



Apunts

Apunts d'accessibilitat: Comunicació auditiva

Daniel Guasch Murillo

Assignatures: Sostenibilitat i accessibilitat, Accessibilitat aplicada, Disseny inclusiu i disseny centrat en l'usuari

Titulacions: GRAU EN ENGINYERIA DE DISSENY INDUSTRIAL I DESENVOLUPAMENT DEL PRODUCTE (Pla 2009), GRAU EN ENGINYERIA ELÈCTRICA (Pla 2009), GRAU EN ENGINYERIA ELECTRÒNICA INDUSTRIAL I AUTOMÀTICA (Pla 2009), GRAU EN ENGINYERIA MECÀNICA (Pla 2009), GRAU EN ENGINYERIA INFORMÀTICA (Pla 2018)

Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú (EPSEVG)

Idioma: Català

02/11/2020

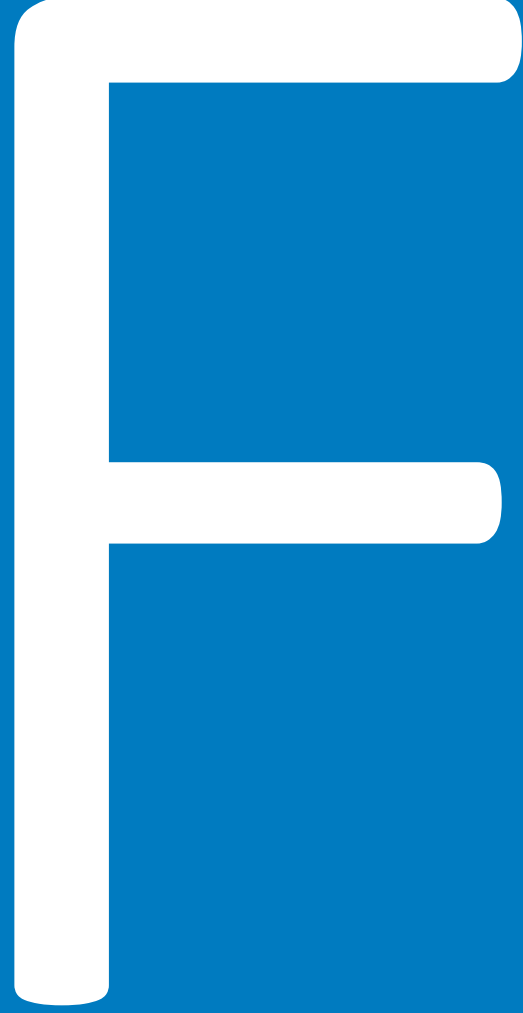
Comunicació auditiva



Càtedra d'Accessibilitat de la UPC
Arquitectura, disseny i tecnologia per a tothom

Dr. Daniel Guasch Murillo

Novembre de 2020

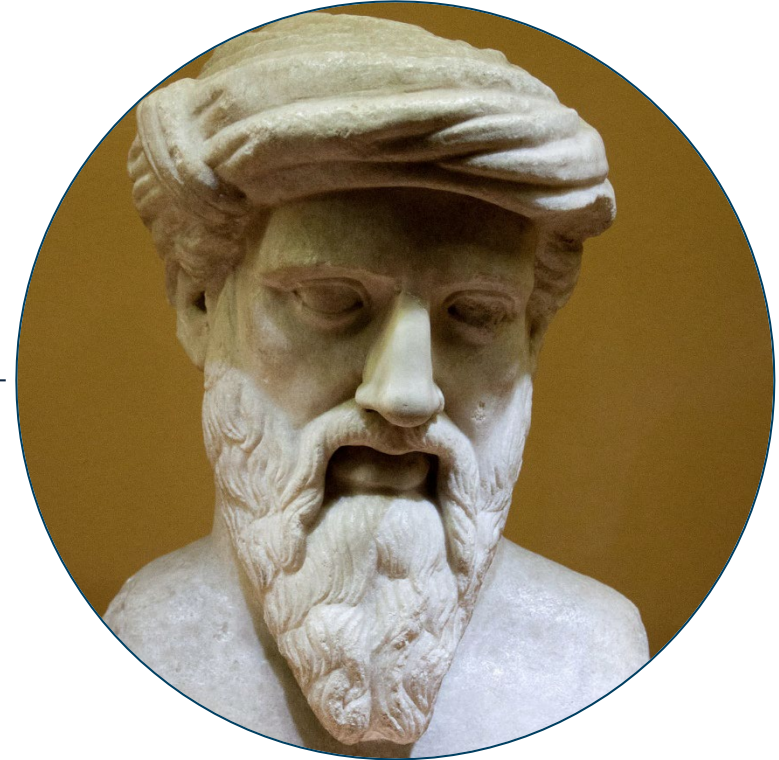


Fonaments

Fonaments

Pitàgores

De la música a les
matemàtiques



Fonaments

Pitàgores estableix que hi ha una relació entre la longitud i la tensió d'una corda amb el to sonor que produeix.

