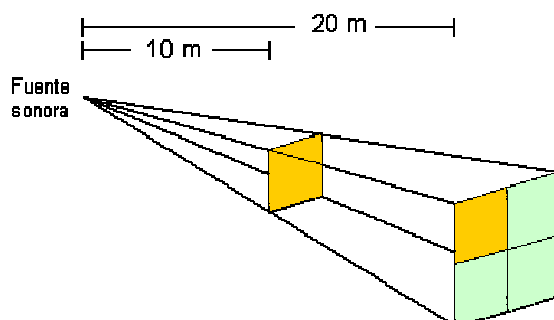
- Intensitat del soroll

La intensitat del so (el seu volum) està relacionada amb la potència sonora de la font. Les ones sonores es transmeten en forma d'esferes que s'originen a la font i que estan separades en funció de la seva longitud d'ona del so (o la seva freqüència). L'energia es reparteix per igual a la superfície de cada esfera o front d'ona. La intensitat disminueix a mesura que augmenta el radi de l'ona mesurat des de la font. La intensitat és dedueix de l'expressió

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

on P és la potència sonora de la font en wats, el denominador és la superfície de l'esfera de l'ona considerada i I és la intensitat sonora per unitat de superfície (en W/m²) a aquesta ona.

La intensitat disminueix amb el quadrat de la distància de forma que en doblar-se la distància la intensitat es redueix quatre vegades.



L'oïda humana pot percebre intensitats sonores molt baixes de l'ordre de 10^{-12} W/m² (llindar inferior d'audició) fins a valors molt grans de l'ordre d'1 W/m² (llindar inferior de dolor) i també superiors. Superat el llindar inferior de dolor es poden donar patologies de sordesa temporal i permanent en funció del temps d'exposició. Existeix una relació entre el llindar inferior de dolor d'intensitat sonora respecte al mínim que és de l'ordre de magnitud 12, d'un bilió de vegades (10^{12}).

Si apliquem logaritmes a la relació de les intensitats del llindar inferior de dolor respecte al límit auditiu inferior tindrem:

$$\text{Log}(I_s/I_0) = \log(1/10^{-12}) = 12 \text{ bels}$$

És a dir el so audible per l'home varia entre intensitats de 0 bels a 12 bels. La unitat bel es deu a A. Graham Bell, inventor de la telefonia. A la pràctica, per evitar decimals, s'utilitza la unitat decibel (dB) on $10 \text{ dB} = 1 \text{ B}$ de forma que el rang d'intensitats sonores audibles i no doloroses per l'home va de 0 a 120 dB.

- Nivell de pressió sonora

La intensitat d'un so o soroll té associada un valor de pressió sonora¹. S'entén per **pressió sonora** com la variació de la pressió produïda pel soroll que fa variar el valor de la pressió atmosfèrica.

En unes condicions de silenci absolut la pressió a l'oïda és igual a una pressió constant o de fons igual al valor de la pressió atmosfèrica (per conveni, 1013 hectopascals a nivell del mar, aproximadament 10^5 N/m²).

La major o menor amplitud de les variacions de la pressió en torn de la pressió atmosfèrica és el que fa que un so sigui més o menys intens. L'amplitud de l'ona és proporcional a la pressió que generen aquestes ones, pressió que s'anomena pressió sonora.

Una conversa animada a 1 m de distància origina una variació de la pressió atmosfèrica a l'entorn dels 0,2 Pa, és a dir, una pressió sonora de 0,2 Pa. El llindar de l'audició, és a dir, la pressió sonora originada pel so de menor intensitat que és perceptible per l'oïda humana és de l'ordre de 0,00002 Pa ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa). El llindar inferior del dolor, en el que el soroll comença a produir dolor, està en uns 20 Pa. L'escala de pressions sonores que l'home pot percebre normalment varia doncs entre els 0,00002 als 20 Pa, en un ordre de magnitud de 6 ja que els valors de pressió estan en una relació de $10^6:1$.

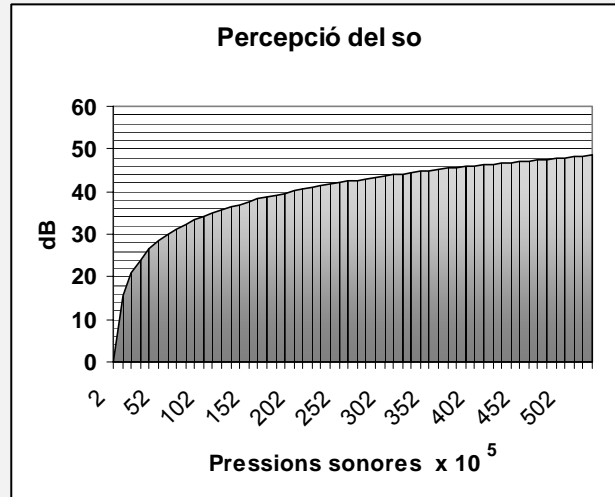
Per mesurar la intensitat de soroll és més útil utilitzar un paràmetre d'intensitat més pràctic que s'acosta millor a la manera com l'oïda humana percep el so. En comptes del paràmetre físic de pressió sonora en pascals (Pa), en Acústica se sol utilitzar el paràmetre **Nivell de Pressió Sonora** (Lp) que es correspon a la pressió sonora expressada en decibels (dB).

LA PERCEPCIÓ DEL SO

La percepció del soroll, la resposta de l'oïda a la pressió sonora no és lineal. En multiplicar per deu la pressió sonora no es produeix un increment proporcional de la percepció del soroll en

¹ Per indicar els valors de pressió es poden utilitzar les unitats del Sistema Internacional com el Pascal (1 Pa = 1N/m²). La pressió atmosfèrica a nivell del mar és de l'ordre de 101.300 Pa (= 1013 hectopascals = 1.013 mil·libars ó mb = 760 mm Hg = 1 atmosfera = 101.300 N/m²).

deu vegades sinó que la sensació d'increment de la intensitat del soroll és només del doble. Per estudis experimentals se sap que la percepció del so per l'home segueix aproximadament una funció logarítmica. Si es representa el nivell de la percepció del so respecte als valors de pressió sonora s'obté un gràfic que segueix una funció logarítmica. Si en canvi es representa la percepció respecte al logaritme decimal de la pressió sonora s'obté una funció lineal. D'aquesta manera l'escala lineal de pressions es pot fer correspondre al seu logaritme.



Una escala més operativa que la logarítmica resulta del producte dels valors de l'escala logarítmica per 20 (escala decibèlica). La unitat utilitzada en aquesta escala és el decibel (dB). Es fa servir aquesta escala perquè està demostrat que el valor de 1 dB és el mínim valor de canvi del nivell de pressió sonora que l'oïda humana pot apreciar. També se sap que per doblar la percepció del soroll és necessari un augment d'uns 10 dB.

Per deduir com es corresponen les pressions sonores amb nivells de pressió sonora s'ha d'utilitzar una pressió de referència. S'utilitza el valor de $2 \cdot 10^{-5}$ Pa ja que és el valor mínim que pot percebre l'oïda humana. Per fer correspondre valors de pressió amb nivells de pressió sonora es pot utilitzar el següent quadre:

Pressió sonora p (en Pa)	$\log(p/p_0)$ log (Pressió sonora / llindar inferior audició)	Valor	Lp Escala decibèlica (x20)
$2 \cdot 10^{-5}$ Pa llindar inferior	$\log(2 \cdot 10^{-5} / 2 \cdot 10^{-5}) = \log 1$	0	0 dB
$2 \cdot 10^{-4}$ Pa	$\log(2 \cdot 10^{-4} / 2 \cdot 10^{-5}) = \log 10$	1	20 dB
$2 \cdot 10^{-3}$ Pa	$\log(2 \cdot 10^{-3} / 2 \cdot 10^{-5}) = \log 100$	2	40 dB
$2 \cdot 10^{-2}$ Pa	$\log(2 \cdot 10^{-2} / 2 \cdot 10^{-5}) = \log 1000$	3	60 dB
$2 \cdot 10^{-1}$ Pa	$\log(2 \cdot 10^{-1} / 2 \cdot 10^{-5}) = \log 10.000$	4	80 dB
$2 \cdot 10^0$ Pa	$\log(2 \cdot 10^0 / 2 \cdot 10^{-5}) = \log 100.000$	5	100 dB
$2 \cdot 10^1$ Pa llindar superior	$\log(2 \cdot 10^1 / 2 \cdot 10^{-5}) = \log 1.000.000$	6	120 dB

Per qualsevol valor de pressió sonora p, conegut el llindar inferior de pressió p_0 (de $2 \cdot 10^{-5}$ Pa) es pot determinar el **nivell de pressió sonora** a l'escala decibèlica a través de l'expressió:

$$L_p = 20 \cdot \log(p/p_0) \text{ (en dB)}$$

on

L_p = nivell (L de l'anglès "level") de pressió sonora en l'escala decibèlica

p = valor de la pressió sonora en Pa (ó N/m²)

p_0 = pressió sonora de referència = $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

La relació entre intensitat sonora I, pressió sonora P i nivell de pressió sonora L_p es pot veure a la següent expressió:

$$L_p = 10 \times 2 \log\left(\frac{P}{P_0}\right) = 10 \log\left(\frac{P}{P_0}\right)^2 = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

A la següent taula es reproduïxen els valors de pressió sonora i els nivells de pressió sonora d'algunes activitats:

