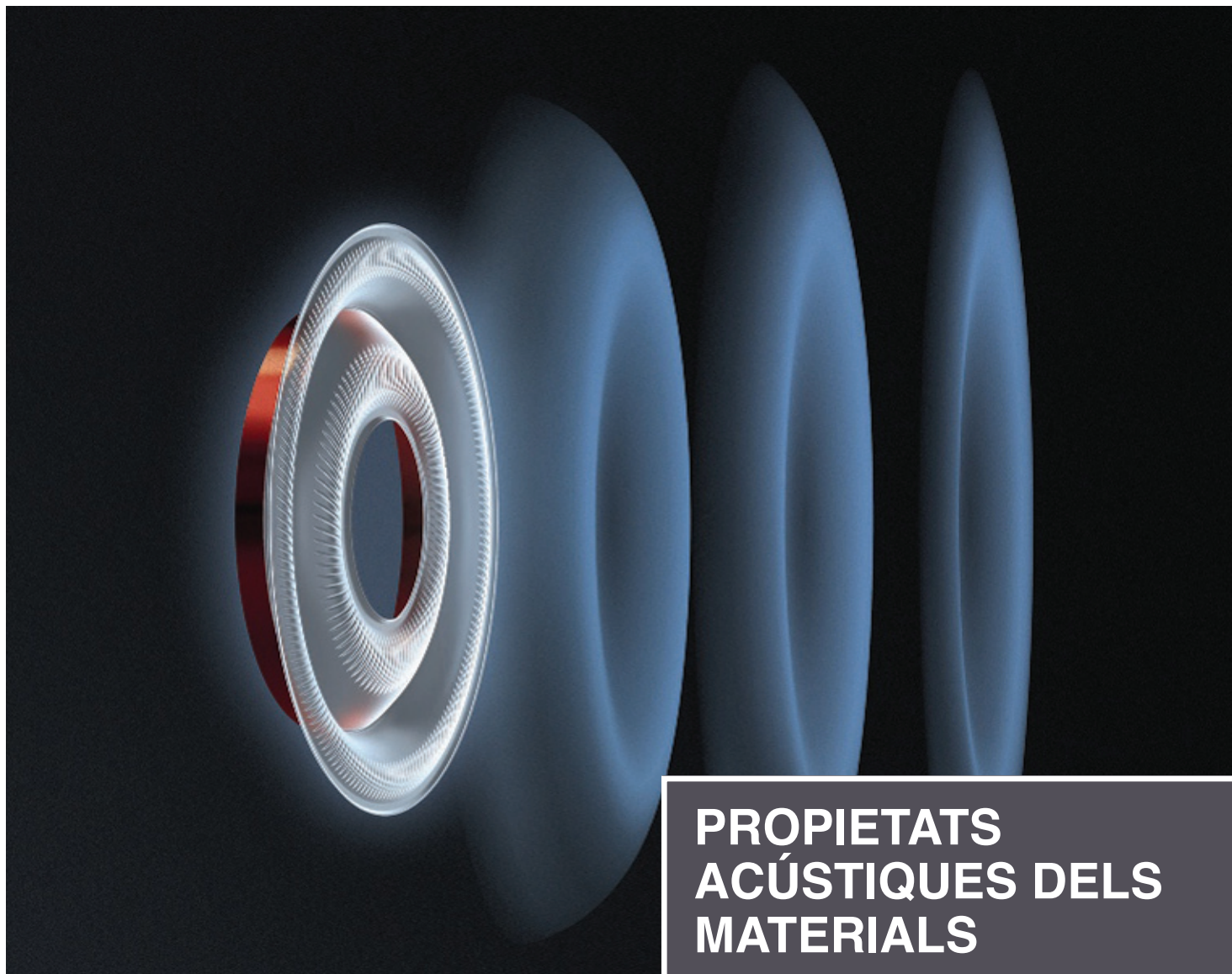




PROPIETATS ACÚSTIQUES DELS MATERIALS

ACTIVITATS D'ENSENYAMENT I APRENENTATGE

VERSIÓ ORIGINAL

MATERIALS SCIENCE PROJECT

UNIVERSITY-SCHOOL
PARTNERSHIPS FOR THE DESIGN
AND IMPLEMENTATION OF
RESEARCH-BASED ICT-ENHANCED
MODULES ON MATERIAL
PROPERTIES

SPECIFIC SUPPORT ACTIONS

FP6: SCIENCE AND SOCIETY: SCIENCE
AND EDUCATION



PROJECT COORDINATOR
CONSTANTINOS P. CONSTANTINOU,
LEARNING IN SCIENCE GROUP,
UNIVERSITY OF CYPRUS

PROJECT PARTNERS



ACKNOWLEDGMENT



RESEARCH FUNDING FOR THE
MATERIALS SCIENCE PROJECT
WAS PROVIDED BY THE EUROPEAN
COMMUNITY UNDER THE SIXTH
FRAMEWORK SCIENCE AND
SOCIETY PROGRAMME (CONTRACT SAS6-CT-2006-
042942).

THIS PUBLICATION REFLECTS ONLY THE VIEWS OF
THE AUTHORS AND THE EUROPEAN COMMUNITY IS
NOT LIABLE FOR ANY USE THAT MAY BE MADE OF
THE INFORMATION CONTAINED HEREIN.

© DESIGN:
n.eleana@cytanet.com.cy
2010, NICOSIA - CYPRUS

PROPIETATS ACÚSTIQUES DELS MATERIALS

Disseny i desenvolupament

Personal Universitari

Roser Pintó
Digna Couso
María Isabel Hernández

Professors de secundària

Montserrat Armengol
Celsa Cortijo
Raül Martos
Miquel Padilla
Consol Rios
Marta Simón
Carme Sunyer
Montserrat Tortosa

Altres contribucions

*Transferència, implementació i
feedback*

Personal Universitari

Constantinos P. Constantinou
Michalis Livitziis
Rodothea Hadjilouca
Argyro Scholinaki
Marios Papaevripidou
Nikos Papadouris
Giannis Hadjidemetriou

Professors de secundària

Ioannis Karmiotis
Marios Michail
Giannakis Hadjicostis
Antonis Stylianou
Nitsa Kindini
Myrto Pouangare
Leonidas Fakiolas

Expert extern

Hans Niedderer

CONTINGUTS

0. Introducció a l'Acústica	06
-----------------------------	----

UNITAT 1: INTERACCIÓ SO-MATERIAL	11
---	-----------

1.1. Els problemes acústics d'un bar musical	13
--	----

1.2. Com és que el so arriba a tots els racons de la pista de ball?	15
---	----

1.3. Com podem aconseguir no sentir tant el so a l'exterior del bar musical?	23
--	----

UNITAT 2: PROPIETATS I ESTRUCTURA INTERNA DELS REFLECTORS I ABSORBENTS ACÚSTICS	35
--	-----------

2.1. Quines característiques ha de tenir un material per ser un reflector acústic? I un absorbent acústic?	37
--	----

2.2. Com podem explicar que les propietats d'un material influeixin en el seu comportament acústic?	50
---	----

UNITAT 3: CONDICIONAMENT ACÚSTIC I INSONORITZACIÓ	57
--	-----------

3.1. Comparant materials. Quin utilitzaríem per insonoritzar?	59
---	----

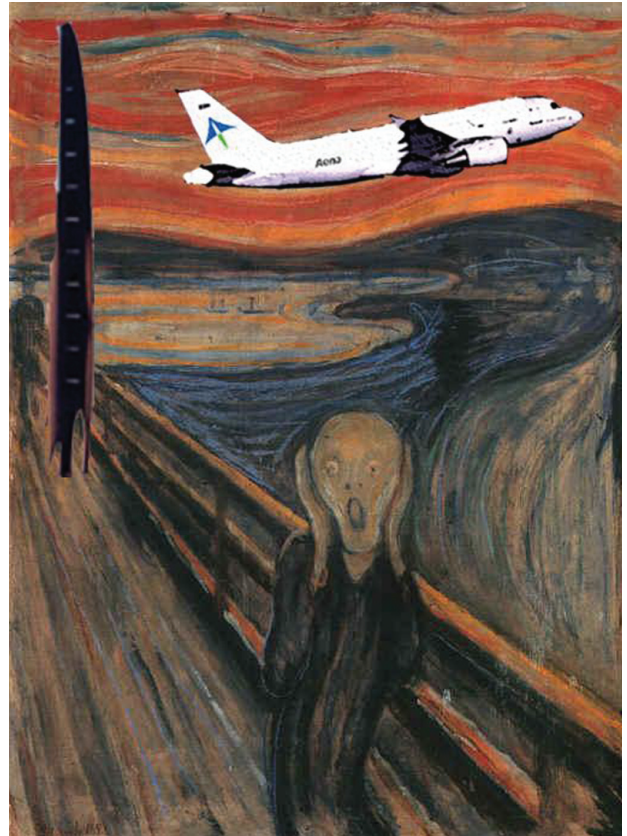
Per què és important aprendre sobre “Propietats acústiques dels materials”?



Saps quants anys fa que el so és un tema d'interès d'estudi per l'ésser humà? Ja ho era pels arquitectes de l'Antiga Grècia que tractaven de controlar la sonoritat en els teatres que dissenyaven en aquella època.

Des de llavors, molts científics han estudiat què és el so, com s'origina, com es propaga, com controlar les seves qualitats, com enregistrar-lo, com evitar-lo, entre d'altres qüestions. L'estudi del so i dels fenòmens sonors va donar lloc a una disciplina científica anomenada Acústica. Altres disciplines com l'arquitectura o l'enginyeria tenen en compte les teories elaborades en el camp de l'acústica a l'hora de dissenyar estructures, recintes i aplicacions tecnològiques (acústica de teatres, aplicacions mèdiques com les ecografies, aplicacions navals com el sonar, enregistrament d'àudio, tractament digital de música, etc.).

Però el progrés científic i tecnològic no ha estat l'única motivació per estudiar el so. També els problemes socials promouen que els científics investiguin sobre un tema determinat. Avui dia, el problema de la contaminació acústica és plenament reconegut. El provoquen tots aquells dispositius útils per l'activitat humana, com màquines i motors. Les conseqüències d'aquest problema poden ser des de pèrdues d'audició de les persones fins a trastorns cardiovasculars i del sistema nerviós, sobretot quan els sons són d'alta intensitat i l'exposició és contínua. Per aquest motiu, les autoritats han aprovat noves lleis per tal de regular la protecció contra el soroll.



Aquesta unitat didàctica tracta aquesta problemàtica, enfocada des del cas particular d'un bar musical situat a prop d'una zona residencial, i introdueix elements científics i tecnològics que t'ajudaran a entendre el problema i a aportar solucions.

0.1. FER SONS PARLANT. PARLAR DE SONS

Durant aquesta unitat, sentiràs molts sons però també hauràs de parlar del so en diferents situacions. Aquesta primera activitat t'ajudarà a familiaritzar-te amb el vocabulari relatiu al so:

- a) **En parelles, un de vosaltres haurà d'emetre un so, ja sigui amb la veu o amb un altre objecte o instrument. L'altre company/a haurà de descriure el so produït. Després, haureu d'intercanviar les tasques.**

Escriu la teva descripció:

- b) **Ara pensa en un so diferent que podries produir, i escriu com seria:**

- c) **Intercanvieu les descripcions que heu fet i intenteu produir un so com el que ha descrit l'altre persona.**

Coincideixen els sons produïts amb les descripcions fetes?

Com és que resulta difícil reproduir exactament els sons descrits?

Amb l'activitat anterior has pogut adonar-te de com és d'important disposar d'un vocabulari específic per poder entendre's bé amb la resta de companys.



QUÈ HI DIU LA CIÈNCIA?

El **llenguatge científic** es caracteritza per ser més precís que el llenguatge quotidià ja que evita que un mateix terme o concepte tingui molts significats diferents.

Per aquest motiu, abans de començar aquesta unitat, és important que recordis el llenguatge científic relacionat amb el tema del so, ja que l'utilitzaràs al llarg d'aquest tema.

Llegeix ara els següents diàlegs:

Conversa entre dos veïns

V1: No he pogut dormir en tota la nit amb tant *soroll* al carrer!

V2: A mi em molesta molt que els cotxes passin amb la música amb un *volum tan fort*. Però m'imagino que vosaltres la sentireu més perquè la vostra finestra dóna al carrer principal.

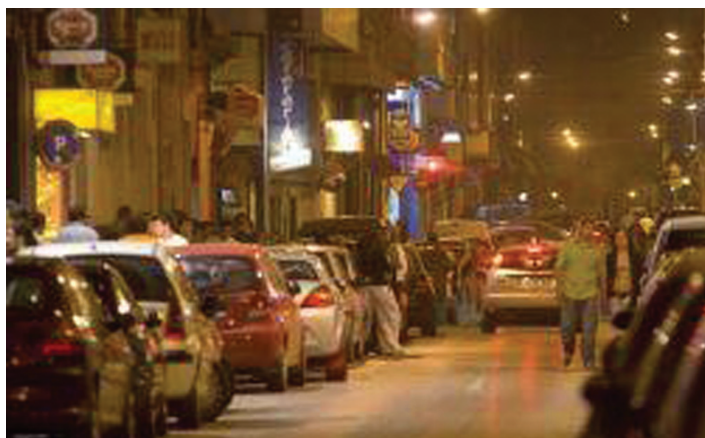
V1: I això que tenim finestres de doble vidre, però ni així aconseguim evitar sentir tant de *soroll*. Especialment, aquell so tan greu i molest que fan algunes motos sense silenciador.