Per tant es pot establir la relació entre els tons sonors i es poden utilitzar les matemàtiques per descriure els sons



Monocordi

Escala Natural o diatònica (heptatònica)

Nota	$L:L_{Do}$	f/f_{Do}
Do	1:1	1;1 (1)
Re	8:9	9:8 (1,125)
Mi	4:5	5:4 (1,25)
Fa	3:4	4:3 (1,333)
Sol	2:3	3:2 (1,5)
La	16:27	27:16 (1,687)
Si	128:243	243:128 (1,898)
Do	1:2	2:1 (2)

Fonaments

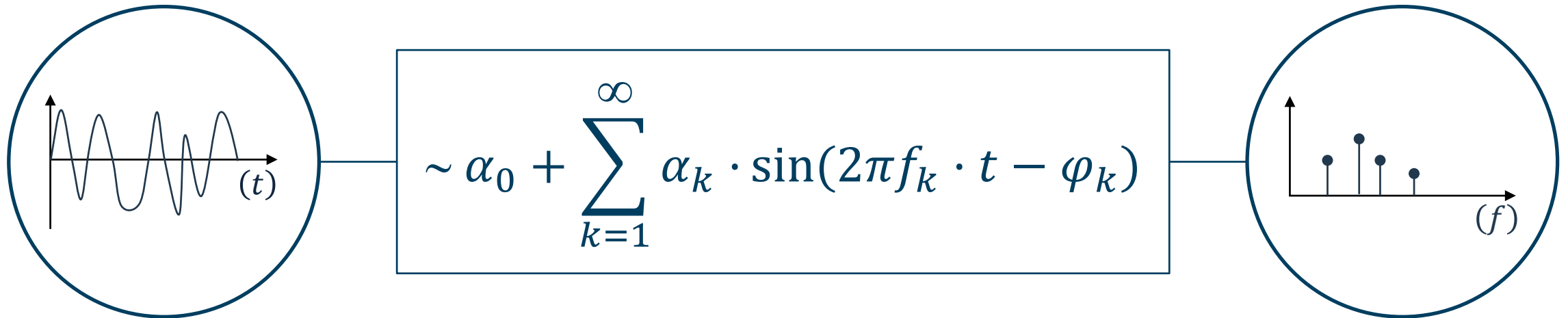
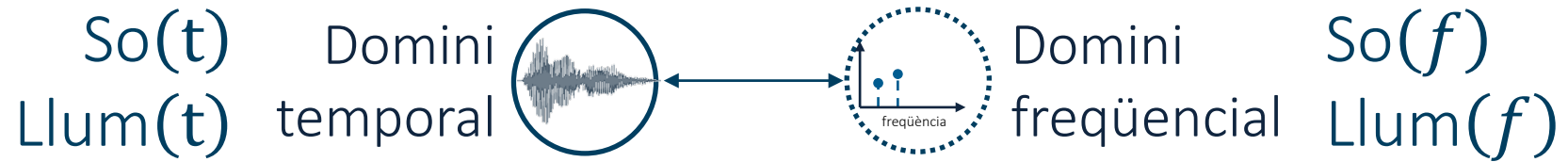
Jean-Baptiste Joseph Fourier

Sèrie i transformada de Fourier



Fonaments

Formulació matemàtica (t, f)