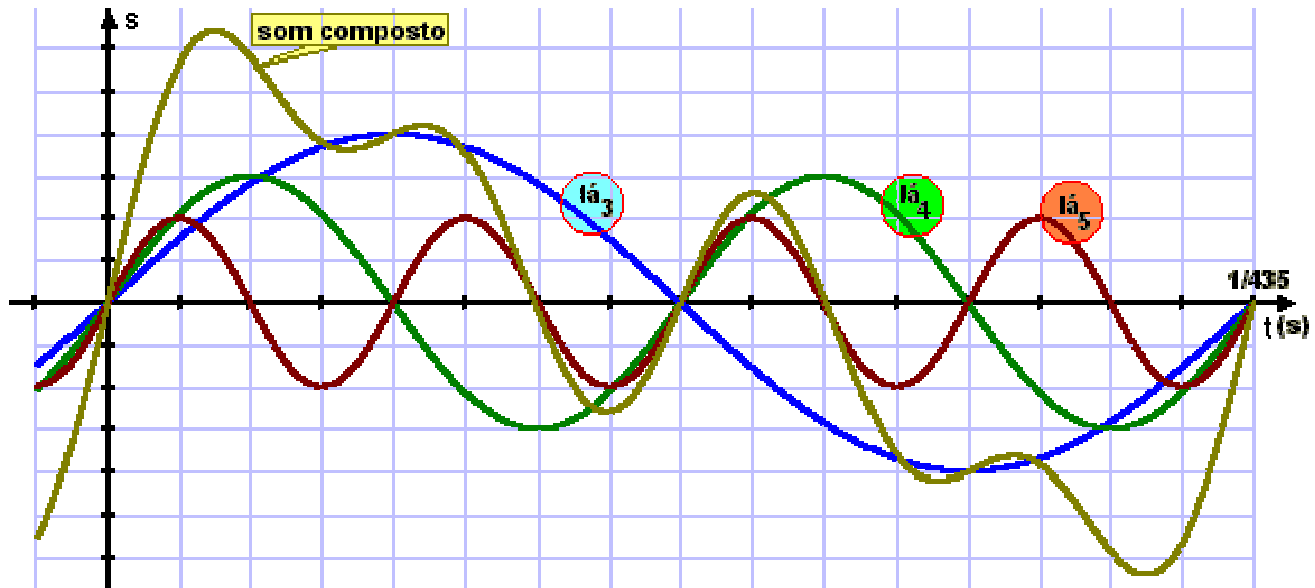
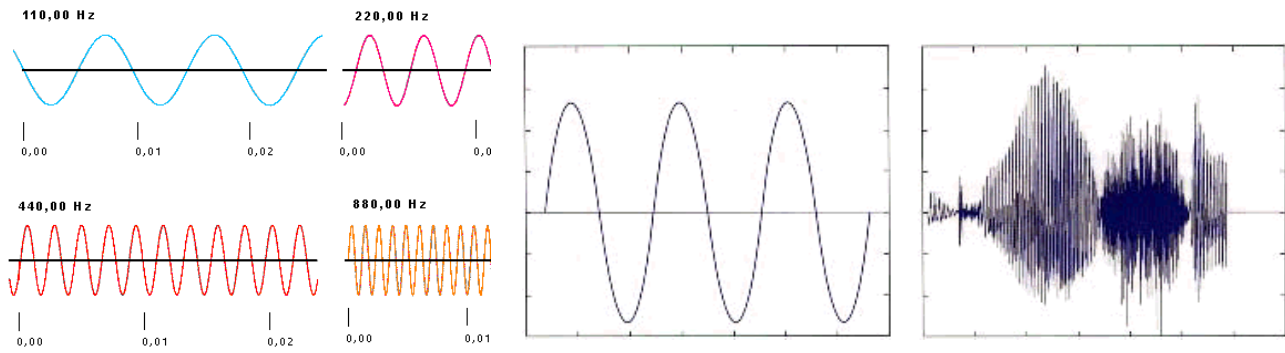
Activitats	Pressió sonora (Pa)	Nivell de pressió sonora, L_p (dB)
Enlairament d'un avió (a 25 m)	200	140

Llindar inferior del dolor	20	120
Gran rotativa	2	100
Carrer molt sorollós	0,20	80
Veü normal a 1 m.	0,02	60
Microordinador de sobretaula	0,002	40
Estudi d'enregistrament de so	0,0002	20
Llindar d'audició	0,00002	0

- Freqüència i timbre del so

A més del nivell de pressió sonora, en l'estudi físic dels sons es consideren altres característiques com són **la freqüència i el timbre** dels sons.

EL SOROLL

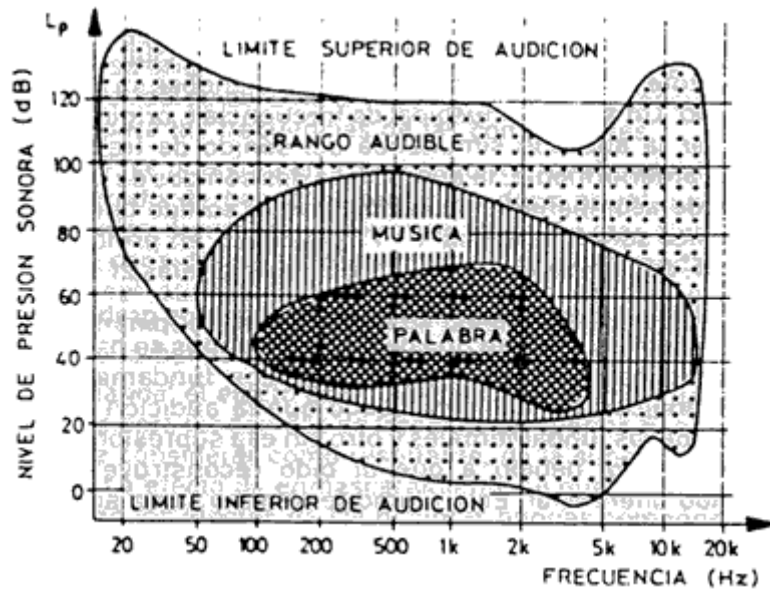


De fet la majoria de sons i sorolls són una combinació de sons de diferents freqüències. Inclús els sons d'instruments musicals són combinacions de sons o sons compostos de freqüències diferents que els són característics. Només certs instruments com ara el diapasó emeten sons purs d'una freqüència determinada. Els diapasons musicals usats per afinar instruments emeten sons d'una freqüència de 440 cicles/segon (440 Hz) que es correspon amb la nota musical la . Això vol dir que aquest diapasó vibra amb 440 oscil·lacions per segon després d'impactar amb un objecte dur. Normalment aquestes oscil·lacions no són visibles, atesa la seva velocitat.

Les cordes d'instruments greus com ara el contrabaix vibren amb una menor freqüència de forma que pot arribar a ser visible la seva vibració, ja que el nombre d'oscil·lacions per segon és més reduït. Els sons amb freqüències baixes menors a 250 Hz es consideren sons greus. Els sons de freqüències superiors a 1000 Hz es consideren sons aguts.

L'espectre d'audició de l'oïda humana compren l'interval dels 20 Hz als 20.000 Hz (20 kHz). L'audició és possible si es donen determinats nivells de pressió sonora. Cada espècie animal té un espectre d'audició característic.

EL SOROLL



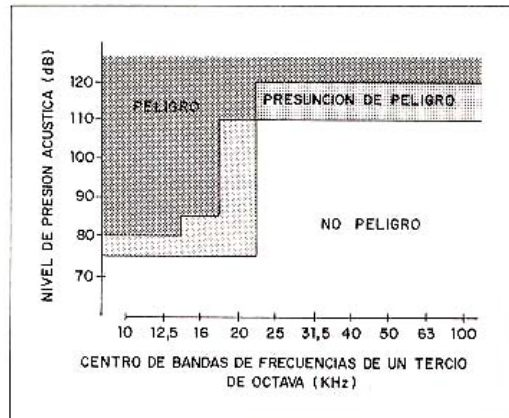
	AUDIBLE PER L'HOME	ULTRASONS
HOME	0,05 - 20	
RAT-PENAT	0,1 - 10	10 - 100
MOSQUITIS	0,2 - 5	5 - 100
PAPALLONES	0,5 - 2	2 - 100
MOSQUES	1 - 1	1 - 100
ESCARABATS	2 - 1	1 - 100
GRILLS	5 - 1	1 - 100
GOSSOS	10 - 1	1 - 100
LLAGOSTA	20 - 1	1 - 100
ROSEGADORS	50 - 1	1 - 100
DOFINS	100 - 1	1 - 100
TALPS	1000 - 1	1 - 100
ALTRES	2000 - 1	1 - 100
EN KHZ	0,05 0,1 0,2 0,5 1 2 5 10 20 50 100 200	

Aquest interval es pot dividir en 10 intervals o bandes consecutives de freqüències (ó bandes d'octava). Cada banda o interval ve representada per un número que és el valor central de freqüència de la banda (els valors centrals per les 10 bandes d'octava són 31'5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000 Hz). Fixar-se que el valor central de cada banda d'octava té un valor que és aproximadament el doble del valor central de l'octava inferior.

A més de la freqüència, els instruments musicals i els sons presenten un timbre. El timbre és una combinació de freqüències de sons simultanis o harmònics d'un instrument determinat o so: el timbre d'un violí per exemple és ben diferent que el d'una trompeta ja que la combinació de les intensitats de les diferents bandes d'octava és diferent en cada cas. El timbre d'un instrument quan reproduïx una nota musical determinada resulta d'una combinació de freqüències d'aquesta mateixa nota en diferents bandes d'octava que presenten diferents intensitats.

Determinades freqüències presenten un cert perill en funció de les intensitats dels sons o sorolls. A banda i banda de les freqüències audibles es troben els ultrasons i els infrasons. El següent quadre apareixen les freqüències que donen determinats aparells o activitats en kHz.

EL SOROLL



APLICACION	FRECUENCIA (KHz)	RANGO INTENSIDAD (W/cm ²)
SEÑALES SUBMARINAS DE BAJA FRECUENCIA	16 - 20	-
REACCIONES EN AEROSOL Y AGITACION	16 - 20	-
APARATOS DE CONTROL ULTRASONORO, APERTURA DE PUERTAS.	25	-
SOLDADURA	16 - 20	3 - 32
LIMPIEZA INDUSTRIAL Y DESENGRASE	20 - 25	< 6
SOLDADURA DE PLASTICOS	20	1.000
SOLDADURA DE METALES	10 - 80	10.000
MECANIZACION	20	variable
EXTRACCION	10	500
ATOMIZACION	20 - 300	variable
MEDIDA DE ESPESORES	300	-
TRABAJOS BIOLOGICOS EXPERIMENTALES	750	-

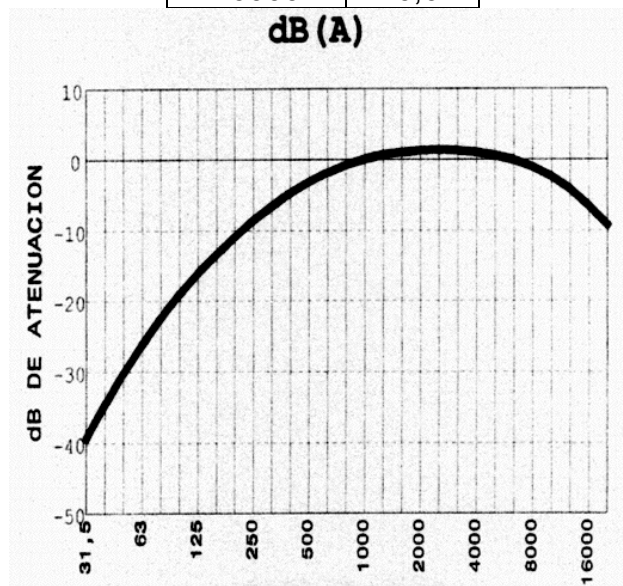
Font: NTP 205: Ultrasonidos: exposición laboral. Fig.: Límits d'exposició per contacte proposats per Nyborg l'any 1978 (NT 205)

- Filtre d'atenuació A

Hem vist que el sistema auditiu humà és capaç de captar sons amb freqüències que van de 20 a 20.000 oscil·lacions per segon (ó cicles/s=Hertz, Hz). Cal dir però que l'oïda humana percep millor les freqüències altes (de sons aguts i mitjans) que les baixes (de sons greus). Per donar resposta a aquesta forma de comportar-se de l'oïda, experimentalment s'ha construït una corba o filtre d'atenuació (també anomenat filtre A) de les freqüències en funció de la capacitat de l'oïda per captar-les. Els sons de freqüències greus i també les molt agudes no són ben percebudes per l'oïda humana. Així per exemple, en la banda d'octava de 31,5 Hz se li assigna una atenuació en el filtre A de -39,4 dB (es redueix el nivell de pressió sonora en aquest valor). En canvi la banda de 1000 Hz no presenta cap mena d'atenuació. També es dona el cas que hi ha freqüències que l'oïda humana capta ampliant-les, és a dir, es capten millor que el propi so de forma que en aquest cas s'ha d'incrementar el seu valor físic. Això succeeix en el cas de la banda dels 2000 Hz.