Conversa entre el propietari del pis i un expert en acústica

E: La zona on vostè viu té un problema seriós de *contaminació acústica*! Les mesures del *nivell d'intensitat sonora* que hem fet al carrer i dins del pis a determinades hores del dia i de la nit són molt *elevades*.

V: I què ens recomana? Perquè vam canviar les finestres però no acabem de solucionar el problema...

E: Haurem d'utilitzar diferents materials per tal d'*atenuar els sons* que li arriben, especialment els de *freqüències baixes*.



0.2. Troba relacions entre les paraules en *cursiva* de la conversa entre els dos veïns i els termes (també en *cursiva*) utilitzats per l'expert de la segona conversa.



QUÈ HI DIU LA CIÈNCIA?

És important que abans de començar aquesta unitat, repassis el que ja saps sobre el so.

Per començar, recorda què és el so, com es produeix i com es propaga

Com ja saps, el so es produeix en fer vibrar algun objecte, per exemple, la membrana d'un altaveu. Aquesta vibració empeny les partícules d'aire al seu voltant i aquestes oscil·len d'una banda a l'altra. En oscil·lar, cada partícula xoca amb la del costat i aquesta amb la següent, i així successivament. D'aquesta manera, la vibració inicial va propagant-se. Per tant, es va transferint energia des de l'objecte inicial que ha començat a vibrar fins a l'oïda. Aquesta transferència no requereix transport de matèria, ja que les partícules del medi no es desplacen sinó que oscil·len entorn d'un punt.

PER QUÈ DIEM DONCS QUE EL SO ES TRANSMET MITJANÇANT ONES?

A Física, es parla d'ones per explicar el fet que l'energia es transfereixi al llarg d'un medi sense propagació de matèria. Així, quan es diu que les ones sonores es propaguen, significa que es transfereix energia d'un punt (per ex., l'altaveu) a un altre (per ex., l'oïda) a través de la vibració de les partícules del medi. Així que, el so no és cap substància invisible que es propaga pel medi!

COM PODEM DESCRIBRE UN SO?

Diem que un so és **agut** quan la seva **freqüència** és **alta** i parlem de sons **greus** quan la **freqüència** és **baixa**. Per tant, la freqüència d'un so, està relacionada amb la qualitat que anomenem to. Un so és agut si és produït per un objecte que vibra molt de pressa; per contra, un so greu està produït per un objecte que vibra lentament. El terme **freqüència** indica el nombre d'oscil·lacions o vibracions en cada unitat de temps que experimenta un objecte. Per tant, aquesta magnitud descriu la rapidesa amb què vibra l'objecte i, en conseqüència, les partícules del medi pel qual es propaga l'ona sonora. La unitat de freqüència és el **Hertz (Hz)**. L'oïda humana només pot percebre sons que tinguin freqüències entre 20Hz i 20.000Hz i, en canvi, la veu humana pot produir sons de freqüència entre els 80 i els 4000 Hz. La freqüència està relacionada amb una altra magnitud física anomenada **longitud d'ona**. La longitud d'ona caracteritza la mida de l'ona, per tant, indica la distància entre dos punts del medi on les partícules estan en el mateix estat de moviment, és a dir, estan igual de separades respecte de la seva posició inicial. Les nostres oïdes només poden percebre ones sonores que tenen longituds d'ona entre els 3cm i els 12m. Com més freqüència té un so, més de pressa vibren les partícules del medi i, per tant, menys temps triguen en oscil·lar i en transmetre la vibració a la resta de partícules. En conseqüència, aquestes ones sonores tenen una mida més petita. És a dir, la freqüència (f) i la longitud d'ona (λ) són magnituds inversament proporcionals.



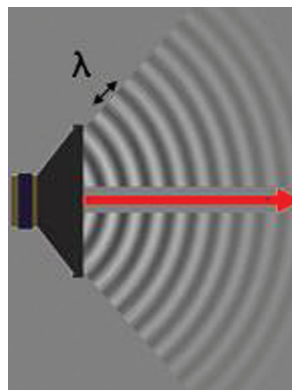
D'altra banda, diem que un so és **fort** o té un **volum elevat** quan té una **intensitat elevada**. Diem que és **fluix** quan el seu **nivell d'intensitat sonora** és **baix**. Associem doncs la intensitat sonora amb el **volum**. La **intensitat** del so ens dóna idea de la quantitat **d'energia** que transporta l'ona sonora. Per fer vibrar la corda d'una guitarra, hem de separar-la de la seva

posició en estat de repòs i deixar-la anar. Si volem que soni més fort, separarem més la corda, per tant, li aportarem més energia. La distància màxima que es separa la corda des de la posició de repòs en vibrar s'anomena **amplitud**. Per tant, un so més intens implica una vibració d'amplitud més gran. El nivell d'intensitat sonora es mesura en **decibels (dB)**. L'escala de decibels està ajustada al rang d'audició de l'oïda humana ja que va des dels 0dB, que correspon a la intensitat mínima a partir de la qual podem sentir sons, fins als 120dB, que es considera el llindar a partir del qual els sons poden provocar dolor a l'ésser humà. Una conversa a veu normal es troba al voltant dels 40-60dB mentre que a dins d'una discoteca a prop de l'altaveu el so pot arribar fins als 120dB. El nivell d'intensitat sonora es pot mesurar amb un instrument especial anomenat sonòmetre. Els **sonòmetres** utilitzen un micròfon que recull el so i s'han de col·locar en la direcció de la font sonora.



COM PODEM REPRESENTAR LES ONES SONORES?

Diem que **les ones sonores són esfèriques** ja que es propaguen en totes direccions des de la font sonora. Per representar-les, s'utilitza generalment un conjunt de línies corbes que tenen un radi major a mesura que s'allunyen de la font sonora. Cadascuna d'aquestes línies s'anomena **front d'ona**. La distància entre fronts d'ona representa la longitud d'ona. S'utilitza també la representació del **raig de so** com fletxes perpendiculars als fronts d'ona, que indiquen la direcció de propagació de les ones sonores. Generalment, es representa un únic raig de so que representa la direcció en la qual es transmet una major quantitat d'energia, és a dir, on el nivell d'intensitat sonora és màxim.



**UNITAT 1:
INTERACCIÓ
SO-MATERIAL**



El propietari d'un nou bar musical està preocupat pel tema del soroll. Els veïns ja s'han queixat de les primeres proves de so abans de la inauguració i està segur que, si no fa res, acabaran posant una denúncia.

El condicionament del local ha estat un problema des del principi. Inicialment es produïa molt eco i sons barrejats, però en posar el mobiliari i la decoració, això va deixar de succeir.

De fet, la música se sentia molt bé a dins; semblava que el so es distribuïa per tota la sala. Fins i tot darrere dels altaveus se sentia perfectament! Això sempre li havia sorprès: com pot ser que la música arribi a tot arreu? El problema més greu és la insonorització del local, ja que tot i haver les parets pel mig, la música també arribava als veïns. Per solucionar-ho va decidir contractar els serveis d'una empresa tècnica.

L'empresa DSR té una àmplia experiència en el condicionament acústic i la insonorització de bars musicals. La feina dels seus tècnics es basa en desenvolupar projectes segons les condicions estructurals de les instal·lacions. El disseny d'aquests locals té moltes possibilitats, però en totes cal tenir en compte el nombre de persones que poden entrar-hi, les característiques de cada sala (alçada dels sostres, material del que estan fetes les parets, etc.) i la decoració.

A continuació tens la distribució concreta d'aquest bar musical. Per estudiar les variables que intervenen en l'acústica d'un local, l'empresa divideix l'espai en sectors que analitza amb més precisió.



A partir de les imatges de cada sector i del plànol del local musical, es poden identificar diferents elements que en formen part (per exemple columnes, altaveus...).

1.1.1. Quines creus que haurien de ser les característiques que convindria que tingués cada sector dels abans assenyalats segons la intensitat del so que hi ha d'arribar?

Els tècnics de l'empresa estan treballant en qüestions bàsiques de l'acústica del local com les següents:

- En quines parts del local convé sentir el so amb més intensitat? De què depèn que el sentim amb més o menys intensitat?
- Què li pot passar al so quan arriba a un obstacle? On s'han de situar els altaveus?
- Quines condicions faran que no se senti el so a l'exterior?

A continuació tens una representació simplificada de la sala de ball del bar musical:



1.1.2. DISCUTEIX AMB ELS TEUS COMPANYS QUINES RESPOSTES DONARIES A LES PREGUNTES QUE ES FORMULEN ELS TÈCNICS. ARGUMENTA LA TEVA RESPOSTA.

a) Què li passa al so emès per l'altaveu quan arriba a les parets del local musical?



b) Com és que puc sentir la música, si em col·loco darrere l'altaveu?

c) Si em trobo a fora del bar musical puc sentir la música tot i que amb menys volum que a l'interior.

Com és que la música que se sent té menys volum a fora que a dins?

Un dels enginyers acústics de l'empresa DSR comenta al propietari del local que un dels fenòmens a tenir en compte és que el so "rebota" quan arriba a un obstacle prou gran (per exemple, una paret). El propietari necessita més informació sobre com és aquest "rebot" per poder prendre decisions. Per exemple, vol saber on posar els altaveus per tal que el "rebot" del so ajudi a que aquest se senti per tot el local, i també com pot evitar-lo quan aquest no és adient. O sigui, que necessita poder predir la direcció de propagació del so després dels "rebots" i també com evitar-los o disminuir-los.

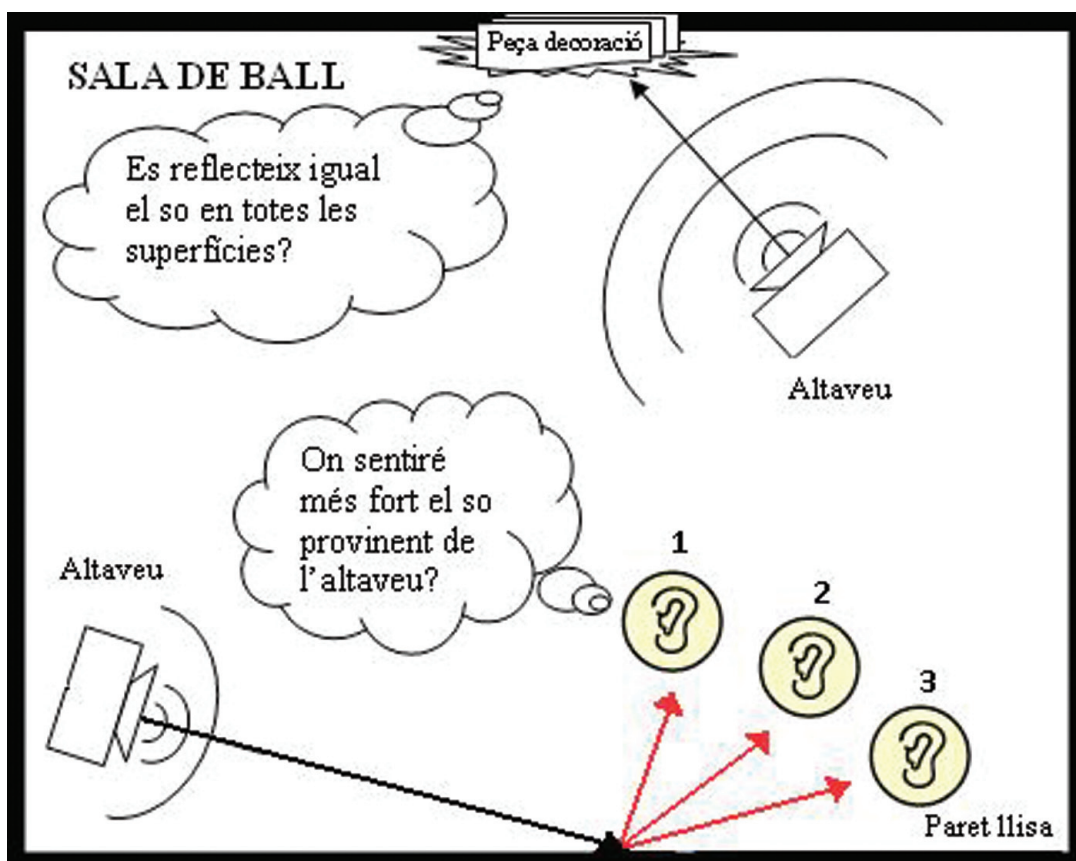
L'enginyer acústic ha fet servir un llenguatge col·loquial. Però el terme científic per expressar que el so "rebota" és un altre. Com creus que es diu?



QUÈ HI DIU LA CIÈNCIA?

No es sol dir que les ones sonores reboten quan arriben a la superfície d'un material. Diem que **les ones sonores es reflecteixen**. Anomenem **reflexió** al fenomen pel qual una ona canvia la seva direcció de propagació quan arriba a un objecte, però continua movent-se en el mateix medi

1.2.1. Observa el següent dibuix i tracta de respondre les preguntes plantejades:



- a) Creus que el so es reflecteix igual en una paret llisa que en una peça de decoració que tingui una superfície irregular?