t és el temps

f és la freqüència

α és la intensitat

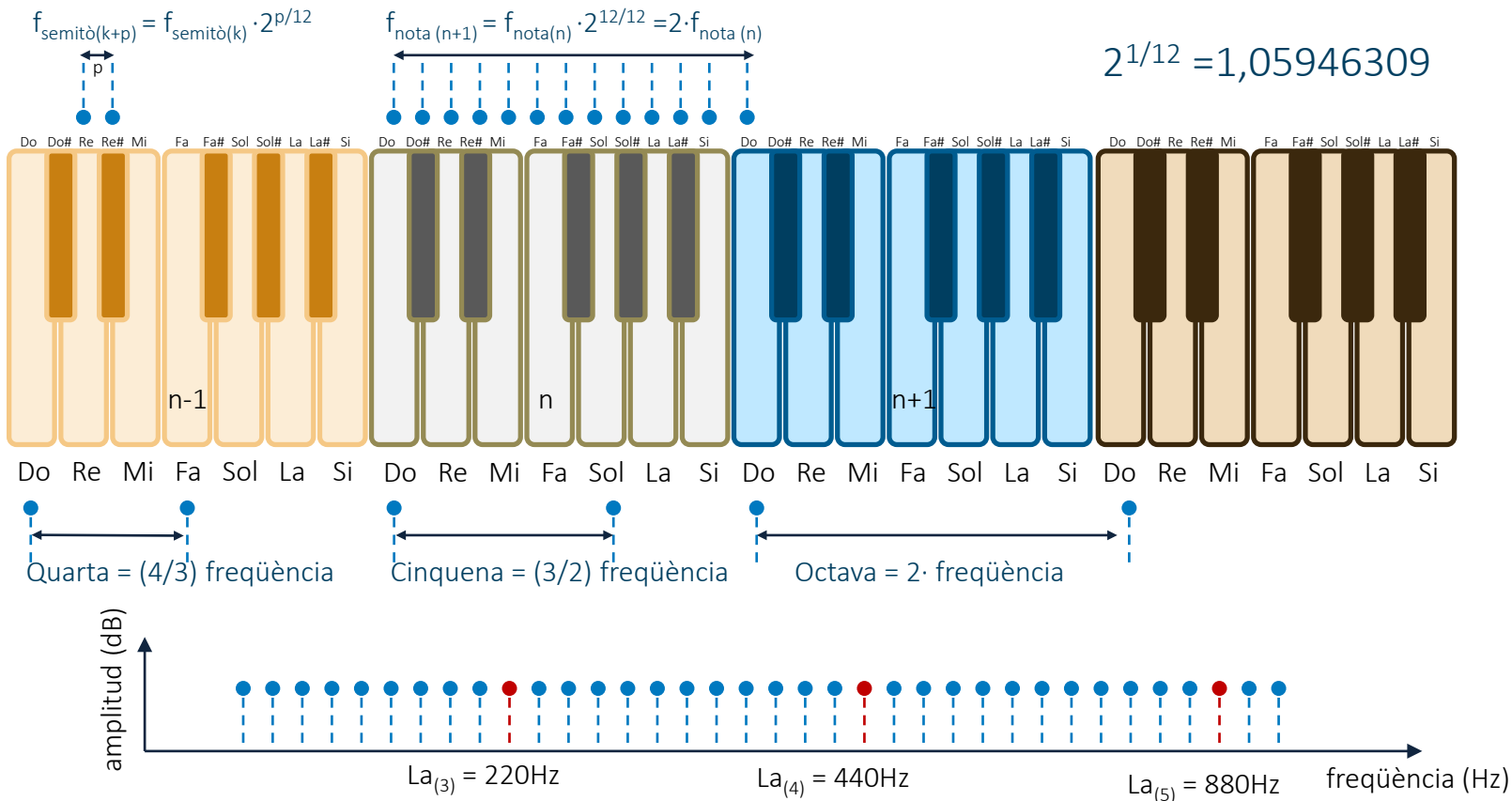
φ és la fase

k és cada harmònic

Fonaments

Un so complex es pot descriure com un conjunt de sons simples.

L'ésser humà pot sentir, aproximadament, fins a 10 escales (20 Hz, 20.000 Hz)

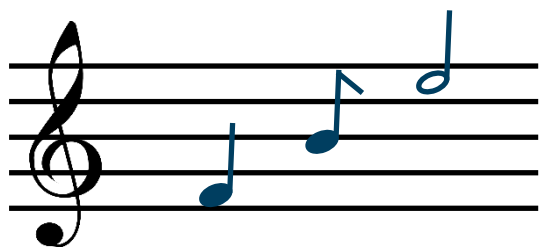


Escala cromàtica (dodecatònica)

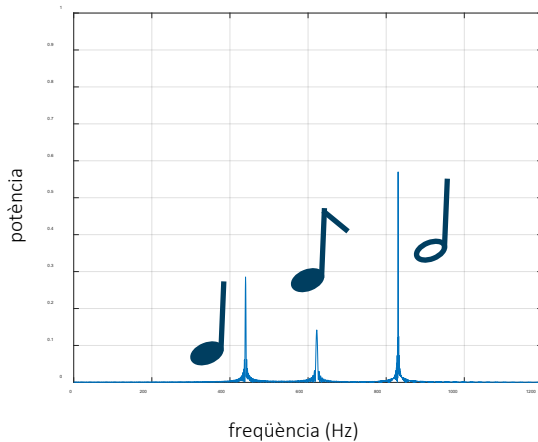
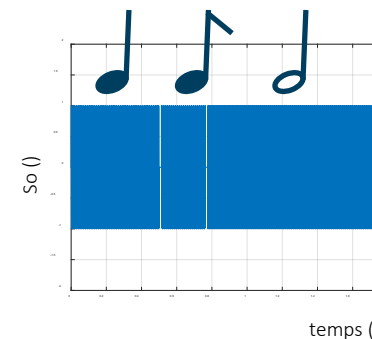
Nota	f/f_{Do}
Do	1
Do#	1,059463094
Re	1,122462048
Re#	1,189207115
Mi	1,25992105
Fa	1,334839854
Fa#	1,414213562
Sol	1,498307077
Sol#	1,587401052
La	1,681792831
La#	1,781797436
Si	1,887748625
Do	2