EL SOROLL

Freqüència (Hz)	Atenuació A (dB)
0	-70
16	-57
31,5	-39,4
63	-26,2
125	-16,1
250	-8,6
500	-3,2
1000	0
2000	1,2
4000	1
8000	-1,1
16000	-6,6



Els aparells que s'utilitzen per determinar el nivell de pressió sonora (els sonòmetres) filtren els sons atenent a aquesta capacitat de percepció del so per part de l'home de forma que capten el soroll d'una forma semblant a la forma com ho fa l'oïda humana.

Els paràmetres de mesura de soroll que utilitzen el filtre A s'expressen en unitats dBA ó dB(A). És millor indicar-ho en el paràmetre L seguint les normes ISO i de la UE (p.e. L_{pA} **que vol dir nivell de pressió sonora amb filtre d'atenuació A** ó de ponderació A).

- Nivell sonor equivalent

En la mesura dels sorolls un paràmetre de mesurament força utilitzat és el **nivell sonor equivalent** ($L_{A\ eq,T}$). S'utilitza per mesurar una mitjana del nivell de soroll quan la intensitat (pressió sonora) és variable en el temps, fet habitual en el tràfic urbà posem pel cas o en els sorolls d'activitats industrials. Els subíndexs indiquen que aquest nivell de soroll és equivalent a un soroll continu que s'emet en un temps T i que s'utilitza la corba de ponderació A. Seria semblant a una mitjana (de fet és una integració de valors de pressió sonors) dels valors puntuals que es van produint al llarg d'aquest temps. Així per exemple $L_{Aeq,1h} = 65$ dB és el nivell de soroll equivalent (65 dBA) calculat a partir de sorolls de diversa intensitat i durada al llarg d'una hora en un lloc determinat.

El $L_{Aeq,T}$ es pot calcular a partir de diferents expressions matemàtiques, una de les més senzilles és la següent:

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

on X_i és la part del temps (en tant per u) en la que es produeix un nivell de pressió sonora L_i a cada interval de temps i .

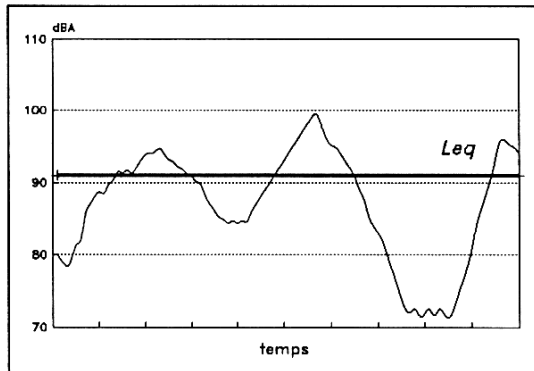


fig. 2.7.- Evolució temporal d'un soroll i valor corresponent de L_{eq} pel període T de mesura

Procediments de càlcul

De vegades convé sumar o restar nivells de soroll per diferenciar per exemple el nivell de fons d'una font sonora, per sumar els nivells produïts per dues fonts sonores, etc. Com que les mesures són logarítmiques no es poden sumar aritmèticament sinó que cal aplicar la següent expressió:

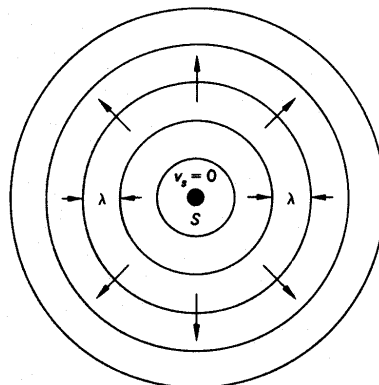
$$L_x = 10 \cdot \log \left(\sum 10^{L_i/10} \right)$$

L_x fa referència a qualsevol dels paràmetres de mesura de nivell de soroll (L_p , L_{aeq} , etc) L_i als valors a sumar o restar. Quan restem utilitzarem el signe menys en comptes de sumar en l'expressió del sumatori.

També es poden extrapolar les sumes i restes a partir d'uns gràfics que donen els resultats seguint un procediment estipulat.

3. Tipus de fonts de soroll

Les fonts de soroll es classifiquen en puntuals, lineals i superficials. Les fonts puntuals emeten una energia sonora que es propaga amb ones esfèriques i aquesta energia s'atenua proporcionalment amb la distància.



Si es disposa d'un sonòmetre amb el qual es coneix el nivell de pressió sonora en el punt 1 (L_{p1}), el nivell de pressió sonora en el punt 2 (L_{p2}) es pot deduir a través de:

$$L_{p2} = L_{p1} - 20 \cdot \log(r_2/r_1)$$

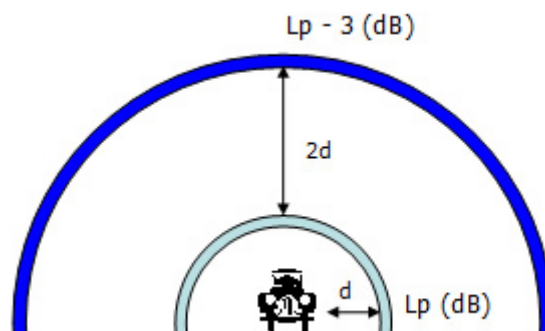
on

r_2 = distància a la que es vol saber L_{p2}

r_1 = distància a la que es mesura L_{p1}

cada vegada que es dobla la distància entre el receptor i la font puntual, l'atenuació de la pressió sonora disminueix en 6 dB(A) ja que $20 \cdot \log 2 = 6$ dB(A)

Les fonts lineals emeten ones sonores en forma de mig cilindre (com és el cas d'una autopista per exemple).



L'atenuació sonora al doblar la distància és en aquest cas menor, de 3 dB(A) en comptes de 6 dB(A) com passava amb les fonts puntuals de soroll. Ara bé si hi ha elements que produeixen interferències, fet que és habitual, com ara el terra absorbent, vegetació o per la presència d'altres elements, aleshores l'atenuació, en doblar la distància, és major, de l'ordre de 4,2 dB(A). En els casos de fonts lineals, si es disposa d'un sonòmetre es pot calcular el nivell de pressió sonora en qualsevol altre punt a partir de l'expressió:

$$L_{p2} = L_{p1} - 14 \cdot \log(r_2/r_1)$$

on

r_2 = distància a la que es vol saber L_{p2}

r_1 = distància a la que es mesura L_{p1}

Les fonts superficials emeten ones que es transformen primer en ones semblants a les de les fonts lineals i a més distància en ones esfèriques típiques de fonts puntuals. El càlcul dels nivells de pressió sonora a distàncies grans es realitza d'igual manera que s'ha plantejat per les fonts puntuals.

4. Sonòmetres

Són aparells que s'utilitzen per mesurar els nivells de soroll i així determinar si es superen els límits de nivells sonors que estan establerts a les normatives de soroll ambiental.

Un sonòmetre està format bàsicament per un micròfon, un preamplificador, un amplificador i un dispositiu de lectura analògic o digital. Els micròfons poden ser d'incidència frontal (que s'orienten directament a la font) o d'incidència aleatòria (que s'orienten amb un angle de 90° respecte a la font). Aquest darrer és més recomanable per recintes tancats encara que no es cometen grans errors amb els d'incidència frontal.

Els sonòmetres presenten dos tipus bàsics de processament de les dades de soroll que arriben des del micròfon amb un temps d'integració de les dades ràpida (fast, de 125 ms) o lent (slow, d'1 s). Alguns sonòmetres presenten també possibilitat de valors de soroll mesurar màxims (els anomenats pics).

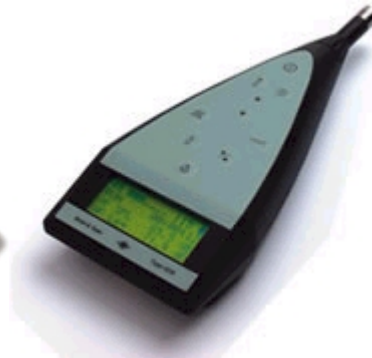
Un sonòmetre bàsic presenta com a mínim el filtre A, el temps d'integració fast o slow, un interval de mesura de 25 o 30 dBA fins als 120 o 140 dBA. Alguns presenten una retenció de lectura de nivell màxim. Altres sonòmetres més sofisticats anomenats sonòmetres integradors presenten mesura del nivell equivalent $L_{Aeq,T}$ i altres presenten també la L_{AE} (nivell sonor equivalent relatiu a 1 segon). Els sonòmetres anomenats estadístics mesuren $L_{A,10}$, $L_{A,50}$, $L_{A,90}$, $L_{A,99}$, etc fins i tot qualsevol fracció de temps comprès entre 0,1 i 99,9%. Disposen sovint de memòria bolcable a un ordinador o a impressora.

En funció de la seva qualitat els sonòmetres es classifiquen en quatre tipus de la 0 a la 3 (segons la **norma CEI 651** de la Comissió Electrotècnica Internacional). Els de tipus 1 i 2 són els recomanats per l'avaluació de sorolls ambiental. Els de nivell 3 no són recomanables. La tendència a l'actualitat és la connectivitat dels sonòmetres a equips informàtics que tenen una alta capacitat d'anàlisi de dades i una gran capacitat de memòria. Altres sonòmetres presenten filtres de banda d'octava o de terç d'octava que permeten la lectura del nivell sonor a cada banda. Poden representar mitjançant un histograma la variació dels nivells en cada banda de freqüències en temps real.

Per tenir una certesa de garantia de qualitat de les mesures s'utilitzen calibradors per tal d'ajustar els sonòmetres. Es tracta d'una font se so estable d'una freqüència determinada (sovint de 1000 Hz) que permet ajustar el sonòmetre al nivell patró que genera el calibrador amb un nivell de precisió en general de +/-0,2 a +/-0,3 dB.