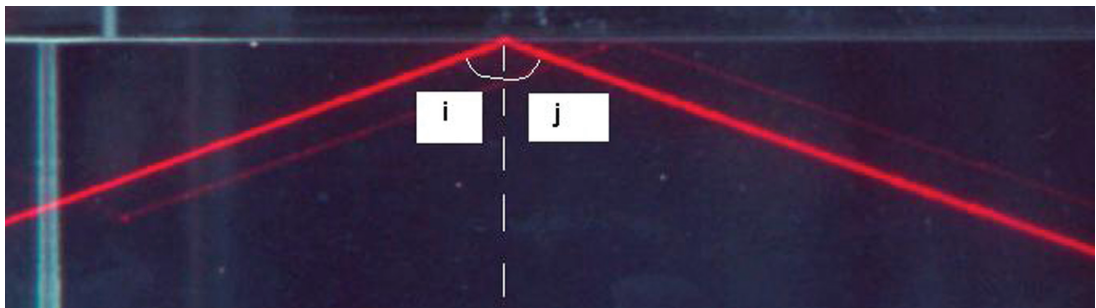
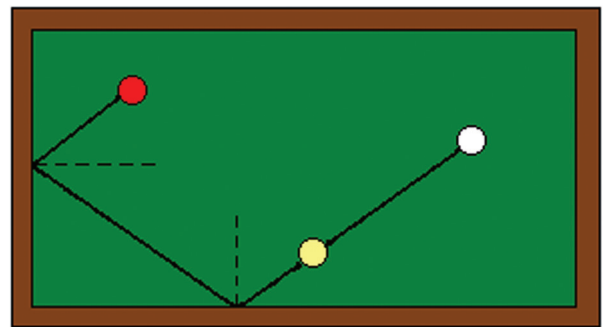
Per què?

- b) En quina direcció sentiré més fort el so provinent de l'altaveu?

Per què?

En quina direcció es reflecteix el so?

Analitza com reboten altres objectes, com ara les boles de billar, o com es reflecteixen altres ones, com ara la llum d'un làser, en superfícies llises. Fixa't atentament en les direccions de la trajectòria de la bola i del raig làser.



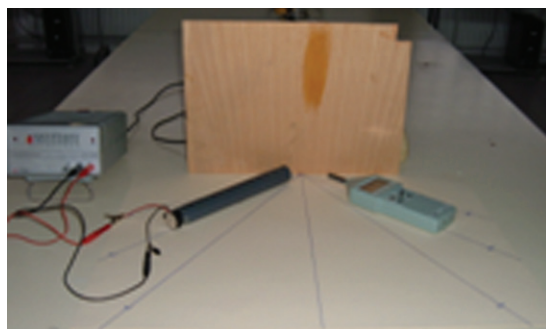
Anomenem **angle d'incidència** al que forma la direcció de propagació del raig de so incident amb la línia perpendicular a la superfície de separació entre dos medis (línia discontinua). L'**angle de reflexió** és per tant el que forma la direcció de propagació del raig de so reflectit amb la línia discontinua.

1.2.2. Quin tipus de relació creus que es dona entre aquests dos angles?

1.2.3. Mesurem l'angle de reflexió on el nivell d'intensitat és màxim

Podem mesurar aquest angle amb un muntatge com el de la figura:

- A l'esquerra tenim una font de so, en aquest cas un bronzidor, emetent dins d'un tub de PVC.
- Enfoquem el tub cap a una superfície llisa (en aquest cas, una planxa de fusta) formant un angle de 45° amb la perpendicular a la superfície.
- Amb el sonòmetre, mesurem el nivell d'intensitat sonora en diferents direccions.



Què passa en fer l'experiment?

Després de posar en marxa el bronzidor i mesurar el nivell d'intensitat sonora a mesura que s'anava canviant la direcció del sonòmetre, s'han obtingut els següents valors:

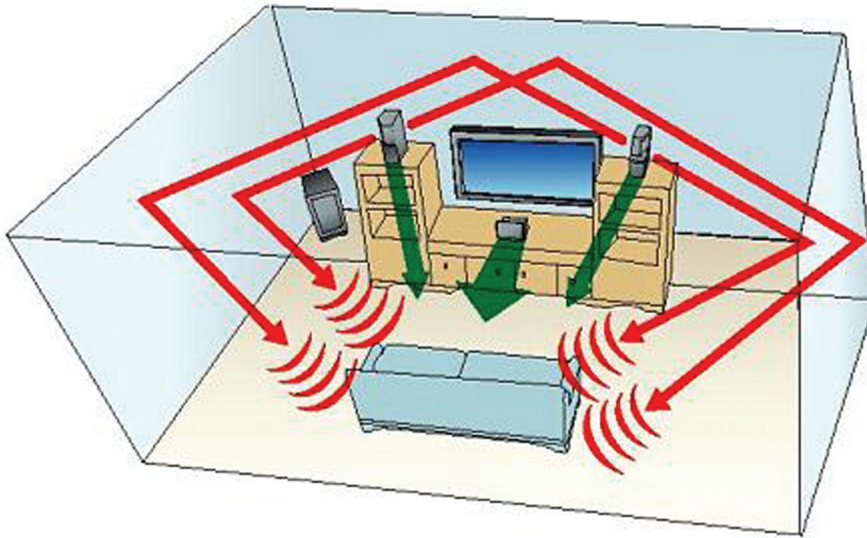
ANGLE DE REFLEXIÓ	SO DIRECTE	0°	30°	45°	60°	90°
NIVELL D'INTENSITAT SONORA (dB)	74,8	67	67	67,4	66,8	65,8

Explica els resultats de l'experiment.

Com t'expliques que puguem sentir un so en qualsevol punt d'una sala, independentment d'on estiguem situats?

Experimentalment, es pot comprovar que l'angle d'incidència i de reflexió són iguals.

Alguns sistemes de so envolupant utilitzen aquesta propietat de la reflexió de les ones sonores en certes direccions per amplificar el so que arriba a l'oient. Part del so arribarà directament a l'oient, i part arribarà després de reflectir-se a les parets.

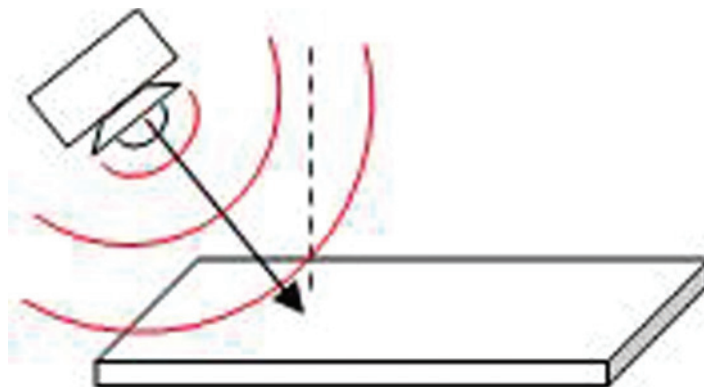


1.2.4. En conclusió:

a) Completa la frase: Quan un so propagant-se en una certa direcció es troba un obstacle (una superfície), es reflecteix, és a dir...

b) Completa la frase: La direcció de propagació del raig de so reflectit és...

c) Dibuixa amb una fletxa el raig de so reflectit i representa les ones reflectides com semicircumferències. Marca els angles d'incidència i de reflexió.



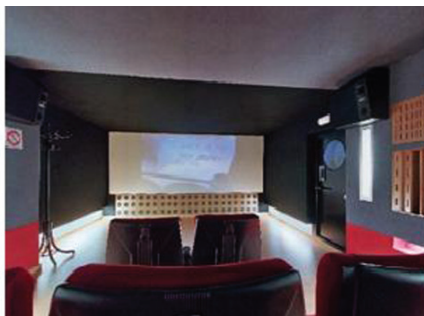
LA REFLEXIÓ I EL SOSTRE DELS AUDITORIS

En algunes sales es canvia el sostre per evitar que hi hagi tanta reflexió cap als espectadors. Es posen, per exemple, superfícies irregulars on el so es reflecteix en direccions diverses, de tal manera que el so es difon; a aquestes superfícies se les anomena **difusors acústics**.

1.2.5. En quines de les sales que mostren les imatges següents consideres que s'han utilitzat difusors acústics?



A



B

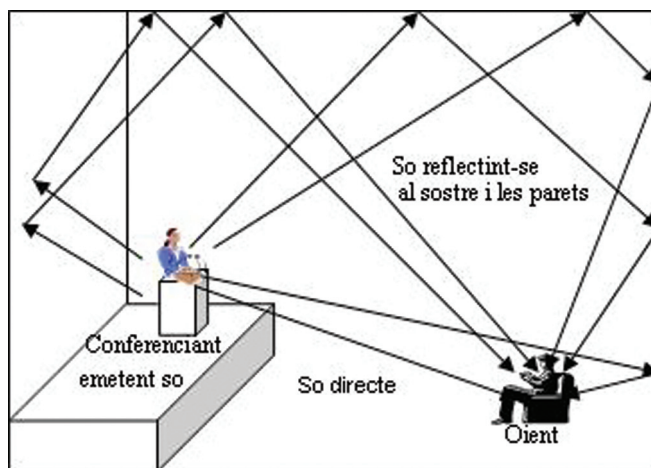


C

QUIN CAMÍ FA EL SO DES DE L'EMISSOR FINS AL RECEPTOR EN UN AUDITORI?

En sales molt grans amb sostres molt alts i llisos, fixa't en el camí que fa el so des de la persona que parla (emissor) fins a l'oient (receptor).

Una part del so es reflecteix al sostre. Una altra part no es reflecteix (so directe) o es reflecteix només a la paret del darrere.



1.2.6. a) A partir de la figura superior, podries dir quina part del so (directe o reflectit) trigarà més temps en arribar a l'oient?

Per què?

- b) Si diferents parts del so fan diferents camins i, per tant, triguen diferent temps en arribar a la oïda de l'oient, creus que sentirà un so de més durada o sentirà sons diferents?

Justifica-ho.



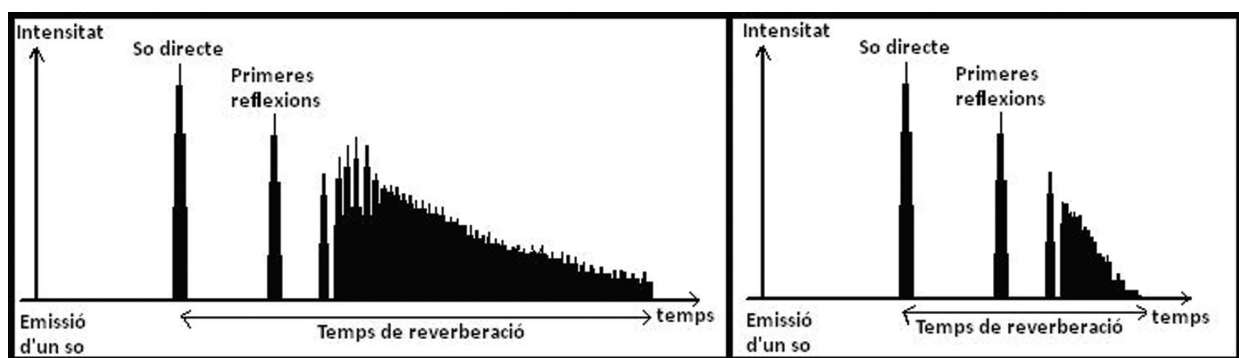
QUÈ HI DIU LA CIÈNCIA?

En recintes grans, com teatres o sales de conferències, és habitual sentir que cada so dura més de l'habitual. Aquest fenomen s'anomena **reverberació** i és degut a la reflexió del so. Les ones reflectides es retarden respecte del so directe un temps suficientment petit com per a què la nostra oïda no sigui capaç de reconèixer dos sons diferents. Només aprecia un so amb major duració. Si aquest retard és molt gran ja no parlem de reverberació, sinó d'**eco**.

La reverberació en un recinte es descriu mitjançant el **temps de reverberació**. Aquest és el temps que transcorre en un determinat recinte des que es produeix un determinat so fins que la seva intensitat disminueix suficient com per no ser escoltat.

EL TEMPS DE REVERBERACIÓ

En una sala amb sostres alts i llisos s'ha mesurat el temps de reverberació, és a dir, el temps que es continuava sentint un so després de ser emès. La gràfica de l'esquerra representa el temps que un so puntual es seguia sentint a la sala gran. Un cop s'ha condicionat acústicament la sala col·locant materials que reflecteixen molt poc el so o el difonen, la mateixa mesura donava lloc a la gràfica de la dreta.



1.2.7. a) Quines diferències observes entre les dues gràfiques?

b) Quan se sent millor al conferenciant, abans o després del condicionament acústic de la sala?

Per què?

Cada recinte té un temps de reverberació ideal segons la funció que hagi de tenir. Una sala destinada a fer conferències o obres de teatre necessita un temps de reverberació curt per tal que els sons que arriben al públic siguin molt clars i nets per poder ser entesos. En canvi, en una sala destinada a escoltar música convé que el temps de reverberació sigui major per tal de millorar la sensació acústica, fent que els sons musicals no acabin de forma abrupta sinó que s'atenuïn lentament.

ÚS DE LA SALA	TEMPS DE REVERBERACIÓ ÒPTIM (s)
Teatre i conferències	0,4 – 1
Música de cambra	1 – 1,4
Música orquestral	1,5
Òpera	1,6 – 1,8
Música coral i sacra	Up to a 2,3

1.2.8. Algunes persones opinen que el Palau de la Música Catalana és una sala que resulta “excessivament apagada” per la música orquestral. Un expert en acústica de recintes va mesurar el temps de reverberació promig d’aquesta sala i va obtenir un valor aproximat de 1,2s.

Creus que aquesta mesura corrobora l’opinió dels oients? Justifica la teva resposta..