Fonaments

Exemple primeres notes B.S.O Star Trek



Do Re Mi Fa Sol La Si Do Re Mi Fa Sol La Si



Relació proporcional entre l'amplitud de to i la durada de la nota musical.

$$t_o = 2 \cdot t_j = 4 \cdot t_j = 8 \cdot t_j = 16 \cdot t_j \rightarrow A_o = 2 \cdot A_j = 4 \cdot A_j = 8 \cdot A_j = 16 \cdot A_j$$

Relació proporcional entre la freqüència del to i la nota musical.

$$f_{\text{semitò}(k+p)} = f_{\text{semitò}(k)} \cdot 2^{p/12}$$



Acústica

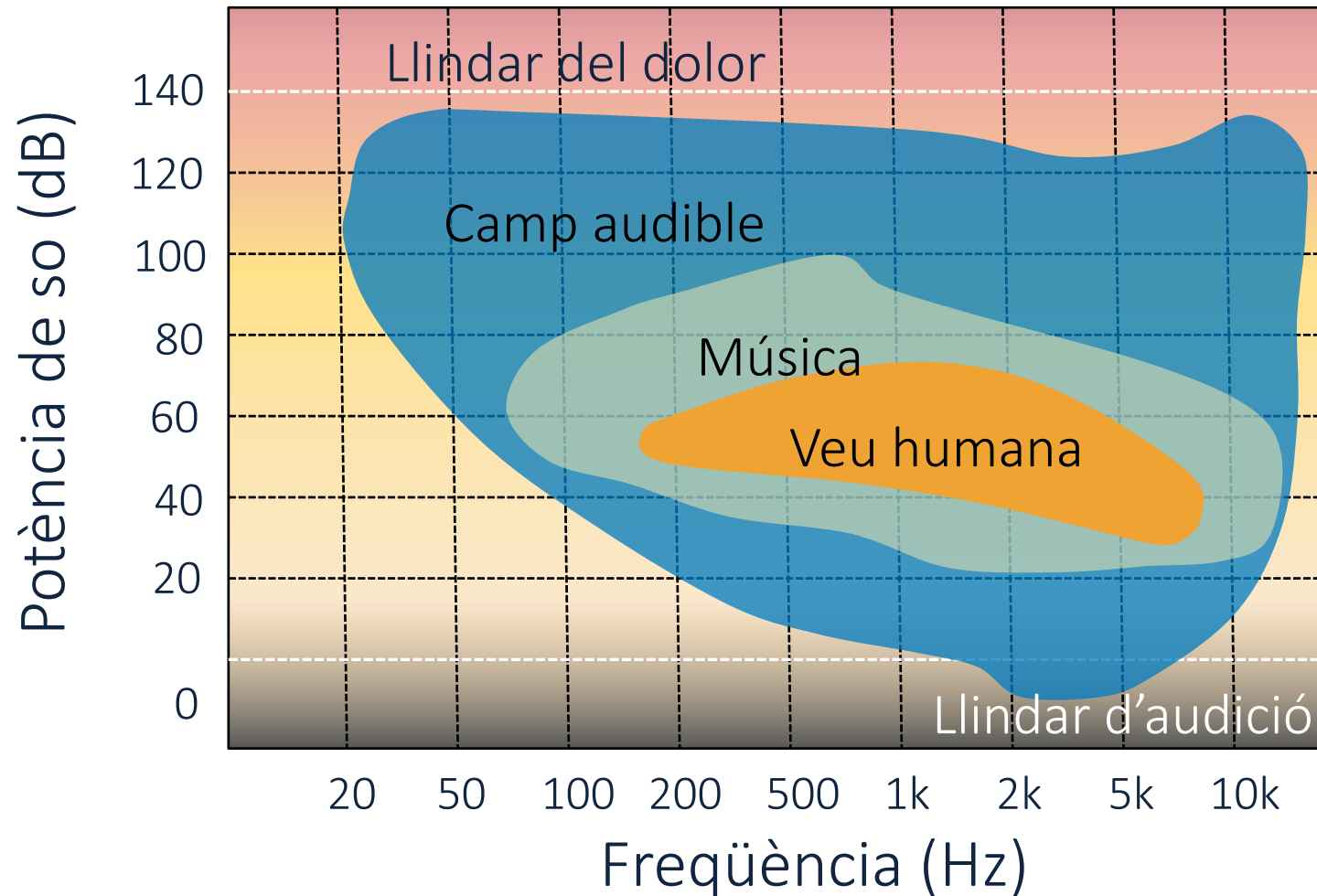
Acústica

Decibel

- En acústica es refereix a una mesura de pressió sonora relativa entre dos sons.
- Escala logarítmica = $10 \cdot \log(x_2/x_1)$
- És adimensional
- La potència de so de referencia, x_1 , és el mínim so que l'oïda d'un humà percep, 0dB.