Calibrador



Diferents models de sonòmetre

5. Tècniques de mesurament de nivells sonors

El mesurament amb sonòmetre s'ha de fer tenint en compte:

- Els efectes induïts per l'observador: per això s'han de realitzar amb trípode o en el seu defecte amb el braç estès per evitar les reflexions degudes al cos
- Les ones estacionàries: en llocs tancats les reflexions a les parets produeixen ones estacionàries, és a dir punts de l'espai amb valors màxims i punts amb valors mínims. Per saber-ho es mesura el nivell movent lentament i verticalment de 50 a 80 cm el sonòmetre per veure les diferències de pressió sonora deguda a les ones estacionàries. Si les variacions són de menys de 6 dB, es pren com a resultat la mitjana dels dos valors màxim i mínim. Si la diferència és major a 6 dB es dóna com a resultat el valor màxim descomptant 3 dB.
- Les condicions meteorològiques: el vent produeix turbulències que augmenten el nivell de pressió sonora sobretot en les freqüències baixes. Per evitar aquest augment s'utilitzen en els sonòmetres pantalles antivent de natura porosa. Les temperatures molt altes $T > 50^{\circ}\text{C}$

modifiquen les lectures així com una humitat relativa superior al 90%. Caldrà evitar aquestes situacions.

Les activitats industrials, comercials i de serveis per tal d'obtenir la seva autorització ambiental han de realitzar un informe del soroll que genera l'activitat: Aquest informe presenta els següents aspectes:

- Una descripció de la ubicació dels focus i una breu descripció del procés que genera les emissions de sorolls i vibracions.
- La determinació dels nivells d'emissió en origen de cada focus
- Un projecte d'aïllaments i el càlcul del rendiment d'aquests aïllaments.
- Nivells estimats d'immissió a l'exterior o als locals confrontats i relació amb els valors guia fixats per la normativa d'aplicació.

Algunes activitats, sobretot aquelles contigües als habitatges, poden produir molèsties als veïns per sorolls i/o vibracions transmeses per estructura i per tant poden no obtenir l'autorització per iniciar l'activitat si no s'implanten les suficients mesures correctores.

Els nivells màxims admissibles en immissió estan fixats a les normatives com ara a les ordenances municipals. Aquestes regulen els nivells màxims segons les zones A (d'habitatges), B (zones mixtes ó d'habitatges amb petites activitats compatibles) i C (zones industrials no compatibles amb els habitatges).

Les ordenances diferencien entre el soroll diürn (8 a 22 h) i nocturn (22 a les 8 h). Els valors màxims d'immissió més habituals a les ordenances de municipis de Catalunya són els de la taula:

ZONES	NIVELL INTERIOR DIA	NIVELL INTERIOR NIT	NIVELL EXTERIOR DIA	NIVELL EXTERIOR NIT
A	35	25-30	50-55	40-45
B	35-40	25-35	55-60	45-50
C	35-40	30-35	60-65	50-55

A banda de les ordenances que regulen els valors màxims en immissió cal considerar els nivells màxims derivats del Real Decreto 286/2006 sobre la protecció de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

ACTIVITAT 1: CALCULEM NIVELLS SONORS**A aquesta activitat pretenem:**

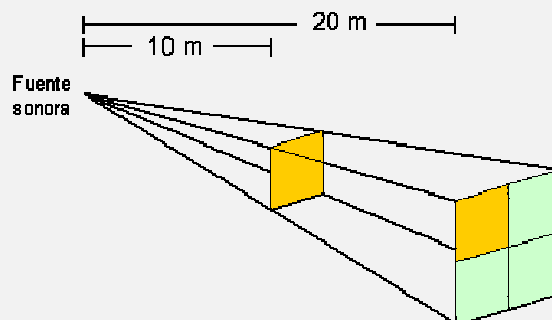
- Introduir-se en els conceptes de so, soroll, pressió sonora, nivell de pressió sonora i nivell sonor equivalent
- Realitzar diversos càlculs per aquests paràmetres.

Exercicis**- Sobre la intensitat del soroll****- Intensitat del soroll**

La intensitat del so (el seu volum) està relacionada amb la potència sonora de la font. Les ones sonores es transmeten en forma d'esferes que s'originen a la font i que estan separades en funció de la seva longitud d'ona del so (o la seva freqüència). L'energia es reparteix per igual a la superfície de cada esfera o front d'ona. La intensitat disminueix a mesura que augmenta el radi de l'ona mesurat des de la font. La intensitat es dedueix de l'expressió

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

on P és la potència sonora de la font en wats, el denominador és la superfície de l'esfera de l'ona considerada i I és la intensitat sonora per unitat de superfície (en W/m²) a aquesta ona.



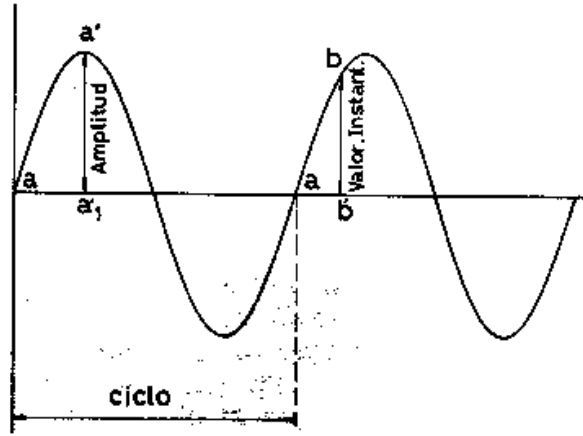
La intensitat disminueix amb el quadrat de la distància de forma que en doblar-se la distància la intensitat es redueix quatre vegades.

L'oïda humana pot percebre intensitats sonores molt baixes de l'ordre de 10⁻¹² w/m² (llindar inferior d'audició) fins a valors molt grans de l'ordre d'1 w/m² (llindar inferior de dolor) i també superiors. Superat el llindar inferior de dolor es poden donar patologies de sordesa temporal i permanent en funció del temps d'exposició. Existeix una relació entre el llindar inferior de dolor d'intensitat sonora respecte al mínim que és de l'ordre de magnitud 12, d'un bilió de vegades (10¹²).

1. Quina expressió relaciona la potència sonora amb la intensitat sonora? Quines unitats presenten aquests paràmetres?
2. Si una font sonora presenta una potència de 1 W, quina intensitat cal esperar a 2 m i a 4 m?
3. L'espectre d'audició de les intensitats sonores de l'home presenta un mínim per sota del qual no es percep el soroll. Quin és aquest valor?

- Sobre el concepte de pressió sonora

4. El gràfic representa una ona sonora en el que l'eix d'ordenades representa valors de pressió en hectopascals (hPa) i l'eix d'abscisses representi el temps en segons. El valor de l'origen de les ordenades és 1013 hPa (el valor de la pressió atmosfèrica).



- a) Si el màxim de la corba (a') representa una sobrepressió (per sobre de la pressió atmosfèrica) de 20 Pa, quins seran els valors de pressió màxim i mínim d'aquesta ona expressats en hPa?
- b) Representa aquests valors al gràfic.
- c) Quina pressió sobre l'oïda es dóna a la meitat del cicle?
- d) El valor de 20 Pa amb quin llinar s'ha d'associar?
- e) Quin és el valor del llinar inferior d'audició?

- Càlculs de nivells de pressió sonora Lp

5. La percepció del so no és directament proporcional al valor de la pressió sonora. Quin tipus de funció relaciona aquestes dues variables? Representa-ho gràficament.

6. Un paràmetre que presenta un comportament semblant al de l'oïda humana és el nivell de pressió sonora.

- a) Escriu la funció que relaciona la pressió sonora amb el nivell de pressió sonora.

Recordem la definició i algunes propietats dels logaritmes

$$\text{Log}_a N = X \Leftrightarrow a^X = N$$

p.e. $\text{Log}_{10} 1000 = 3 \Leftrightarrow 10^3 = 1000$

$$\text{Log} (a \cdot b) = \text{Log} a + \text{log} b$$

$$\text{Log} (a / b) = \text{Log} a - \text{Log} b$$

$$\text{Log} a^b = b \cdot \text{Log} a$$

$$\text{Log}_a 1 = 0$$

Igualtats:

Log $x = a \Leftrightarrow$ Antilog $a = x$
 p.e. Log 1000 = 3 \Leftrightarrow antilog 3 = 1000

(A algunes calculadores l'antilog és la funció inversa de Log)

- b) Quin valor del nivell de pressió sonora es correspon amb una sobrepressió de 1013,2 hPa? (atenció: abans de fer els càlculs cal restar el valor de la pressió atmosfèrica).
- c) Quin valor de pressió sonora es correspon amb un nivell de pressió sonora de 40 dB?
7. En doblar la pressió sonora quan augmenta el nivell de pressió sonora en dB?
8. Calcula el nivell de pressió sonora en dB d'una pressió sonora de $7 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2$
9. Quina intensitat sonora es correspon amb un nivell de pressió sonora de 90 dB?
10. Quina intensitat sonora es correspon amb una pressió sonora de -3 dB?
11. Quin és el nivell de pressió sonora d'un so que té una intensitat de $0,5 \text{ w/m}^2$?

- Calculant nivells sonors equivalents

- Nivell sonor equivalent

En la mesura dels sorolls un paràmetre de mesurament força utilitzat és el **nivell sonor equivalent** ($L_{A,eq,T}$). S'utilitza per mesurar una mitjana del nivell de soroll quan la intensitat (pressió sonora) és variable en el temps, fet habitual en el tràfic urbà posem pel cas o en els sorolls d'activitats industrials. Els subíndexs indiquen que aquest nivell de soroll és equivalent a un soroll continu que s'emet en un temps T i que s'utilitza la corba de ponderació A. Seria semblant a una mitjana (de fet és una integració de valors de pressió sonors) dels valors puntuals que es van produint al llarg d'aquest temps. Així per exemple $L_{Aeq,1h} = 65 \text{ dB}$ és el nivell de soroll equivalent (65 dBA) calculat a partir de sorolls de diversa intensitat i durada al llarg d'una hora en un lloc determinat.

El $L_{Aeq,T}$ es pot calcular a partir de diferents expressions matemàtiques, una de les més senzilles és la següent:

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

on X_i és la part del temps (en tant per u) en la que es produeix un nivell de pressió sonora L_i a cada interval de temps i .