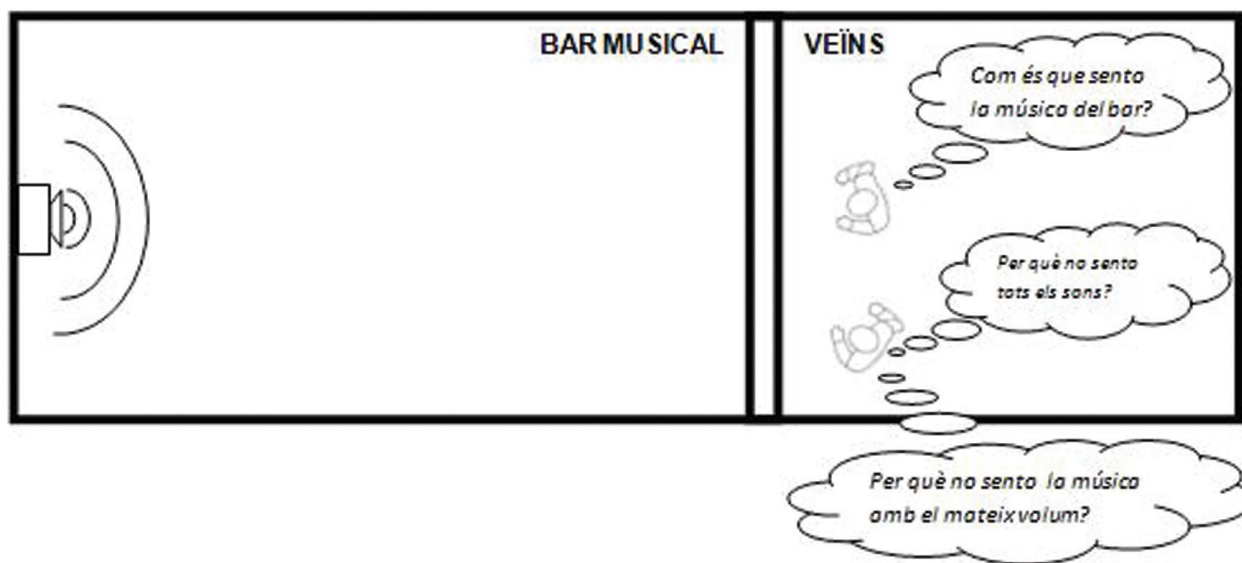
1.3

COM PODEM ACONSEGUIR NO SENTIR TANT EL SO A L'EXTERIOR DEL BAR MUSICAL?

El propietari del bar musical ja està més animat, ja que sembla que s'han començat a solucionar alguns problemes de condicionament acústic. Té moltes ganes de posar-lo en marxa i, fins i tot, ja té decidida la música que ell personalment punxará al bar. Tot i

així no vol descuidar el tema dels veïns, que estan molt neguitosos des que s'han assabentat del seu negoci. Ell pensa que amb la música que se sentirà al seu local no hauria d'haver problemes, però mai se sap, no tothom té els mateixos gustos.

A continuació, tens una representació simplificada del bar musical i d'una vivenda que està separada del bar només per una paret:



1.3.1. a) Com explicaries que els veïns puguin sentir la música provinent del bar musical?

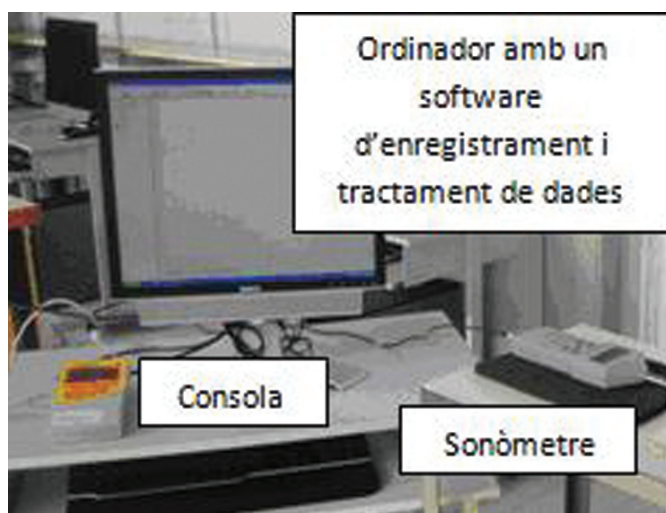
b) Creus que se sentiria tant el so a casa dels veïns si s'aconseguís augmentar la reflexió del so dins del local musical?

Per què?

Per tal de proposar una solució per atenuar el so fora del bar, tant al carrer com a les vivendes situades sobre aquest o als costats, l'enginyer primer ha de prendre mesures del nivell d'intensitat sonora produït al local i el que arriba a diferents punts de fora del bar. L'enginyer utilitza un sonòmetre que mesura el nivell d'intensitat del so que li arriba en decibels (dB). Quants més decibels marca el sonòmetre en la seva pantalla, més intens és el so que rep.

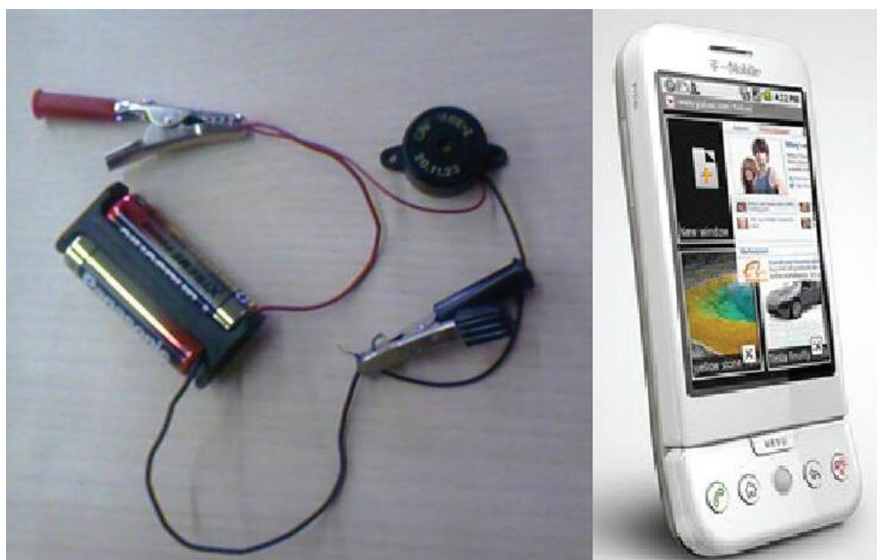
1.3.2. Com podem mesurar els canvis d'intensitat sonora?

Ara aprendràs a utilitzar aquest aparell per prendre mesures del nivell d'intensitat sonora. A més, tens l'avantatge de que pots utilitzar el sonòmetre connectat a una consola que et permeti enviar les dades mesurades a l'ordinador per tal de tenir-les guardades i analitzar-les a partir de gràfiques i taules de valors, tal com mostra la imatge. Aquest equipament et permetrà observar a la pantalla de l'ordinador el gràfic de les variacions del nivell d'intensitat sonora al llarg del temps.



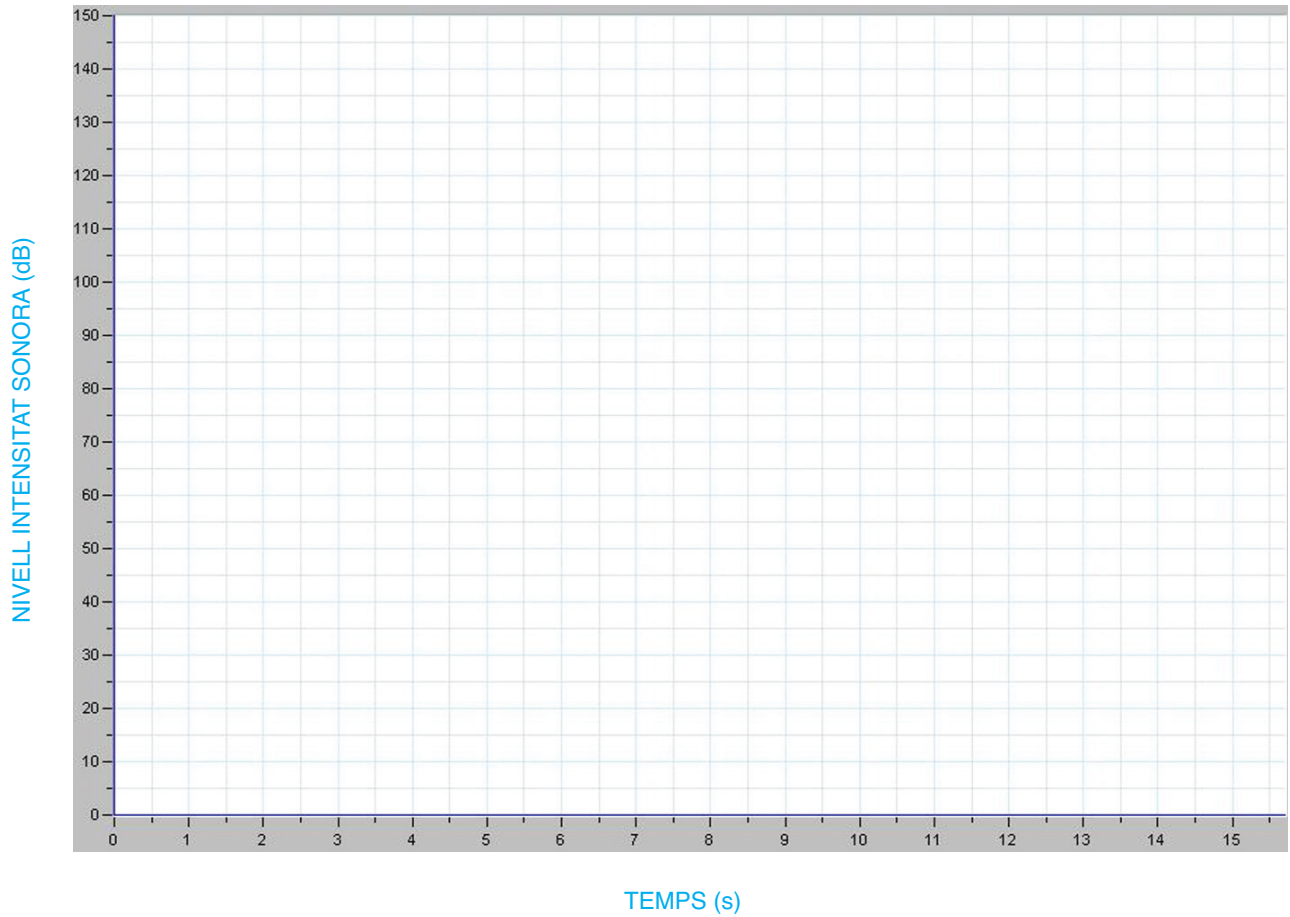
PER MESURAR AMB AQUEST EQUIPAMENT CAL QUE ABANS CONFIGURIS L'EQUIP DE CAPTACIÓ DE DADES. SEGUEIX LA PAUTA DE CONFIGURACIÓ

- a) **Produeix sons de diferents intensitats (xiular, parlar més fort i més fluix, guardar silenci, utilitzar instruments o altres aparells*, etc.) davant del micròfon del sonòmetre. Observa a la pantalla de l'ordinador com les diferents intensitats dels sons produïts van quedant representades gràficament.**



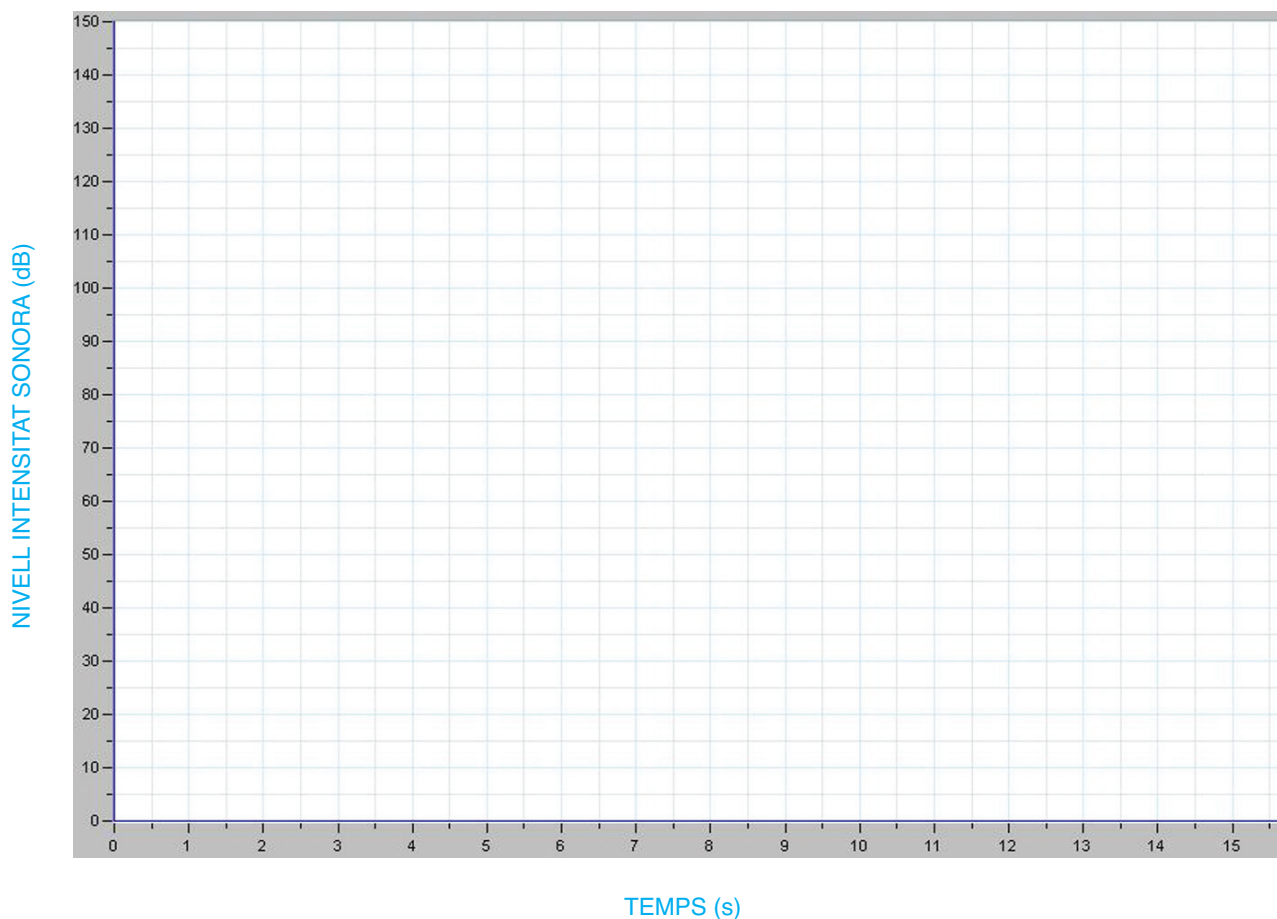
*BRUNZIDOR CONNECTAT A UNA PILA O MÒBIL

- b) Dibuixa en els eixos següents la gràfica obtinguda pels sons que has emès. Indica a la gràfica quin tipus de so estaves emetent per cada interval de temps. Marca-hi els moments en què el nivell d'intensitat sonora era més gran.