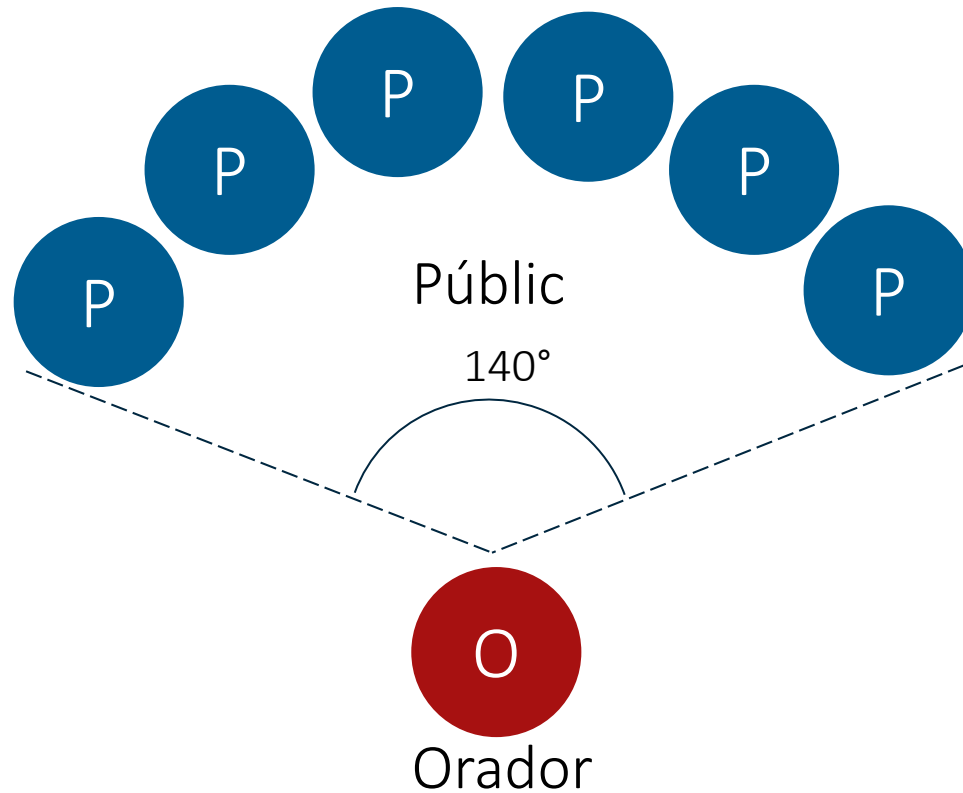
Acústica

Valors de referència de la potència del so



Acústica

Distribució ideal per a garantir el recorregut del so



- Camí directe
- Distància mínima
- Sense obstacles

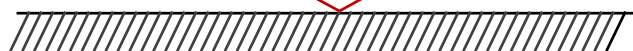
Acústica

Fenòmens acústics

so directe



so reflectit