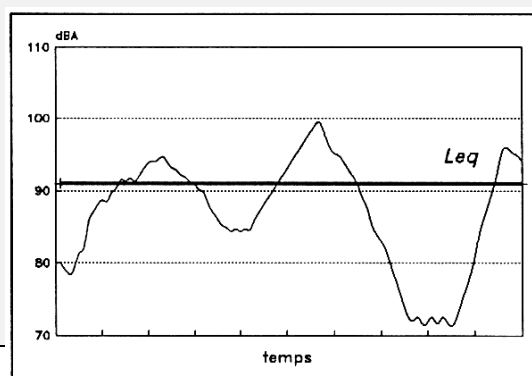


fig. 2.7.- Evolució temporal d'un soroll i valor corresponent de L_{eq} pel període T de mesura



12. Després de llegir el text precedent podries explicar perquè serveix el paràmetre nivell sonor equivalent?

13. Dir quin és el valor del nivell sonor equivalent de dos sons consecutius de 30 i 60 dB(A) sabent que el primer so dura 2 segons i el segon 4 segons. Escriu aquest paràmetre amb els subíndex adequats al donar el resultat.

- **Sumant nivells sonors**

14. Dos camions, que es troben un al costat de l'altra, produeixen uns nivells sonors continus de 40 i 50 dBA respectivament. Quin nivell sonor produiran quan funcionin simultàniament?

ACTIVITAT 2: VELOCITAT I FREQUÈNCIA DEL SO

A aquesta activitat pretenem:

- Treballar conceptes relacionats amb les característiques del so i del soroll: velocitat, freqüència i timbre.
- Descobrir que l'espectre d'audició de l'oïda humana compren determinades freqüències i que a més no sentim amb la mateixa intensitat determinades freqüències.

- Sobre la velocitat del so

1. Llegeix el següent text i contesta les preguntes que es fan a continuació:

Velocitats de propagació del so

Inicialment, un so s'origina per una aportació d'energia mecànica sobre un medi material que dóna lloc a vibracions mecàniques de la matèria. Així el cos que l'origina el so vibra amb una o varies freqüències provocant sobrepressions i depressions a les partícules materials de l'aire que estan a prop i que consecutivament fan vibrar altres partícules materials properes a aquestes fins arribar al receptor. És per això que en absència d'un medi material (en el buit), el so no es transmet.

La velocitat de propagació del so és diferent d'un medi material a un altra depenent de la compressibilitat de la matèria. Així per l'aire és de 344 m/s (1.224 Km/h) mentre que per l'aigua és força més elevada, de l'ordre de 1.493 m/s encara que en aquest medi el valor de la velocitat depèn també de factors com la temperatura o la salinitat de l'aigua.

Es parla de velocitat supersònica quan la velocitat de l'objecte que emet el so supera la velocitat del so de 1,2 a 5 vegades. Determinats avions es diu que són supersònics i poden arribar a superar aquest valor. Si es supera es diu que l'avió té un valor Mach 1 de velocitat.

Per calcular el nombre Mach cal dividir la velocitat de l'objecte que es mou per la velocitat de l'aire (en general en torn als 340 m/s). Això fa que el valor de Mach no tingui una equivalència fixa en velocitat ja que la velocitat del so a l'aire depèn de la temperatura del mateix.

En obtenir el valor de Mach 1 es produeix una ona de xoc o explosió sònica que es produeix quan la velocitat de l'objecte pot avançar les ones de so que genera. Aquestes explosions poden tenir nivells sonors molt elevats, de l'ordre de 200 dB.



Velocitats segons el nombre de Mach

Velocitat subsònica $M < 0,7$

Velocitat transònica $0,7 < M < 1,2$

Velocitat supersònica $1,2 < M < 5$

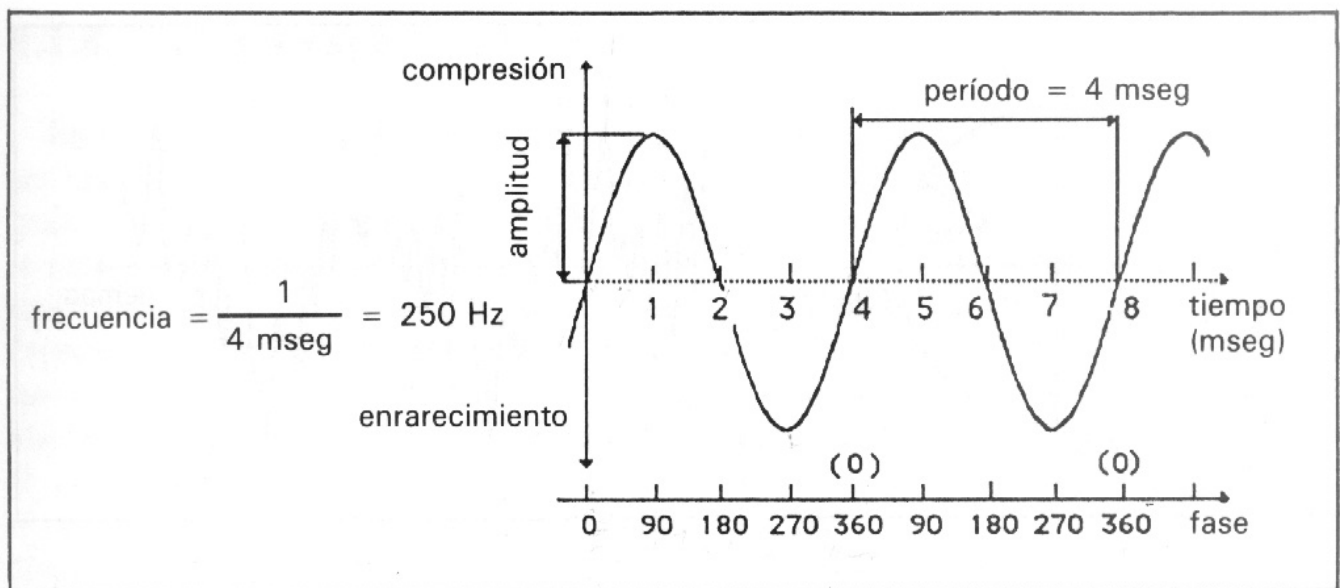
Velocitat hipersònica $M > 5$

- A quina velocitat va un avió que presenta una velocitat Mach 1,2
- Quan trigaria aproximadament d'arribar una ona sonora prou intensa produïda al fons marí de Barcelona a Menorca si la distància és de 241 Km.?
- Quina velocitat Mach té un avió que va a 1350 Km/h?

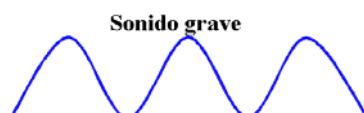
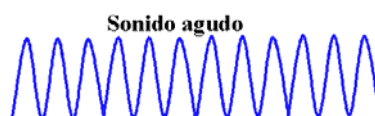
- Treballant els conceptes de freqüència i timbre del so

2. Observa el gràfic següent.

- Si el primer cicle dura 125 ms (milisegons) quina seria la freqüència d'aquest so en cicles/s i en Hz? (1 Hz = 1 cicle/segon)
- Podem dir que es tracta d'un so agut o greu? És audible per l'home? Perquè?

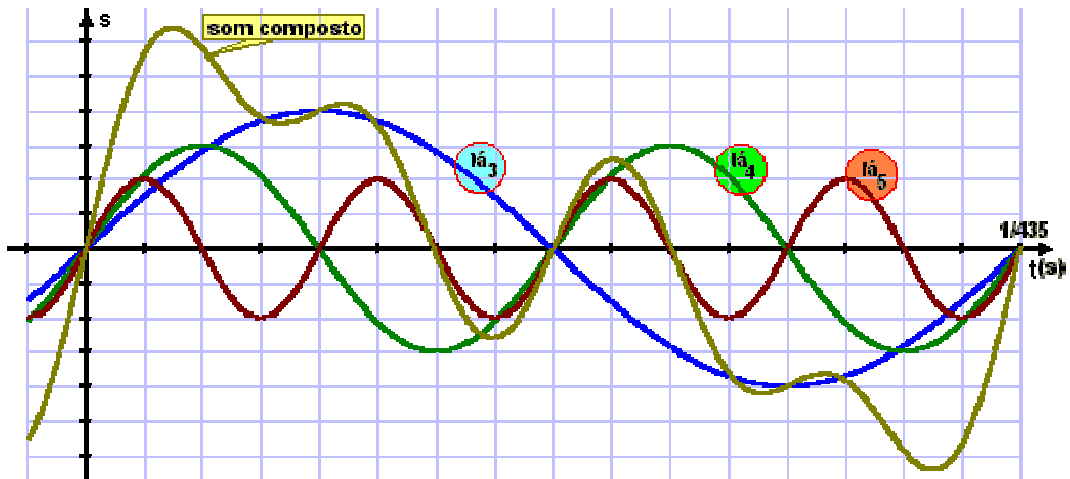


3. L'oïda humana quin interval de freqüències pot percebre?. Quins intervals de valors de freqüència s'ha d'associar als sons greus i als sons aguts?



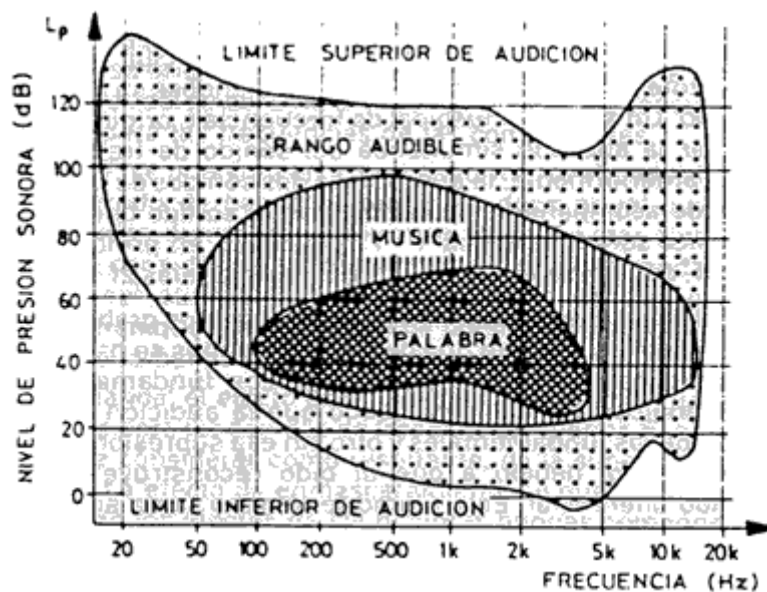
4. L'espectre d'audició de l'oïda humana està dividida en bandes d'octava. Com està organitzat aquest espectre de freqüències?

16. Al gràfic següent es té la representació d'una oscil·lació completa (d'1 cicle) de la ona sonora de la nota La (La₃ al gràfic) d'un instrument musical. En el gràfic es representa el primer cicle dels 435 cicles que es produeixen en 1 segon (F=435 Hz). També es troben representats els seus harmònics (La 4 i La 5). Quines freqüències presenten aquests harmònics?