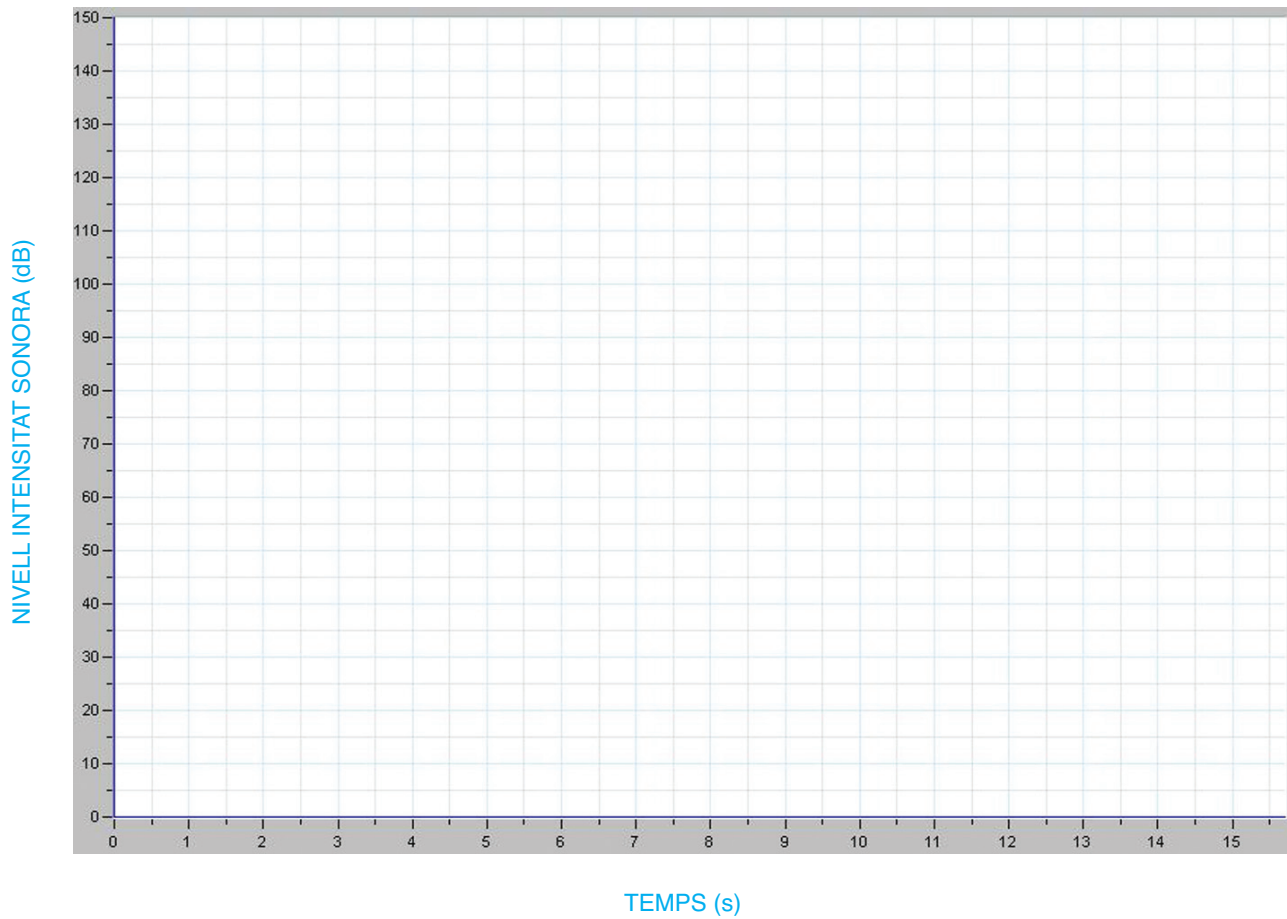


1.3.3. Creus que la distància que hi ha entre la font sonora i el sonòmetre influeix en el nivell d'intensitat sonora mesurat?

- a) Abans d'analitzar la influència de la distància en les mesures, caldria que pensessis com influeix i dibuixis en els següents eixos la teva predicció. Representa a la gràfica de sota el que creus que es veurà a la pantalla a mesura que allunyem el sonòmetre de la font sonora.



- b) A continuació, procedeix a mesurar aquests canvis del nivell d'intensitat sonora. Vés allunyant el sonòmetre del brunzidor a un ritme constant. Dibuixa la gràfica obtinguda en els següents eixos:



- c) Comenta breument les semblances i diferències entre la teva predicció i la gràfica obtinguda.

- d) A partir de la gràfica obtinguda en la prova anterior, digues com influeix la distància sonòmetre - brunzidor en el nivell d'intensitat sonora mesurat.



QUÈ HI DIU LA CIÈNCIA?

Quan el so es propaga a través d'un medi, **la seva intensitat disminueix amb la distància**, ja que com que el so es propaga en totes direccions, l'energia que porta associada l'ona es va dispersant des de la font sonora cada vegada més.

COMPARANT INTENSITATS SONORES. QUANT SO ES TRANSMET A TRAVÉS DE LES PARETS?

El tècnic col·loca dins del bar una font sonora que produeix 100 dB i que té una freqüència de 500 Hz. A continuació comprova com d'intens serà el so que rebran els veïns durant la nit. Inicialment, el local musical està separat de casa dels veïns només pels elements de construcció habituals (parets de formigó, envans, guix). Aquestes mesures del nivell d'intensitat sonora a casa dels veïns del costat són:

FREQÜÈNCIA (Hz)	SO EMÈS (dB)	SO TRANSMÈS (dB)
500	100	58

1.3.4. a) Compara els nivells d'intensitat emès i transmès. A quina conclusió pots arribar?

b) Quin nivell d'intensitat del so no ha travessat la paret?

1.3.5. Què ha passat amb la part del so que no s'ha transmès en el cas anterior?



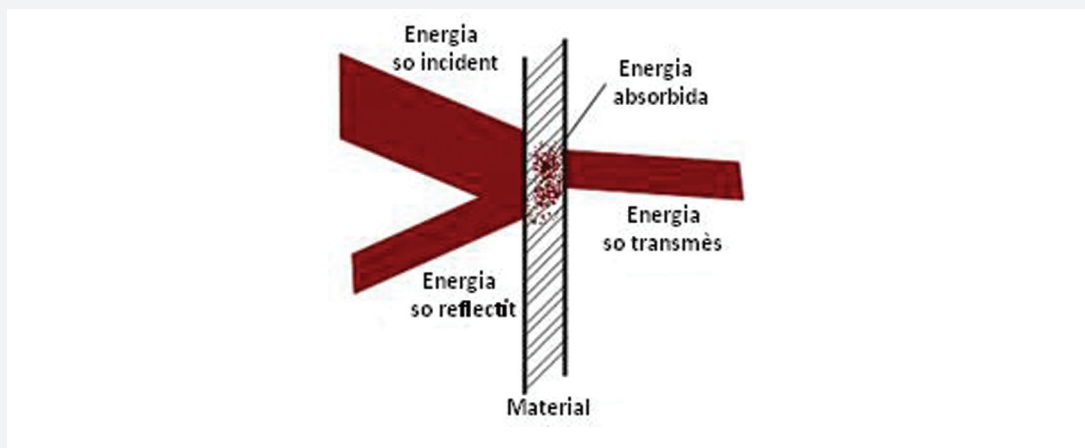
QUÈ HI DIU LA CIÈNCIA?

La disminució del nivell d'intensitat sonora que es produeix quan el so es transmet a través d'un material es coneix amb el nom **d'atenuació**.

Quan el so arriba a una paret del bar, les partícules d'aire que xoquen contra les partícules que formen la paret reboten i tornen a xocar contra les partícules d'aire adjacents i, per tant, direm que part del so es reflecteix. A més, les partícules que formen el material del que està feta la paret també començaran a vibrar degut als xocs amb les partícules d'aire, transmetent el so a l'altra banda de la paret. Direm doncs que part del so s'ha transmès. No obstant, degut a la vibració de les partícules que formen el material de la paret, aquestes augmentaran el seu moviment i, per tant, augmentarà la temperatura del material (encara que l'augment de temperatura sigui pràcticament menyspreable).

Així doncs, quan el so que es propaga per l'aire arriba a una paret, part de l'energia que transporta es reflecteix (so reflectit), i part penetra en la paret. Part d'aquesta energia que es transfereix a la paret es transfereix a la paret (s'absorbeix) i part la travessa i surt a casa dels veïns (so transmès). L'energia absorbida queda dissipada dins la paret. Així, l'energia del so incident que no s'ha transmès a l'altra banda correspon a l'energia que s'ha atenuat.

$$E_{\text{so atenuat}} = E_{\text{so incident}} - E_{\text{so transmès}} = E_{\text{absorbida}} + E_{\text{so reflectit}}$$



Podem dir doncs que l'atenuació del so és deguda tant a la **reflexió** com a l'**absorció**.

Com que l'energia que porta associada l'ona sonora està relacionada amb la intensitat sonora, podem calcular l'atenuació com la diferència entre el nivell d'intensitat del so emès i el nivell d'intensitat del so transmès.

$$I_{\text{so atenuat}} = I_{\text{so incident}} - I_{\text{so transmès}}$$

Un cop realitzades les mesures, el tècnic comenta al propietari del bar musical que aquest encara no compleix la normativa, ja que aquesta exigeix que el soroll d'immissió (que es transmet als veïns) a la nit no sigui superior a 30 dB.

Per tal de solucionar el problema, el tècnic vol fer entendre a l'empresari que s'ha d'atenuar el so, i això es pot aconseguir de dues maneres: col·locant en el seu camí materials que el reflecteixin o bé materials que l'absorbeixin. De fet, aconsella una solució constructiva que combini els dos tipus de materials.



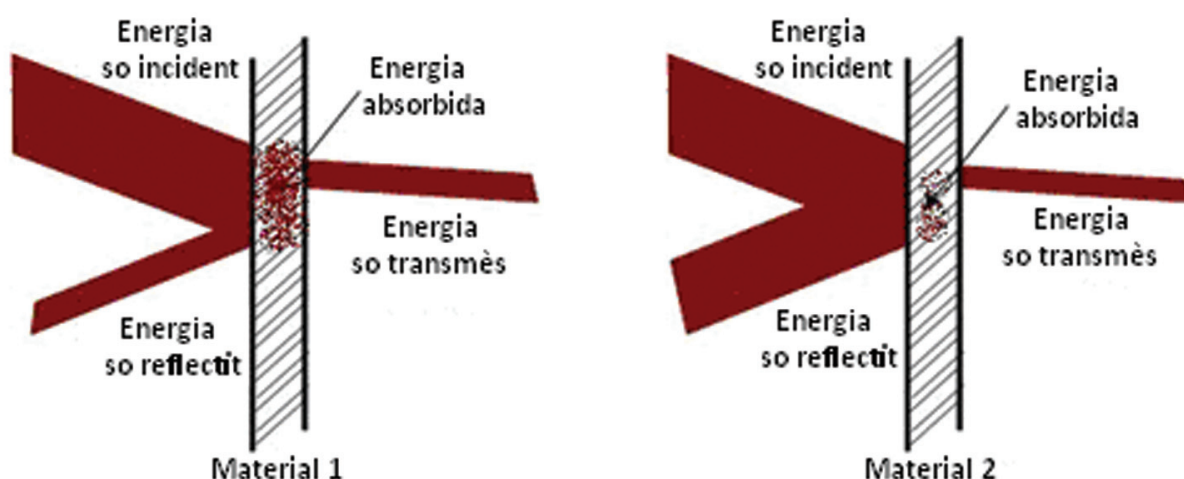
QUÈ HI DIU LA CIÈNCIA?