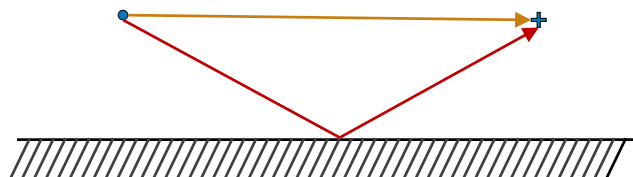
efecte Doppler



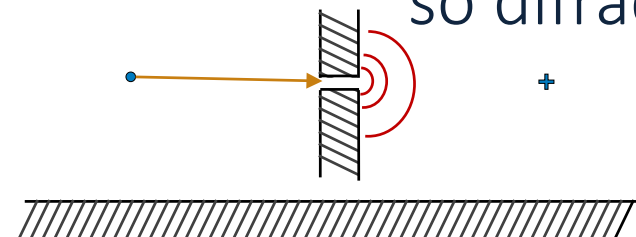
so absorbit



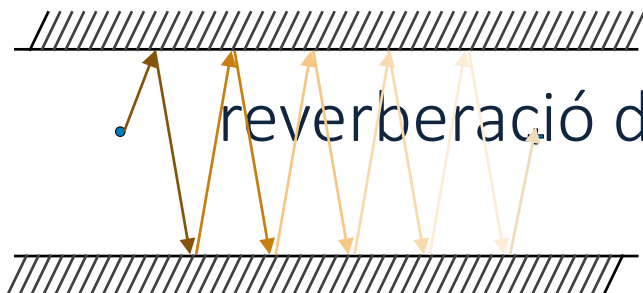
eco



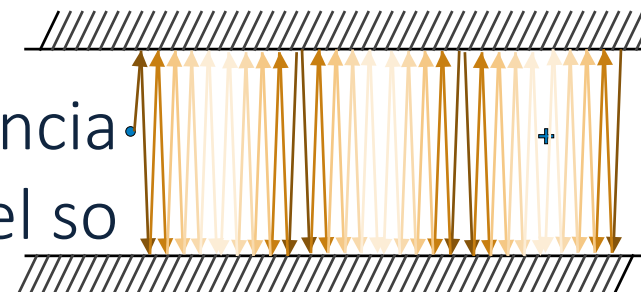
so difractat



reverberació del so

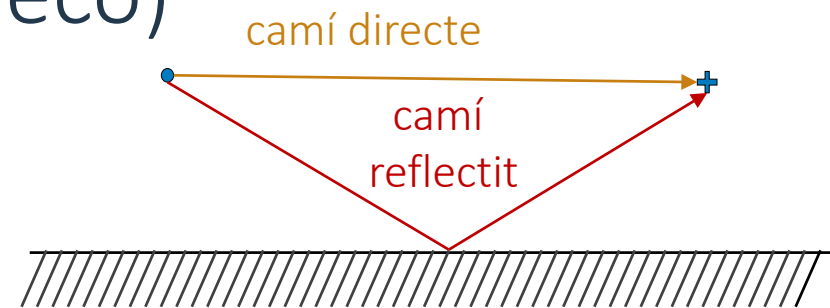
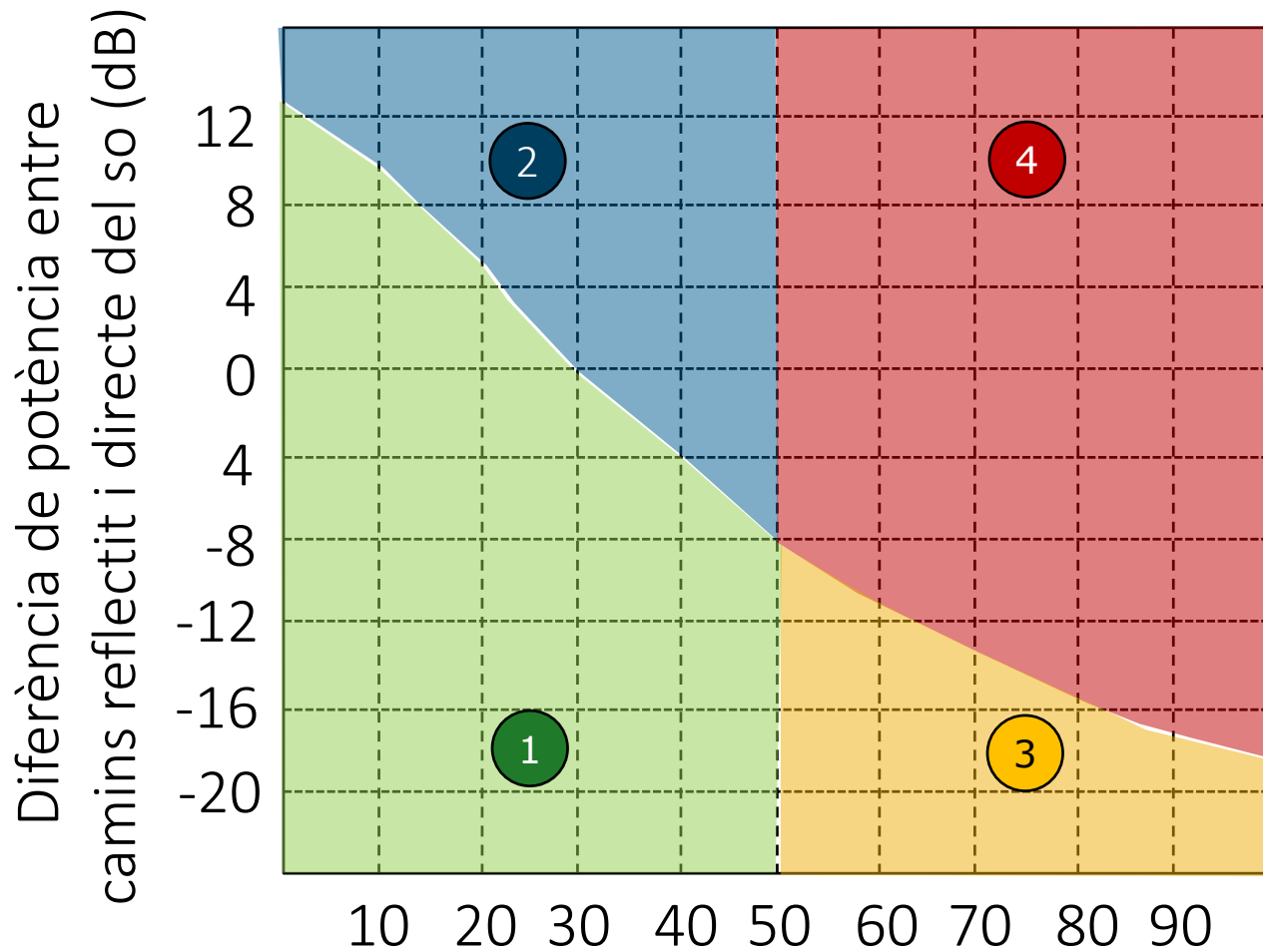