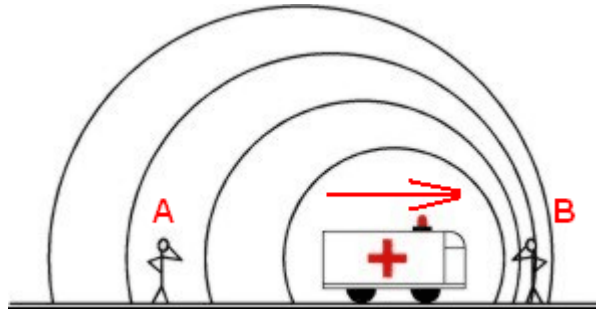


5. Observa el següent gràfic i digues si són audibles per l'home els següents sons:

- a) de 500 kHz i 60 dB
- b) de 45 Hz i 30 dB
- c) 5.000 Hz i 100 dB

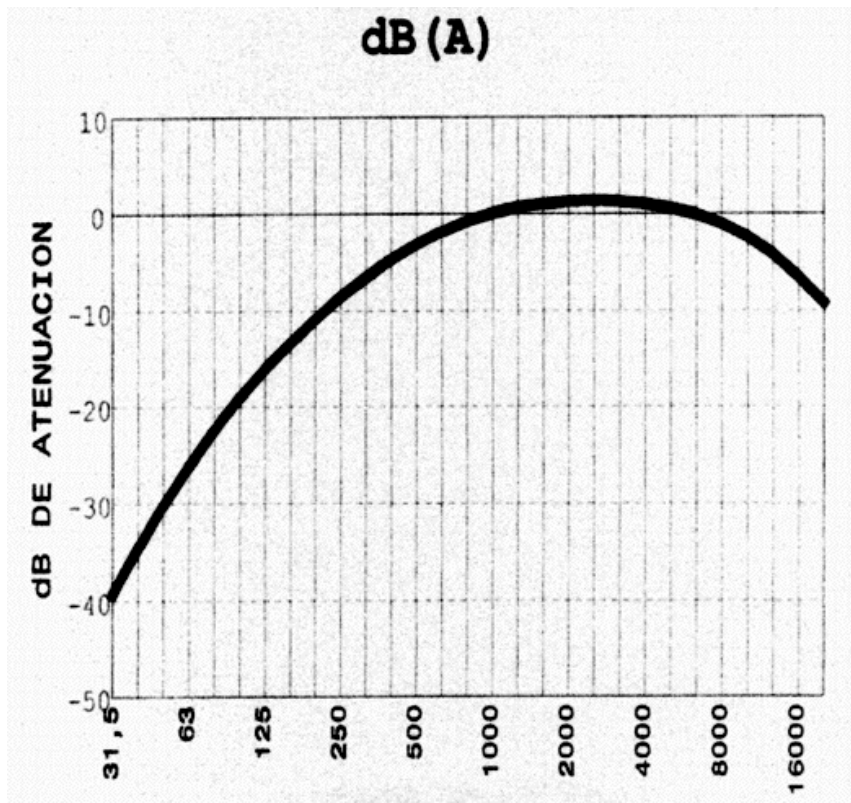


6. Fixa't en el dibuix. Com creus que sentiran el so de l'ambulància els observadors A i B?. Saps com s'anomena aquest efecte?



- Què és el filtre d'atenuació A?

7. Es conegut el fet que l'home no percep d'igual manera totes les freqüències ja que per exemple les freqüències greus se senten pitjor que les mitjanes i les agudes. Aquest fet fa que s'atenuïn els nivells sonors de determinades freqüències en els sonòmetres. Observa el gràfic i digues quins són els valors d'atenuació de les següents freqüències: 63 Hz, 1000 Hz i 16.000 Hz.



8. Quina unitat s'utilitza per donar un nivell de pressió sonora quan el sonòmetre utilitza la corba de ponderació A?

ACTIVITAT 3: Mesurem el soroll amb un sonòmetre

Després de saber que és el so i el soroll i els principals paràmetres per a la seva caracterització ens proposem mesurar el soroll utilitzant un sonòmetre. Per aquesta activitat ses proposa utilitzar el model CESVA SC-15 però aquestes indicacions serien adaptables a altres models i marques de característiques semblants.

A aquesta activitat pretenem:

- Conèixer les prestacions del sonòmetre CESVA SC-15
- Posar en marxa el sonòmetre i explorar les possibilitats del mateix
- Representar les dades obtingudes sobre un plànol (de carrer, interior d'un edifici,..)
- Fer alguns càlculs de nivells sonors a partir de mesures realitzades amb el sonòmetre.

MATERIAL

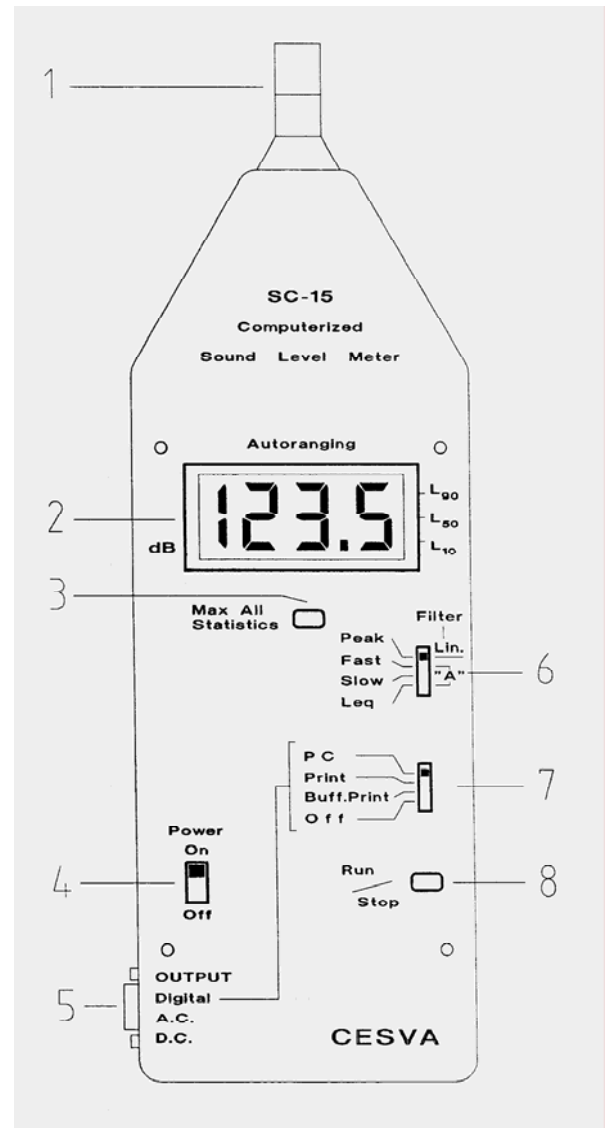
El sonòmetre CESVA model SC-15 és un sonòmetre de tipus 2 que és utilitzat per mesurar el nivell sonor ambiental d'interiors i exteriors.

Presenta les següents característiques:

- Mode d'operació: amb corba d'atenuació A
- Paràmetres de mesura: slow (A), fast (A), peak (lineal) i Nivell sonor equivalent Leq (A)
- Paràmetres estadístics: L10, L50, L90, temps de mesura (en minuts)
- Sortides d'informació: per pantalla (display), PC, impressora i buffer impressora
- Interruptor i parada de lectura
- Interface per connexió a ordinador, impressora i a magnetòfon.
- Micròfon unidireccional
- Pantalla de cristall líquid
- Funció autostart (autoinici automàtic en canviar les funcions)

En el gràfic es representen les diferents parts del sonòmetre:

1. Micròfon (d'incidència frontal)
2. Pantalla o display
3. Botó per visualitzar el valor màxim. Si es prem juntament amb el botó 8 (de Run/Stop) permet visualitzar el temps de mesura (en minuts) i els nivells estadístics L10, L50 i L90.
4. Interruptor
5. Sortida per connectar cable per bolcar dades a l'ordinador o a impressora.
6. Selector de la funció de mesura: Peak (valor màxim), Fast (Nivell sonor L_p que apareix a la pantalla cada segon amb temps d'integració de dades ràpid de 125 ms i corba de ponderació



A), Slow (el mateix per temps d'integració de dades a 1 segon) i Leq (nivell sonor equivalent en el temps que duri la mesura amb corba de ponderació A).

7. Selector de sortides (a PC, impressora, a memòria d'impressora o bé cap)
8. Interruptor que permet aturar la mesura i reiniciar una nova mesura.

MODE D'OPERACIÓ PER A LA MESURA DEL SOROLL

Paràmetre: Nivell sonor equivalent de temps variable (per exemple 10 minuts)

1. Col·locar el sonòmetre en el seu trípode en el punt de mesura
2. Posar la pantalla antivent
3. Posar el selector no. 7 a la posició Off
4. Seleccionar l'opció Leq (núm. 6)
5. Posar en marxa el sonòmetre amb l'interruptor Power On (4)
6. Immediatament posar en marxa el cronòmetre o fixar l'hora d'inici amb un rellotge (considerant minuts i segons)
7. Mesurar Leq durant 10 minuts (*)
8. Finalitzat el temps aturar la mesura prement una vegada la tecla run/stop
9. El valor que figura intermitent és el Leq 10 minuts. Prendre'n nota a la fitxa
10. Prémer la tecla Max All/Statistics i sense deixar-la anar, prémer la tecla run/stop (mantenint premuda la primera tecla tota l'estona). Apareixen successivament 4 números:
 - el primer és el temps de mesura en minuts
 - el segon el L90 (nivell soroll de fons)
 - el tercer el L50 (nivell sonor mitjà)
 - i el quart el L10 (nivell sonor dels valors màxims). Després d'aquest número torna a sortir de forma intermitent el valor de Leq 10 minuts (**)
11. Prendre'n nota dels quatre números a la fitxa
12. Canviar el selector a la posició Peak
13. Prendre nota del valor a la fitxa
14. Canviar el selector a la posició Fast. Prendre nota del valor a la fitxa
15. Prémer la tecla Max All. Prendre nota del valor a la fitxa.

(*) Mentre es fan les mesures s'evitarà estar parlant a prop del sonòmetre ni posar-se a una distància inferior a 1 metre per evitar les reflexions sonores. S'evitarà la presència de terceres persones en el lloc de mesura. Si es produeixen interferències d'importància caldria reiniciar els mesuraments.