Anomenem **material reflector acústic** a aquell que reflecteix la major part del so que arriba a la seva superfície.

Anomenem **material absorbent acústic** a aquell que absorbeix la major part del so que entra dins d'aquest material.

Tots els materials reflecteixen, absorbeixen i transmeten (molt o poc) el so que els hi arriba. No obstant, diem que un material és un bon **aïllant acústic** quan atenua molt el so, és a dir, quan transmet poca energia del so a l'altra banda i, per tant, redueix molt el nivell d'intensitat del so emès per una font sonora. Com que l'atenuació del so és deguda tant a la reflexió com a l'absorció, considerem com **aïllant acústic un bon material reflector o un bon absorbent o una combinació d'ambdós**.

1.3.6. Els següents diagrames representen el procés de transferència d'energia quan una ona sonora que es propaga per l'aire arriba a un objecte material.



a) Quin dels dos diagrames representa un material reflector acústic i quin un absorbent acústic?

b) Justifica la teva resposta.

1.3.7. Com podem comprovar si un material atenua molt o poc el so?

El propietari del bar musical encara no té clars quins materials ha de fer servir per recobrir les parets del seu local i atenuar així el so que arriba als veïns. Per respondre aquest dubte, li convindria dissenyar un experiment per comprovar si certs materials o certs objectes són bons per atenuar el so. Si tu fossis el propietari del bar:

a) Com comprovaries si els materials amb els quals has de folrar les parets i el sostre són adequats per atenuar el so que emeten els altaveus del bar?

b) Com podries saber quanta atenuació s'ha aconseguit a casa dels veïns posant un determinat material?

c) A continuació, realitza un dibuix o un esquema de l'experiment que duries a terme a la classe o al laboratori per tal de comprovar si un material atenua molt el so, és a dir, si redueix molt el nivell d'intensitat del so que es transmet:



1.3.8. Realitzem l'experiment dissenyat per comprovar si un material atenua molt o poc el so

Abans de realitzar l'experiment dissenyat, tingues en compte a quina distància tens previst posar el sonòmetre. Recorda que les mesures del nivell d'intensitat sonora dependran de la distància que hi ha entre el sonòmetre i la font sonora.



PROPOSTA: PER MESURAR EL NIVELL D'INTENSITAT DEL SO INCIDENT I DEL TRANSMÈS EN LES MATEIXES CONDICIONS DE DISTÀNCIA, MESURA LA DISTÀNCIA ENTRE LA FONT SONORA I L'EXTREM DEL SONÒMETRE. ANOTA-LA I FES TOTES LES ALTRES MESURES TENINT-LA EN COMPTE. AIXÍ PODRÀS FER BONES COMPARACIONS.

d = _____ m

Recorda que també necessitaràs saber el nivell d'intensitat del so emès per la font sonora que incideix en el sonòmetre. Aquest valor et servirà de referència per saber si el so transmès a través del material o objecte s'ha atenuat molt o poc.

a) Realitza l'experiment dissenyat. Anota els valors mesurats a la taula següent:

NIVELL D'INTENSITAT DEL SO INCIDENT (dB)	NIVELL D'INTENSITAT DEL SO TRANSMÈS (dB)

b) Finalment calcula el so atenuat:

Com a resum d'aquesta primera part de la unitat didàctica, tracta de ordenar les teves idees explicant el que has après fins ara.

“Com podem aconseguir no sentir tant el so a l’exterior del bar musical?”

Propagació del so, reflexió, energia, intensitat, absorció, transmissió, atenuació, materials, absorbents acústics, reflectors acústics, aïllants acústics

Pots afegir algun altre concepte que consideris necessari per respondre a la pregunta plantejada.



INTERCANVIEU EL TEXT QUE HEU REDACTAT AMB EL QUE HA FET ALGUN ALTRE COMPANYY. AVALUEU-VOS MÚTUAMENT (AMB UN ALTRE COLOR) I TRACTEU DE MILLORAR ELS VOSTRES REDACTATS AMB L'AJUDA DELS COMPANYYS.

**UNITAT 2:
PROPIETATS I
ESTRUCTURA
INTERNA DELS
REFLECTORS I
ABSORBENTS
ACÚSTICS**

2.1

QUINES CARACTERÍSTIQUES HA DE TENIR UN MATERIAL PER SER UN REFLECTOR ACÚSTIC? I UN ABSORBENT ACÚSTIC?

El so que arriba als habitatges des del bar musical pot molestar als veïns. Alguns d'ells han pensat de quina manera es poden aïllar del soroll que els hi arriba mentre que d'altres consideren que les mesures adients les ha de prendre el propietari del local. Per aquesta raó, l'empresari va demanar una solució als tècnics de l'empresa DSR, ja que era conscient de que ell havia de fer-se càrrec de les reformes necessàries per atenuar el so que sortia del seu local. Aleshores, un dels enginyers d'aquesta empresa va proposar-li una solució constructiva que, en principi, havia d'haver

resolt el problema. Però, com recordaràs, la cosa no va funcionar perquè no es van seguir al peu de la lletra les recomanacions tècniques. Els diners que es va voler estalviar el propietari del bar, ara se'ls haurà de gastar en folrar les parets i el sostre de la discoteca utilitzant plaques fetes de diferents materials per tal de solucionar el problema. Els materials que ara s'utilitzin hauran de tenir unes característiques especials per tal que permetin atenuar el so que arriba als veïns, és a dir, per tal que redueixin el so a uns nivells d'intensitat sonora acceptables.



2.1.1. Com ja vas veure a la secció anterior, els materials reflectors i absorbents es comporten de manera diferent davant del so: uns reflecteixen el so a la superfície i els altres l'atenuen quan el so es propaga pel seu interior, absorbint part de l'energia.

a) Quines propietats consideres que han de tenir els materials reflectors acústics?

b) I els materials absorbents acústics?

2.1.2. Els alumnes d'un altre institut també han pensat quines característiques haurien de tenir els materials reflectors i absorbents acústics. Opina sobre el que diuen.

a) Escriu i justifica a la següent taula si estàs d'acord (A) o en desacord (D) amb cada una de les afirmacions dels alumnes.

RESPOSTES DELS ALUMNES	A / D	JUSTIFICACIÓ
1. "Els materials porosos o fets de fibres són bons absorbents acústics "		
2. "Els materials molt densos són bons reflectors acústics "		
3. "Els materials absorbents acústics tenen les seves partícules molt separades "		
4. "Com més gruixut és un material, millor reflector acústic és"		
5. "Els materials absorbents solen ser flexibles "		
6. "Els materials reflectors tenen superfícies molt polides, no rugoses."		
7. "Els materials tous són bons absorbents acústics "		
8. "Els materials reflectors estan formats per moltes partícules "		

b) Discuteix amb els teus companys les teves respostes, donant arguments de per què aquestes determinades propietats influeixen en el fet que un material sigui reflector o absorbent acústic.

c) Omple els quadres següents amb les característiques que heu considerat a la classe després de la posada en comú.

CARACTERÍSTIQUES DELS MATERIALS REFLECTORS

CARACTERÍSTIQUES DELS MATERIALS ABSORBENTS

2.1.3. Quins materials seran absorbents i quins reflectors acústics?

Ara que ja has discutit quines poden ser les característiques més importants dels materials absorbents i dels materials reflectors acústics, et donem unes mostres de materials per tal que les observis bé i prediguis si aquests materials seran absorbents (A) o reflectors (R) acústics.

Justifica la teva resposta.

MATERIAL	A / R	JUSTIFICACIÓ
Paper d'alumini		
Feltre		
Poliuretà		
Fusta amb fòrmica		
Llana de vidre		

2.1.4. Com podem comprovar si un material és absorbent o reflector acústic?

El propietari del bar musical ara necessita saber com identificar si un material és un bon absorbent o bé un bon reflector acústic per tal d'utilitzar un o altre material a cada espai del bar musical. Hi ha espais en els que convé amplificar la intensitat de la música, n'hi ha d'altres en els que cal sentir sons clars i nítids. En tots els casos però, cal atenuar el so que arriba als veïns. Per això, li convindria dissenyar un experiment per comprovar si certs materials són reflectors o absorbents acústics.

- a) Com comprovaries si els materials amb els quals has de folrar les parets i el sostre del bar són reflectors o absorbents acústics?

- b) A continuació, dibuixa i explica l'esquema de l'experiment que duries a terme a la classe o al laboratori per tal de comprovar si un material és:

- Un reflector acústic, és a dir, si reflecteix bona part del so que li arriba, o bé,
- Un absorbent acústic, és a dir, si absorbeix gran part de l'energia del so que li arriba.



- c) Posa en comú les propostes amb la resta de la classe per tal de decidir entre tots quin experiment portareu a terme per mesurar si un material és reflector o absorbent acústic.
- d) Un cop hagueu arribat a un consens sobre l'experiment que fareu, fes les modificacions que et calguin a l'esquema que has dibuixat abans, marcant amb diferent color el que necessites modificar del teu disseny experimental o fent un dibuix nou al costat.

2.1.5. Comprovem si determinats materials són absorbents o reflectors acústics

A l'activitat anterior heu discutit com comprovar experimentalment si un material és absorbent o reflector acústic. Et proposem un disseny experimental concret utilitzant caixes folrades amb diferents materials (observa la figura). Aquestes caixes tenen un petit forat en un lateral de manera que et permetran introduir el micròfon del sonòmetre dins de la caixa quan vulguis mesurar el nivell d'intensitat sonora dins de la mateixa.



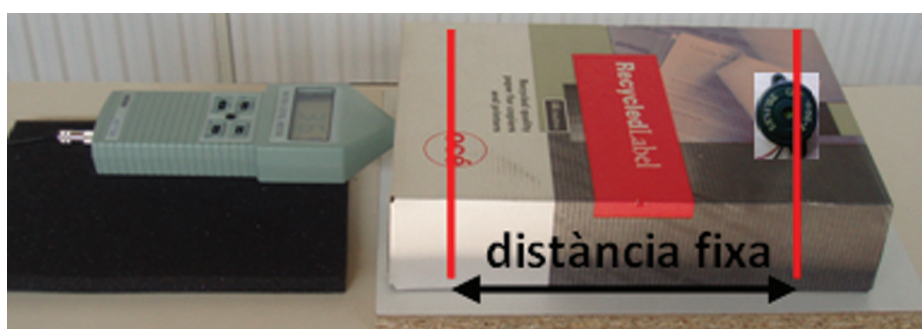
Com a font sonora, pots utilitzar un bronzidor o un mòbil que reproduïxi un so d'intensitat constant. Aquesta font s'haurà de col·locar dins d'una de les caixes i s'introduirà el micròfon del sonòmetre dins de la mateixa pel forat que té.

Realitza les mesures del nivell d'intensitat sonora dins de cada caixa per tal de discriminar si els materials amb els quals estan folrades són reflectors o absorbents acústics.

Per poder fer-ho, necessitaràs mesurar primer el **nivell d'intensitat sonora de referència** amb que hauràs de comparar la resta de mesures, per tal de saber si el so dins de la caixa s'ha atenuat, o bé, s'ha amplificat. Aquest valor de referència correspon a la mesura del nivell d'intensitat sonora dins de la caixa de cartró quan aquesta no està folrada amb cap material. A continuació, mesura el so que incideix en el sonòmetre quan aquest està a dins de cada caixa folrada amb un determinat material. A partir de la comparació de cadascun d'aquests valors amb el de referència, podràs saber si la caixa està folrada amb un material absorbent o reflector acústic.

- a) Si el nivell d'intensitat sonora mesurat dins d'una caixa folrada amb un determinat material augmenta respecte al valor de referència, de quin tipus de material estarà recoberta la caixa? I si el nivell disminueix respecte al valor de referència?

- b) Recorda que la distància influeix en la mesura del nivell d'intensitat sonora, per tant, has de mantenir-la fixa.



BRUNZIDOR DINS DE LA CAIXA

Anota la distància sonòmetre – bronzidor a la qual faràs les mesures:

d = _____ cm

Anota ara les teves mesures a les taules següents:

NIVELL D'INTENSITAT SONORA DE REFERÈNCIA (DINS DE LA CAIXA DE CARTRÓ SENSE FOLRAR)	
MATERIAL	NIVELL D'INTENSITAT SONORA DINS DE LA CAIXA (dB)
Paper d'alumini	
Feltre	
Poliuretà	
Fusta amb fòrmica	
Llana de vidre	

- c) A partir dels valors obtinguts, digues quins d'aquests materials són reflectors i quins són absorbents acústics.

REFLECTORS ACÚSTICS

ABSORBENTS ACÚSTICS

2.1.6. Quines propietats tenen els materials reflectors i els absorbents acústics?

En l'activitat experimental anterior has classificat empíricament uns quants materials segons siguin reflectors o absorbents acústics. Ara observaràs aquests materials per tal de determinar quines de les propietats que tenen els fan comportar-se com a reflectors o com a absorbents acústics.

- a) Omple la taula següent dient quines propietats (densitat, rigidesa/flexibilitat, porositat, forma de la superfície, gruix, etc.) consideres que té cadascuna de les mostres de materials amb els quals s'han folrat les caixes:

MATERIAL	PROPIETATS
Paper d'alumini	
Feltre	
Poliuretà	
Fusta amb fòrmica	
Llana de vidre	

- b) Quines propietats penses que són comunes a tots els materials reflectors acústics amb què has experimentat? Quines són comunes a tots els absorbents acústics? Posa en comú la teva resposta.