ressonància del so



Acústica

Reflexió del so (eco)



- 1 L'oida integra la reflexió.
- 2 Sensació de desplaçament de la font.
- 3 Sensació d'eco, però no es perd informació.
- 4 Es percep l'eco i es perd informació.

Retard temporal entre els camins directe i reflectit del so (ms)

Acústica

El temps de reverberació

Temps que triga un so en desaparèixer i fondre's entre els sons ambientals dins d'un espai tancat.

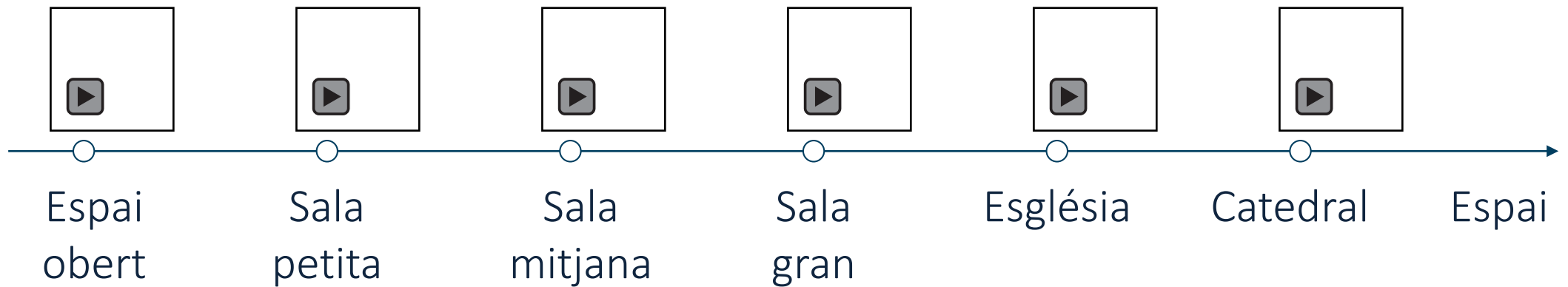
Temps de reverberació recomanats	
Tipus d'espai	Temps de reverberació
Sales petites (menys de 50 persones)	$T_{mf} < 0,8s$
Sales grans (més de 50 persones)	$T_{mf} < 1,0s$
Sales accessibles	$T_{mf} < 0,4s$
Taller / Laboratori	$T_{mf} < 0,8s$
Espais de circulació	$T_{mf} < 1,5s$
Menjador	$T_{mf} < 1,0s$

Nota: T_{mf} es refereix a la freqüència mitja del temps de reverberació mesurat en segons en sales buides i sense mobiliari.