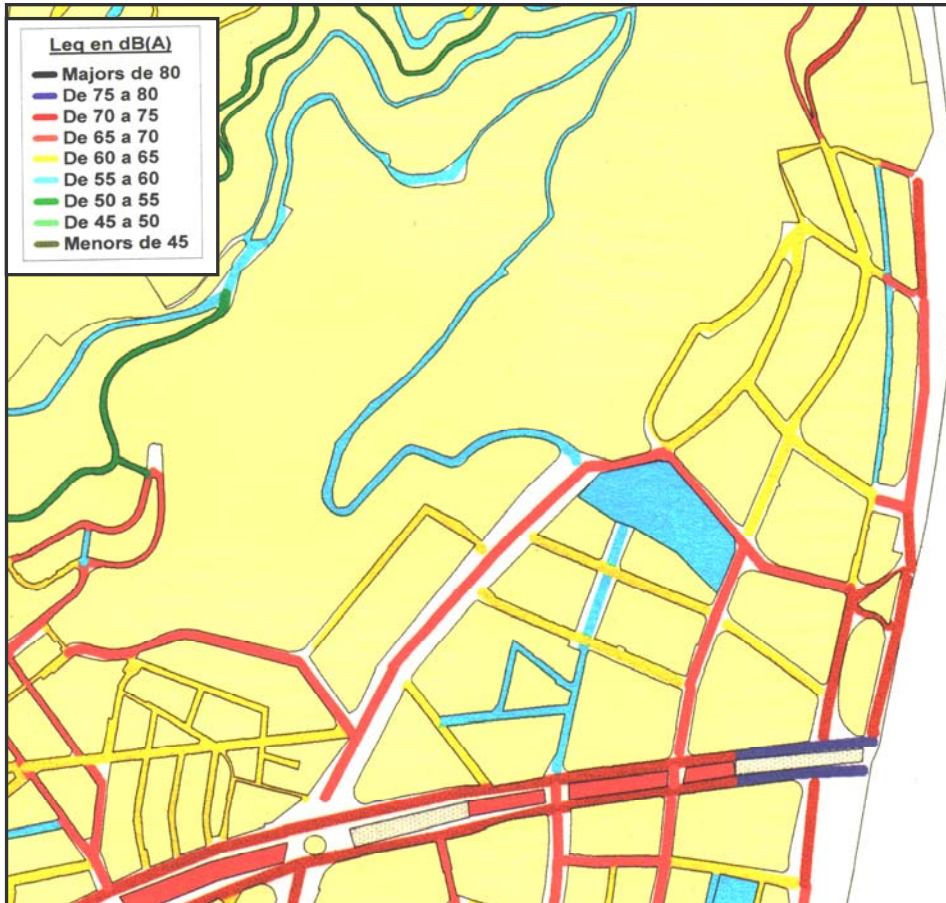
(**) Mentre no es torni a prémer la tecla run/stop (només) les dades queden emmagatzemades de forma que es poden tornar a obtenir les darreres dades mantenint premuda la tecla MAX All Statistics i prement després la tecla Run/Stop.

- FULL DE REGISTRE DE DADES

Núm. ref	Adreça (carrer, núm) / intersecció amb carrer Observacions (descripció qualitativa de les fonts del soroll que es detectin)	Leq 10 m	L90	L50	L10	peak	fast	fast max	Núm. . veh pesants	Núm. veh lleuger

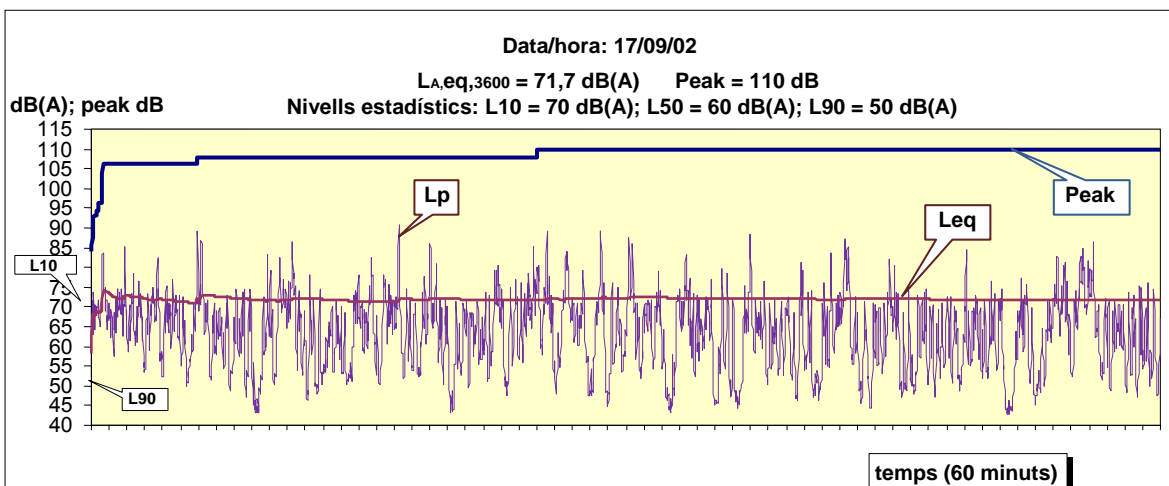
Representació dels resultats:

Es pot triar una llegenda de colors com la que es representa al gràfic per representar els valors de nivell sonor equivalent obtinguts i registrats a la fitxa.



2. Observa el següent gràfic. Es tracta d'una representació de diferents paràmetres de soroll del trànsit.

- a) Quin és el valor màxim obtingut? (valor peak)
- c) Quan temps s'ha mesurat el soroll?
- b) Quin és el nivell sonor equivalent al final del temps de mesura?



- Tipus de fonts de soroll

3. Digues quins són els tres tipus de fonts sonores i els tipus d'ones sonores que produeixen.
4. Com es pot deduir matemàticament el nivell de pressió sonora a una determinada distància d'una font puntual a partir d'un valor conegut en un altre punt?
5. Si el nivell sonor equivalent per un cert temps del trànsit d'una carretera és de 56 dB a 10 metres, quin serà aquest nivell a 100 m?
6. A quina distància mínima ha de trobar-se un edifici d'una autopista que emet un nivell de pressió sonora de 75 dB a 10 m. si volem que el nivell sonor exterior del mateix no superi els 45 dB?
7. Destaca tres precaucions que cal seguir quan es mesuren nivells sonors amb un sonòmetre?

GUIA DEL PROFESSOR

1. Currículum

El decret 142/2008, de 15 de juliol, pel qual s'estableix l'ordenació dels ensenyaments del Batxillerat preveu que el tema del so està vinculat a determinats continguts de la **matèria de modalitat de Física** del Batxillerat de ciències i tecnologia (veure quadre).

Les ones i el so

Estructura

L'apartat les ones i el so presenta el model d'ones mecàniques, centrant-se en el so. Es caracteritza el moviment harmònic simple, MHS, dels objectes vibrants i posteriorment les ones sonores. S'estudien les propietats de les ones, amb una incidència especial en les ones estacionàries i la seva relació amb la música. També s'estudia l'escala d'escolta humana, els ultrasons i la contaminació acústica.

Continguts

- Caracterització de les ones sonores: model basat en la vibració d'un objecte i la transmissió de la pertorbació per l'aire fins a arribar a les nostres orelles. Reconeixement de la transferència d'energia sense transferència de matèria com a característica general de les ones. Utilització de models mecànics i simulacions per tal d'ajudar a la comprensió del model. Realització de càlculs sobre la velocitat de propagació d'una ona.
- Caracterització de les magnituds d'una ona periòdica: amplitud, període, velocitat de propagació, freqüència, longitud d'ona i fase. Interpretació de la doble periodicitat espai-temps.
- Reconeixement de l'efecte Doppler i les seves aplicacions.
- Caracterització del so: intensitat, to i timbre. Interpretació de gràfics de sons captats per mètodes informàtics o electrònics i determinació de les magnituds rellevants.
- Observació de la representació d'un so pur i d'un so complex. Construcció d'un so complex a partir de sons purs. Identificació de sons purs en sons complexos.
- Reconeixement de l'escala d'escolta humana. Aplicació dels ultrasons. Diferència entre so i soroll. Mesura del soroll. Contaminació acústica.

D'altra banda el tema es pot relacionar amb determinades competències generals del batxillerat i amb les competències específiques de la matèria comuna **Ciències per al món contemporani**. En relació a les competències generals les activitats d'aquest bloc permeten afavorir almenys les competències de recerca, de tractament de la informació, la competència digital i la competència de coneixement i interacció en el món. Pel que fa a les competències específiques d'aquesta matèria cal assenyalar la competència en indagació i la competència en la dimensió social i cívica de la ciència i la tecnologia com relacionades amb les activitats i continguts d'aquesta unitat.

En relació als objectius d'aquesta matèria comuna cal destacar com a objectius vinculats als continguts i activitats tractats a aquesta unitat els següents:

3. Plantejar-se preguntes sobre qüestions científiques i problemes d'actualitat socialment rellevants que tinguin incidència en la vida quotidiana, tot valorant de manera crítica la informació procedent de fonts diverses.

5 Reconèixer i avaluar la dimensió social de problemes i propostes científiques i tecnològiques en relació amb la salut, la biotecnologia, el medi ambient, els recursos naturals i les aplicacions de les tecnologies de la informació i la comunicació.

6. Argumentar i debatre sobre la relació entre el desenvolupament sostenible, els patrons de consum i el model energètic, identificant els conflictes associats a les diferents percepcions, estratègies i alternatives proposades per als problemes socioambientals a diferents escales.

Els continguts de la matèria Ciències per al món contemporani es presenten en cinc apartats: origen i evolució de l'Univers; ciència, salut i estils de vida; desenvolupament humà i desenvolupament sostenible; materials, objectes i tecnologies, i Informació i coneixement. D'entre aquests blocs l'apartat de desenvolupament humà i desenvolupament sostenible està vinculat amb els continguts generals d'aquest programa.

2. Orientacions en relació a les activitats

Activitat 1: Calculem nivells sonors

A aquesta activitat pretenem:

- Aprofundir en els conceptes de so, soroll, pressió sonora, nivell de pressió sonora i nivell sonor equivalent
- Realitzar diversos càlculs per aquests paràmetres.