REFLECTORS ACÚSTICS

ABSORBENTS ACÚSTICS

- 
- c) De totes les propietats que acabes d'assignar als reflectors i als absorbents acústics, distingeix aquelles que són específiques o característiques dels materials (com l'alumini) i les que són generals i corresponen a objectes fets de determinats materials (com el paper d'alumini o una placa de fusta).

PROPIETATS DE MATERIALS

PROPIETATS D'OBJECTES

- d) Compara *només* les *propietats* que has considerat comunes a tots els *materials* (no propietats d'objectes) amb què has experimentat i aquelles que vas assignar als materials reflectors i absorbents acústics a l'activitat 2.1.2.

Hi ha algunes propietats de les que encara no estàs segur/a si són característiques dels materials reflectors o dels absorbents? Per què?



QUÈ HI DIU LA CIÈNCIA?

A continuació, tens la definició d'algunes de les propietats físiques de materials que has mencionat a les activitats anteriors:

DENSITAT

Recorda que la densitat és la propietat física que indica la relació entre la massa i el volum d'un determinat material. Així doncs, si comparem la densitat de dues mostres de materials diferents que tenen les mateixes dimensions, direm que un material és més dens que l'altre quan pesi més, és a dir, tingui més massa (tenint el mateix volum).

RIGIDESA / FLEXIBILITAT

Diem que un material és rígid quan costa molt de deformar-lo, és a dir, quan s'ha d'aplicar una força molt gran perquè es deformi una mica. Els materials flexibles, per contra, es deformen molt fàcilment quan se'ls aplica una mica de força. La rigidesa és doncs la resistència que oposa un material a ser deformat per l'acció d'una força aplicada.

POROSITAT

La porositat es defineix com la quantitat d'espais buits de material (però plens d'aire) en el volum total d'un material. Podem comprovar si un material és porós posant-lo en aigua. Si no absorbeix aigua, significarà que les seves cel·les estan tancades, per tant, no el considerem porós. Si és porós, lentament absorbirà aigua perquè els seus porus estan intercomunicats.

2.1.7. Treballem amb dades més acurades sobre les propietats

Saber les propietats reals d'un material és molt important per poder predir el seu comportament acústic (si és reflector o absorbent), abans de provar-ho experimentalment. A continuació, treballaràs amb una sèrie de dades obtingudes al laboratori sobre els materials que estàs estudiant per tal de comprovar si els materials reflectors i absorbents acústics tenen les propietats que tu imaginaves que tenien inicialment.

Describeix les propietats de cadascuna de les mostres de material i el comportament acústic de cada material, omplint cada columna de la taula següent: (a) a partir de la manipulació i observació directa dels materials (rígid, flexible, llis, rugós, fibrós, porós, amb cavitats, format de boletes, ...); (b) a partir de les fotografies de l'estructura interna dels materials disponibles a les fitxes tècniques i obtingudes amb una lupa binocular amb prou augments (aproximadament 40x); (c) a partir dels resultats experimentals de l'activitat anterior.

MATERIAL	DENSITAT (g/cm ³)	RÍGID / FLEXIBLE	OBSERVACIÓ DE L'ESTRUC- TURA A ULL NU	OBSERVACIÓ DE L'ESTRUC- TURA AMB LUPA (40x)	REFLECTOR / ABSORBENT
Alumini	2,70				
Feltre	0,33				
Poliuretà	0,13				
Fusta amb fòrmica	0,70				
Llana de vidre	0,02				

2.1.8. Conclusions finals

Fes servir les dades anotades a la taula anterior per extreure conclusions sobre les propietats dels materials reflectors i absorbents acústics. Omple la taula següent amb les teves conclusions sobre quines propietats físiques tenen els materials reflectors i quines tenen els absorbents acústics:

PROPIETATS	MATERIALS REFLECTORS	MATERIALS ABSORBENTS
Densitat		
Rigidesa		
Porositat		

2.1.9. Per saber-ne més

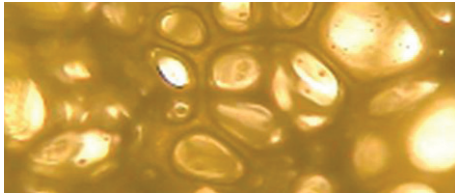
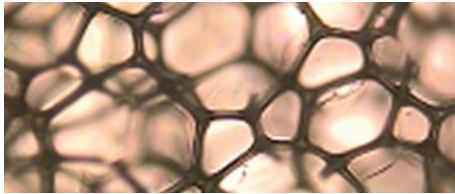
Una nit d'estiu calorosa, amb la finestra oberta, la noia del primer intenta dormir: ha d'aixecar-se aviat, però el soroll de la discoteca li fa impossible agafar el son. Mentrestant, el seu pare dorm tan feliç; no sent el soroll ja que fa temps que ha perdut l'oïda a la seva feina.



Tot i que fa molta calor, la noia tanca la finestra d'alumini amb doble vidre i estén les cortines gruixudes de cotó i polièster. El soroll se sent una mica menys però encara és insuportable, sembla que traspassi les parets de maons de l'edifici i el terra de ciment, fins i tot la moqueta de fibra.

Desesperada, es tapa amb el coixí. El soroll va disminuint la seva intensitat però a penes pot respirar. De cop se'n recorda de que la seva mare té uns taps per situacions d'emergència. Troba els taps de color groc. Semblen fets d'esponja. Seguint les instruccions de la capseta, comprimeix el tap fent una bola molt petita i se la posa dins del conducte de cada oïda. Tot i que els dos taps queden ben ajustats, encara sent un petit sorollet que sembla que li arriba de molt lluny. Finalment, la noia queda ben adormida. Està desitjant que insonoritzin la discoteca!!

En el text han aparegut tot un seguit d'objectes fets de materials diversos, que tenen propietats acústiques: ciment, teixit de cotó, parets de maons, taps protectors d'oïdes, teixit de polièster, fibra de cànem, etc. Descriu les propietats físiques d'aquests materials i prediu el seu comportament acústic.

	COM ÉS LA SEVA DENSITAT, RIGIDESA I POROSITAT?
Espuma (taps oïdes) 	
Esponja sintètica 	



	COM ÉS LA SEVA DENSITAT, RIGIDESA I POROSITAT?
Cotó (teixit) 	
Cànem (fibra) 	
Polièster (fibra) 	
Ciment 	
Argila (maons) 	
Tria un material comú tu mateix 	



Quins creus que són reflectors acústics?

Quins creus que són absorbents acústics?

2.2

COM PODEM EXPLICAR QUE LES PROPIETATS D'UN MATERIAL INFLUEIXIN EN EL SEU COMPORTAMENT ACÚSTIC?

En les activitats anteriors hem relacionat la capacitat d'**atenuació** de diferents materials amb certes propietats: **rigidesa**, **densitat** i **porositat**. El fet que els materials presentin aquestes propietats físiques concretes depèn de quina és l'estructura interna dels mateixos.

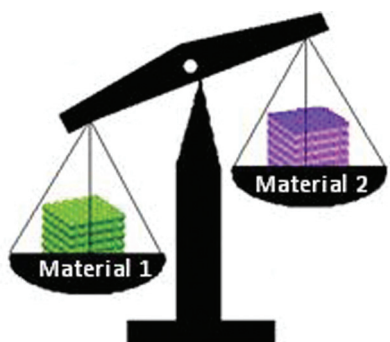
Experimentalment, has comprovat que els materials més densos, més rígids i menys porosos reflecteixen molt el so i que, en canvi, els materials més porosos, menys densos i menys rígids sobretot l'absorbeixen. La següent activitat t'ajudarà a establir un model per interpretar com les anteriors propietats dels materials afecten a la manera com aquests es comporten quan li arriba un so en funció de la seva estructura interna.

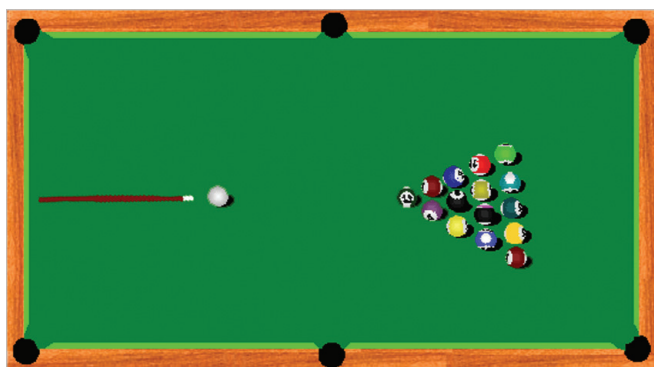
Atenuació per reflexió: Com són per dins els materials reflectors?

2.2.1. Materials molt o poc densos

Quan un material és molt **dens** (té molta massa per unitat de volum) és més resistent a moure's.

- a) A continuació tens una figura on es veu una balança amb dues mostres de material diferents, representades a partir del *model de partícules de la matèria*. Si tots dos materials ocupen el mateix volum, quin dels dos materials és més dens? Per què?

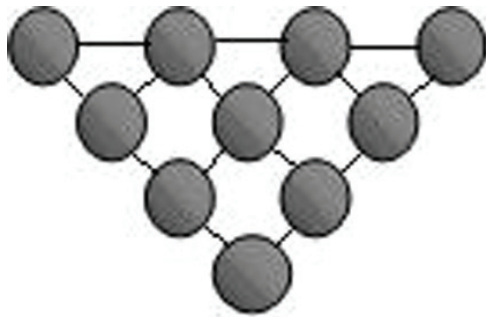




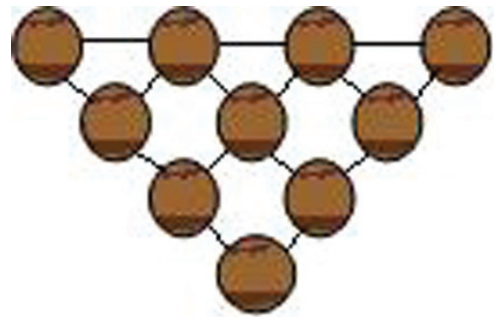
Com ja saps, les ones sonores es propaguen quan les partícules del medi vibren i transfereixen així energia d'unes partícules a les altres en cadascun dels xocs entre elles.

Per tal d'entendre com influeix la densitat en el fet que un material reflecteixi molt o poc el so, pots pensar en el què succeeix en el joc de billar. Imagina que la bola blanca representa una de les partícules d'aire que xoca amb les partícules d'un objecte material per tal de transmetre el so. Les boles de color representarien les partícules d'aquest material.

Suposa ara que fas xocar la bola blanca del billar contra dos conjunts de boles de color diferents. Un mateix conjunt està format pel mateix tipus de boles però els dos conjunts es diferencien en la massa de les boles que els formen. Aquests conjunts de boles representen dos materials diferents constituïts per partícules amb massa diferent (les partícules del material 1 tenen més massa que les que formen el material 2). Suposa que tots dos materials tenen el mateix volum i estan formats pel mateix nombre de partícules lligades entre elles.



MATERIAL 1



MATERIAL 2

b) Quin material és més dens?

c) Quin dels dos conjunts de boles costarà més de moure?

d) Si la bola blanca colpeja els dos conjunts de boles amb la mateixa força, quin d'ells farà que la bola blanca surti rebotada amb més velocitat, és a dir, quina retornarà més energia a la bola blanca?

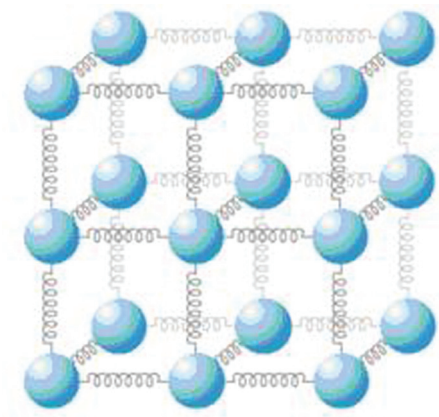
2.2.2. a) Què significa que un material sigui *més dens* a nivell d'estructura interna?

b) Explica ara com t'imagines que la densitat d'un material afecta al seu comportament acústic, és a dir, en el fet que el material sigui més o menys reflector acústic, fent servir el *model de partícules de la matèria*.

2.2.3. Materials molt o poc rígids

Els materials **rígids** costen molt de deformar.

Per poder entendre com influeix la rigidesa d'un material en el fet que aquest reflecteixi molt o poc el so, et proposem el següent **model de boles i molles**. Aquest model representa un objecte sòlid com una xarxa de partícules (boles) unides entre elles mitjançant algun tipus d'enllaç (molles). Segons com siguin aquestes enllaços, la unió entre les partícules serà més o menys forta i, per tant, costarà més o menys deformar l'objecte.



MODEL DE BOLES I MOLLES D'UN SÒLID

Per tal d'entendre com influeix la rigidesa d'un material en el seu comportament acústic, tornem a l'exemple del joc del billar. Imagina ara que totes les boles de color estan unides mitjançant molles, tal com representa la figura següent.



MATERIAL 1



MATERIAL 2

- 
- a) Si les molles representades en el material 2 són més gruixudes que en el material 1, quin dels dos materials creus que serà més rígid?

- b) Si suposem que la bola blanca colpeja una de les boles de color sempre amb la mateixa força, contra quin tipus de material creus que la bola blanca sortirà rebotada amb més velocitat i, per tant, amb més energia?

Per què?

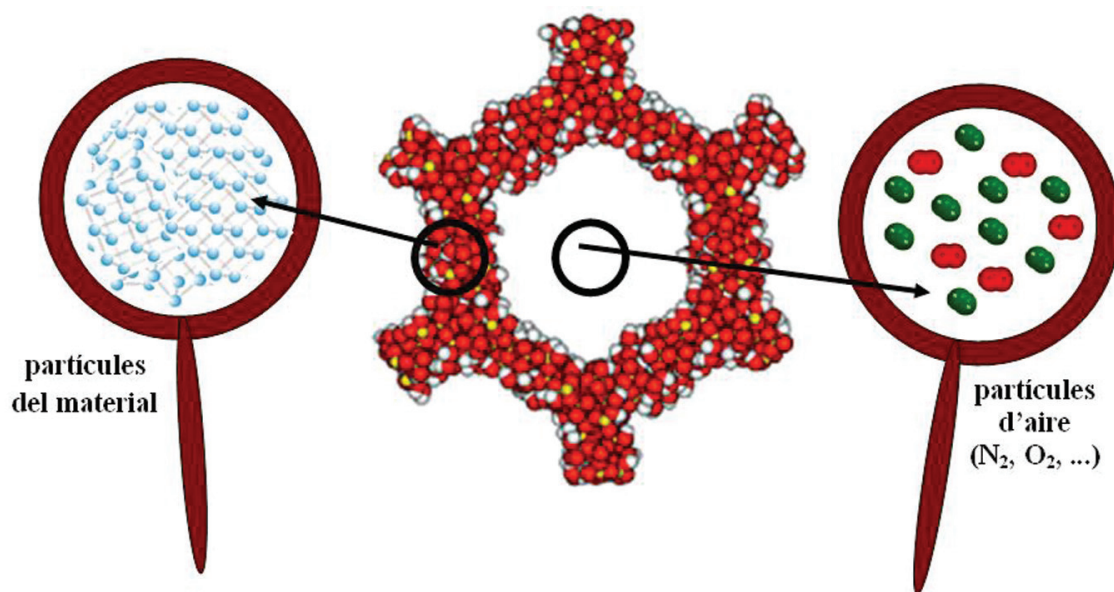
- 2.2.4.** a) Què significa que un material sigui *més rígid* a nivell d'estructura interna?

- b) Explica ara com t'imagines que la rigidesa d'un material afecta al seu comportament acústic, és a dir, en el fet que el material sigui més o menys reflector acústic, fent servir el *model de partícules de la matèria*.

Atenuació per absorció: com són per dins els materials absorbents?

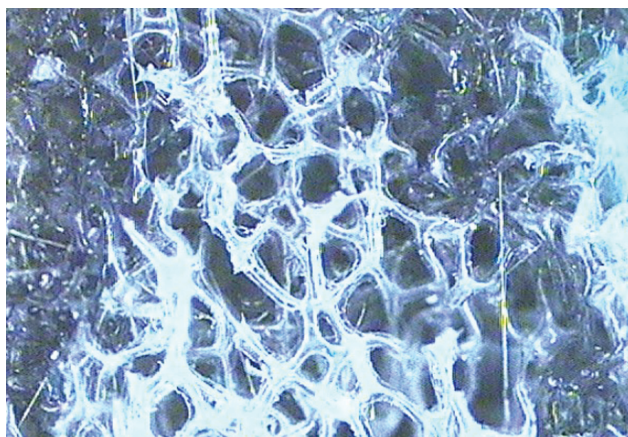
Materials molt o poc porosos

Un material porós té una estructura sòlida (esquelet o fibres), generalment dens i rígida, amb molts forats o espais en els que hi ha partícules d'aire, anomenats porus, que estan intercomunicats entre sí i són oberts. La següent imatge mostra la representació d'un porus d'un material porós. La part rígida està formada per partícules unides com en un sòlid qualsevol i els porus són espais plens de partícules d'aire.

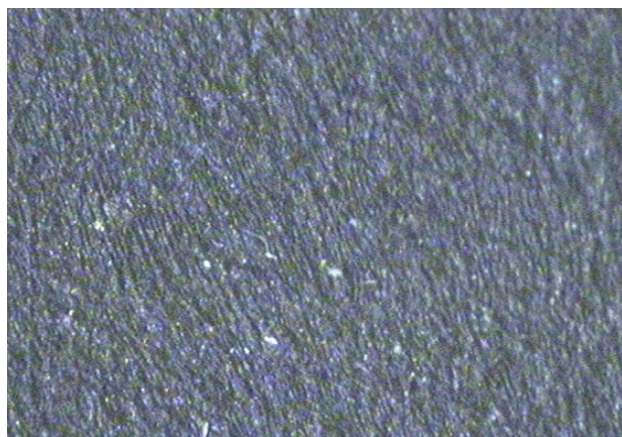


MODEL D'UN PORUS D'UN MATERIAL PORÓS

A continuació, pots observar dues imatges de dos materials diferents capturades amb una lupa binocular digital. Com pots apreciar a les fotografies, un material és molt porós mentre l'altre no és gens porós.



MATERIAL 1



MATERIAL 2

Recorda que el so es propaga quan les partícules d'un medi vibren i xoquen unes amb les altres propagant aquesta vibració. Quan el so es propaga per un material porós, ho fa tant a través de les partícules d'aire que hi ha dins dels porus, com a través de les partícules del material sòlid.

2.2.5. Com podries explicar el fet que la porositat d'un material contribueixi a que aquest es comporti com un bon absorbent acústic?



QUÈ HI DIU LA CIÈNCIA?

Com has pogut veure anteriorment, per a què un material sigui un bon absorbent acústic, ha de ser:

Poc dens. Al ser poc dens, les partícules són més fàcils de moure. Això fa que gran part de l'energia del so es transmeti al material i poca es reflecteixi. A més, quan el so es propaga pel material es dissipa part de l'energia en fer vibrar les partícules del material. Per tant, com més vibrin les partícules, més energia del so es dissipa.

Poc rígid. Al ser poc rígid, el material es deforma més fàcilment i, per tant, gran part de l'energia del so es transmet al material. De nou, com més vibren les partícules del material, més energia del so es dissipa en fer vibrar aquestes partícules.

Porós. En un material porós, el so es propaga tant pel sòlid com per l'aire que omple els seus porus. Quan les ones sonores propagant-se per l'aire arriben a un material porós, gran part de la seva energia és transferida al material ja que les ones poden continuar propagant-se per l'aire de dins dels porus (oberts) del material que estan comunicats amb l'exterior, sense ser reflectides. La part del so que es propaga per la part sòlida del material, és en part reflectida i en part és transmesa pel material. Com que el so que es propaga per dins del material troba molts canvis de medi (de la part sòlida a l'aire i a l'inrevés), novament en part es reflecteix i en part es continua propagant, cada vegada amb menys energia. A més, quan vibren les partícules de l'aire de dins dels porus per transmetre el so, aquestes freqüen i xoquen amb les partícules de la part sòlida del material, fent que part de l'energia del so es dissipï, escalfant el material una mica. Diem que part de l'energia s'ha absorbit dins del material.

2.2.6. En el quadre anterior es proposa una explicació científica sobre com la densitat, la rigidesa i la porositat dels materials intervenen en el fet que aquests es comportin com a bons absorbents acústics. Explica ara com s'atenua el so en els materials reflectors acústics i com les seves propietats físiques els fan comportar-se com a tals (reflectors).

2.2.7. Interpreta els resultats experimentals en funció de les propietats físiques i de l'estructura interna dels materials

Comenta les frases següents fent ús del model de material reflector i absorbent acústic en termes de la seva estructura interna i de les seves propietats físiques.

a) Els materials porosos com la llana de vidre són bons absorbents acústics

b) Els materials densos i rígids com la fusta amb Fòrmica es comporten com bons reflectors acústics

**UNITAT 3:
CONDICIONAMENT
ACÚSTIC I
INSONORITZACIÓ**

En les activitats prèvies has après que hi ha dos tipus de materials que serveixen per atenuar el so: els materials reflectors i els materials absorbents. A més, has estudiat quines propietats físiques i quina estructura interna té cada tipus de material.

Al mercat es poden adquirir molts d'aquests materials i s'utilitzen tant per **insonoritzar** com per **condicionar acústicament** un determinat recinte (p. ex., un estudi musical, una habitació, etc.).



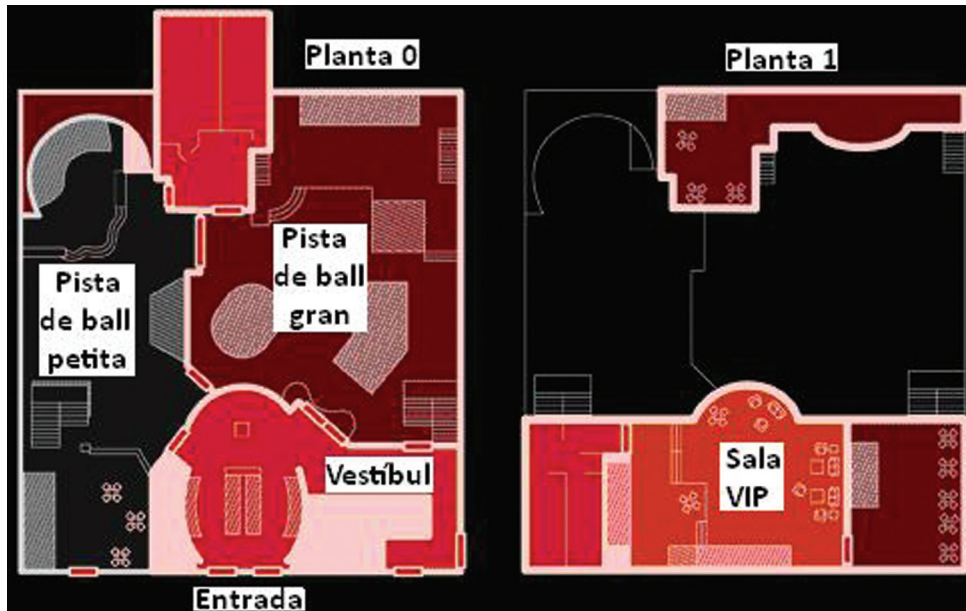
QUÈ HI DIU LA CIÈNCIA?

Insonoritzar un recinte suposa aïllar-lo acústicament de l'exterior, és a dir, impedir que un so penetri en un recinte, o que surti d'ell, evitant així la contaminació acústica. La insonorització (també anomenada **aïllament acústic**) es refereix per tant al conjunt de tècniques desenvolupades per aïllar un determinat espai, és a dir, per atenuar el nivell d'intensitat del so que hi entra o en surt. Per això, per aïllar s'utilitzen tant materials absorbents, com materials reflectors, o bé, combinacions d'ambdós tipus de materials. Per això, es parla de forma general de materials aïllants acústics.

En canvi, el **condicionament acústic** pretén millorar la pròpia acústica d'un recinte, és a dir, la qualitat del so dins del mateix. Per això, és necessari controlar aspectes com el nombre de reflexions del so o el temps de reverberació. Tot i que no sempre s'aconsegueix una acústica ideal, els arquitectes intenten aconseguir unes condicions acústiques òptimes utilitzant certes tècniques que aprofiten les propietats d'absorció o de reflexió dels materials de construcció escollits pel recinte. De fet, coses que poden no semblar gaire importants, com col·locar o no una moqueta o una cortina, són crucials i poden canviar les condicions acústiques d'un recinte. Un condicionament acústic adequat implica controlar les reflexions de les ones per tal d'evitar reverberacions indesitjades o ecos que puguin dificultar la intel·ligibilitat d'una conversa. Per això, s'utilitzen sobretot els materials absorbents.

Projecte de disseny: Quin material absorbent seria el més adequat per insonoritzar el bar musical?

L'empresa DSR proposa estudiar com insonoritzar el bar musical. Ara et toca a tu plantejar la solució!



L'objectiu d'aquest projecte és determinar quin material és millor absorbent acústic, d'entre un conjunt de materials disponibles en botigues especialitzades. Caldrà, doncs, que siguis capaç de predir si un material serà o no un bon absorbent acústic analitzant les seves propietats físiques i, també hauràs de determinar empíricament si ho és o no. A més, hauràs de tenir en compte altres criteris per decidir quin material és el més adequat per insonoritzar el bar musical. D'aquesta manera, podràs arribar a una conclusió fonamentada sobre quin és el millor material absorbent acústic.

 FELTRE	 FELTRE AMB GOMA	 SURO	 LLANA DE ROCA
 POREXPAN	 ESPUMA	 POLIURETÀ	 LLANA DE VIDRE

61



b) Resultats experimentals

Anota els resultats del teu experiment a una taula.

c) Conclusions

Quin material has comprovat que és el millor absorbent acústic? Justifica la teva resposta.

d) Compara la teva predicció amb els resultats experimentals.

3.1.4. Tingues en compte altres criteris a l'hora de decidir si utilitzaries al bar musical el material que experimentalment ha resultat ser el millor absorbent acústic. Cerca a Internet informació sobre aquests materials, si cal. Pensa en els següents aspectes:

Les qualitats estètiques: El material absorbent acústic sol estar a la vista dels clients o es sol col·locar entre plaques de material de construcció?

El cost: El material escollit és el més barat? Com d'important és el cost d'un material a l'hora de decidir quin material escollir per insonoritzar el bar musical?

**MATERIALS
SCIENCE PROJECT**

UNIVERSITY-SCHOOL PARTNERSHIPS
FOR THE DESIGN AND IMPLEMENTATION
OF RESEARCH-BASED ICT-ENHANCED
MODULES ON MATERIAL PROPERTIES

ISBN 978-9963-689-34-7
2009