Exercicis

- Sobre la intensitat del soroll

1. Quina expressió relaciona la potència sonora amb la intensitat sonora? Quines unitats presenten aquests paràmetres? R: $P = I \cdot 4\pi r^2$; Unitats potència en W; Intensitat en w/m^2

2. Si una font sonora presenta una potència de 1 W, quina intensitat cal esperar a 2 m i a 4 m? R: 0,0198 i 0,0024 W

3. L'espectre d'audició de les intensitats sonores de l'home presenta un mínim per sota del qual no es percep el soroll. Quin és aquest valor? R: $10^{-12} w/m^2$

- Sobre el concepte de pressió sonora

4. El gràfic representa una ona sonora en el que l'eix d'ordenades representa valors de pressió en hectopascals (hPa) i l'eix d'abscisses representi el temps en segons. El valor de l'origen de les ordenades és 1013 hPa (el valor de la pressió atmosfèrica).

a) Si el màxim de la corba (a') representa una sobrepressió (per sobre de la pressió atmosfèrica) de 20 Pa, quins seran els valors de pressió màxim i mínim d'aquesta ona expressats en hPa? R: 1.013,20 hPa i 1.012,80 hPa

b) Representa aquests valors al gràfic

- c) Quina pressió sobre l'oïda es dona a la meitat del cicle? R: 1013 hPa
- d) El valor de 20 Pa amb quin llindar s'ha d'associar? R: el llindar inferior del dolor, en el que el soroll comença a produir dolor, està en uns 20 Pa
- e) Quin és el valor del llindar inferior d'audició? R: el so de menor intensitat que és perceptible per l'oïda humana és de l'ordre de 0,00002 Pa ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa).

- Càlculs de nivells de pressió sonora L_p

5. La percepció del so no és directament proporcional al valor de la pressió sonora. Quin tipus de funció relaciona aquestes dues variables? Representa-ho gràficament.

R: Funció logarítmica;

6. Un paràmetre que presenta un comportament semblant al de l'oïda humana és el nivell de pressió sonora.

a. Escriu la funció que relaciona la pressió sonora amb el nivell de pressió sonora.

R: $L_p = 20 \cdot \log (p/p_0)$ (en dB) on L_p = nivell de pressió sonora en dB, p = valor de la pressió sonora en Pa (ó N/m^2) i p_0 = pressió sonora de referència = $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

b. Quin valor del nivell de pressió sonora es correspon amb una sobrepressió de 1013,2 hPa? (atenció: abans de fer els càlculs cal restar el valor de la pressió atmosfèrica). (R=80 dB)

c. Quin valor de pressió sonora es correspon amb un nivell de pressió sonora de 40 dB? (R=0,002 Pa)

7. En doblar la pressió sonora quan augmenta el nivell de pressió sonora en dB?

R: Al duplicar la pressió deguda al so s'aconsegueix un augment a l'escala decibèlica de 6 dB ja que:

Si $L_{p_1} = 20 \log [p / p_0]$ tenim que

$$L_{p_2} = 20 \log [2p / p_0] = 20 \log [2 \cdot p / p_0] = 20 \log [2] + 20 \log [p / p_0] = 6 + L_{p_1}$$

8. Calcula el nivell de pressió sonora en dB d'una pressió sonora de $7 \times 10^{-3} N/m^2$ (R: 50,9 dB)

9. Quina intensitat sonora es correspon amb un nivell de pressió sonora de 90 dB? (R: $10^{-3} w/m^2$)

10. Quina intensitat sonora es correspon amb una pressió sonora de -3 dB? (R: $5 \cdot 10^{-13} w/m^2$).

11. Quin és el nivell de pressió sonora d'un so que té una intensitat de $0,5 w/m^2$? (R: 117 dB)

- Calculant nivells sonors equivalents

12. Després de llegir el text precedent podries explicar perquè serveix el paràmetre nivell sonor equivalent?. R: Per mesurar una mitjana del nivell de soroll quan la intensitat (pressió sonora) és variable en el temps

13. Dir quin és el valor del nivell sonor equivalent de dos sons consecutius de 30 i 60 dB(A) sabent que el primer so dura 2 segons i el segon 4 segons. Escriu aquest paràmetre amb els subíndex adequats al donar el resultat. (R: 58,2 dBA)

- **Sumant nivells sonors**

14. Dos camions, que es troben un al costat de l'altra, produeixen uns nivells sonors continus de 40 i 50 dBA respectivament. Quin nivell sonor produiran quan funcionin simultàniament? (R: 50,4 dBA)

Activitat 2: Velocitat i freqüència del so

1. Llegeix el següent text i contesta les preguntes que es fan a continuació:

a. A quina velocitat va un avió que presenta una velocitat Mach 1,2

R: 408 m/s (1.469 km/h)

b. Quan trigaria aproximadament d'arribar una ona sonora prou intensa produïda al fons marí de Barcelona a Menorca si la distància és de 241 Km.? R: 2 minuts i 41 segons

c. Quina velocitat Mach té un avió que va a 1350 Km/h? R: 1,09 Mach

- **Treballant els conceptes de freqüència i timbre del so**

2. Observa el gràfic següent.

a. Si el primer cicle dura 125 ms (milisegons) quina seria la freqüència d'aquest so en cicles/s i en Hz? (1 Hz = 1 cicle/segon) R: 8 cicles/s = 8 Hz

b. Podem dir que es tracta d'un so agut o greu? És audible per l'home? Perquè?

R: és un so greu; No és audible per l'home ja que les freqüències audibles estan en el interval de 20 Hz a 20 kHz.

3. L'oïda humana quin interval de freqüències pot percebre?. Quins intervals de valors de freqüència s'ha d'associar als sons greus i als sons aguts?

R: interval de 20 Hz a 20 kHz; Els sons amb freqüències baixes menors a 250 Hz es consideren sons greus. Els sons de freqüències superiors a 1000 Hz es consideren sons aguts.

4. L'espectre d'audició de l'oïda humana està dividida en bandes d'octava. Com està organitzat aquest espectre de freqüències?

R: en 10 intervals o bandes d'octava. Cada banda o interval ve representada per un número que és el valor central de freqüència de la banda (els valors centrals per les 10 bandes d'octava són 31'5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 i 16000 Hz.

16. Al gràfic següent es té la representació d'una oscil·lació completa (d'1 cicle) de la ona sonora de la nota La (La₃ al gràfic) d'un instrument musical. En el gràfic es representa el primer cicle dels 435 cicles que es produeixen en 1 segon (F=435 Hz). També es troben representats els seus harmònics (La₄ i La₅). Quines freqüències presenten aquests harmònics?

R: Pel La₄ la f és 870 Hz; pel La₅ la f és 1.740 Hz.

5. Observa el següent gràfic i digues si són audibles per l'home els següents sons:

a) de 500 kHz i 60 dB. R: no audible (fora del gràfic)

b) de 45 Hz i 30 dB. R: no audible

c) 5.000 Hz i 100 dB. R: audible

6. Fixa't en el dibuix. Com creus que sentiran el so de l'ambulància els observadors A i B?. Saps com s'anomena aquest efecte?

R: B: més agut que A; Efecte Doppler.

- Què és el filtre d'atenuació A?

7. Es conegut el fet que l'home no percep d'igual manera totes les freqüències ja que per exemple les freqüències greus se senten pitjor que les mitjanes i les agudes. Aquest fet fa que s'atenuïn els nivells sonors de determinades freqüències en els sonòmetres. Observa el gràfic i digues quins són els valors d'atenuació de les següents freqüències: 63 Hz, 1000 Hz i 16.000 Hz.

R: 27 dB, 0 dB i 10 dB aproximadament

8. Quina unitat s'utilitza per donar un nivell de pressió sonora quan el sonòmetre utilitza la corba de ponderació A? R: dB(A) o dBA.

Activitat 3: Mesurem el soroll amb un sonòmetre

2. Observa el següent gràfic. Es tracta d'una representació de diferents paràmetres de soroll del trànsit.

a) Quin és el valor màxim obtingut? (valor peak) R: 110 dB

c) Quan temps s'ha mesurat el soroll? R: 60 minuts

b) Quin és el nivell sonor equivalent al final del temps de mesura? R: 71,7 dBA

- Tipus de fonts de soroll

3. Digues quins són els tres tipus de fonts sonores i els tipus d'ones sonores que produeixen.

R: puntual (ones esfèriques), lineal (ones de mig cilindre) i superficial (de mig cilindre inicialment i esfèriques a mesura que ens allunyem de la font)..

4. Com es pot deduir matemàticament el nivell de pressió sonora a una determinada distància d'una font puntual a partir d'un valor conegut en un altre punt?

R: Si es disposa d'un sonòmetre amb el qual es coneix el nivell de pressió sonora en el punt 1 (Lp1), el nivell de pressió sonora en el punt 2 (Lp2) es pot deduir a través de:

$Lp2 = Lp1 - 20 \cdot \log (r2/r1)$ on $r2$ = distància a la que es vol saber Lp2 i $r1$ = distància a la que es mesura Lp1.

5. Si el nivell sonor equivalent per un cert temps del trànsit d'una carretera és de 56 dB a 10 metres, quin serà aquest nivell a 100 m?

R: 42 dB

6. A quina distància mínima ha de trobar-se un edifici d'una autopista que emet un nivell de pressió sonora de 75 dB a 10 m. si volem que el nivell sonor exterior del mateix no superi els 45 dB?

R:1390 m

7. Destaca tres precaucions que cal seguir quan es mesuren nivells sonors amb un sonòmetre?

R. Els efectes induïts per l'observador, l'existència d'ones estacionàries i les condicions meteorològiques.

3. Recursos a Internet

Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya.
http://mediambient.gencat.net/cat/el_medi/soroll/inici.jsp

Portal de la Unió Europea sobre el soroll
<http://europa.eu.int/comm/environment/noise/home.htm> .

Web del llibre verd del soroll:
<http://europa.eu.int/comm/environment/noise/greenpap.htm>

Associació espanyola contra la contaminació pel soroll
www.aecor.es.

Organització Mundial de la Salut (OMS)
www.euro.who.int/Noise

El Soroll urbà. Ajuntament de Barcelona
http://www.mediambient.bcn.es/cat/web/cont_bcn_soroll_presen.htm

Associació Catalana Contra la Contaminació Acústica
www.sorolls.org.

www.ruidos.org. Pàgina contra el soroll a les ciutats espanyoles, legislació, estudis, associacions, professionals...

www.peacram.com. PEACRAM, Plataforma estatal de asociaciones contra el ruido, amb legislació, estudis... .

www.cidb.org. Centre d'information et de documentation sur le bruit (CIDB)

<http://www.cesva.com/>
Empresa fabricant de sonòmetres i altres equips i instruments de l'acústica. Desenvolupen projectes de I+D amb col·laboració amb altres empreses.

4. Bibliografia

Antoni París i Anna Hevia: *Menys soroll millor*. Guies d'educació ambiental núm. 8 Ajuntament de Barcelona. Disponible a http://www.bcn.es/agenda21/A21_text/guies/soroll.pdf

Ajuntament de Bracelona: *Què sona a Barcelona. El soroll a ciutat*. Barcelona. 1999

Argilés, A, Llorente, E. "Examen al soroll" (crèdit variable tipificat)

Departament de Medi Ambient, *Llei 16/2002 de Protecció contra la contaminació acústica*. 2002. http://mediambient.gencat.net/Images/43_2242.pdf

Querol i Noguera, J. *Manual de Mesurament i avaluació del soroll*. Generalitat de Catalunya, 1994.