Acústica

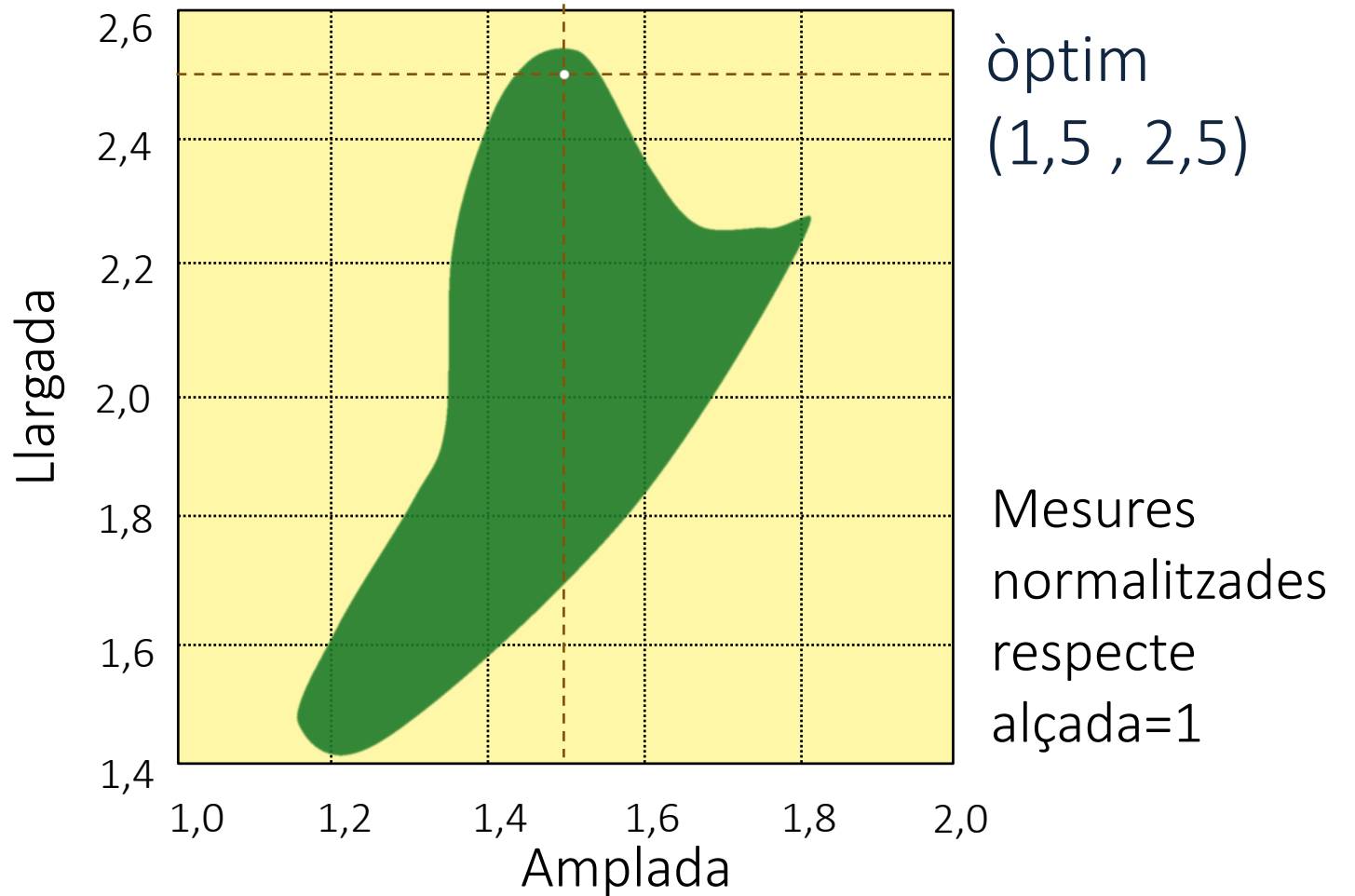
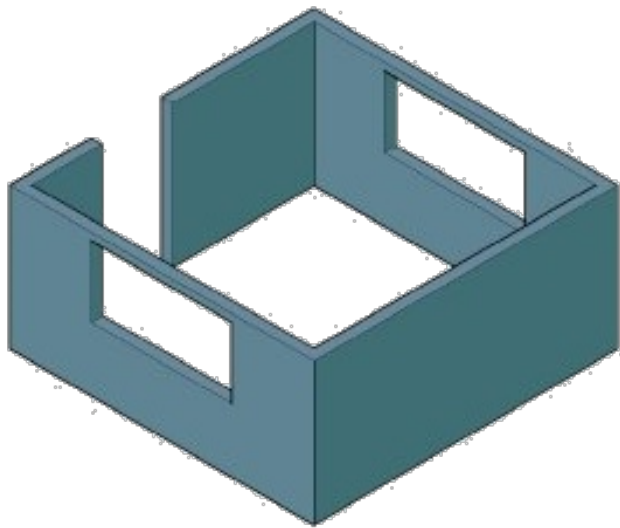
Exemples de l'efecte acústic del temps de reverberació

Tema "Irreal"
Temps de reverberació variable



Acústica

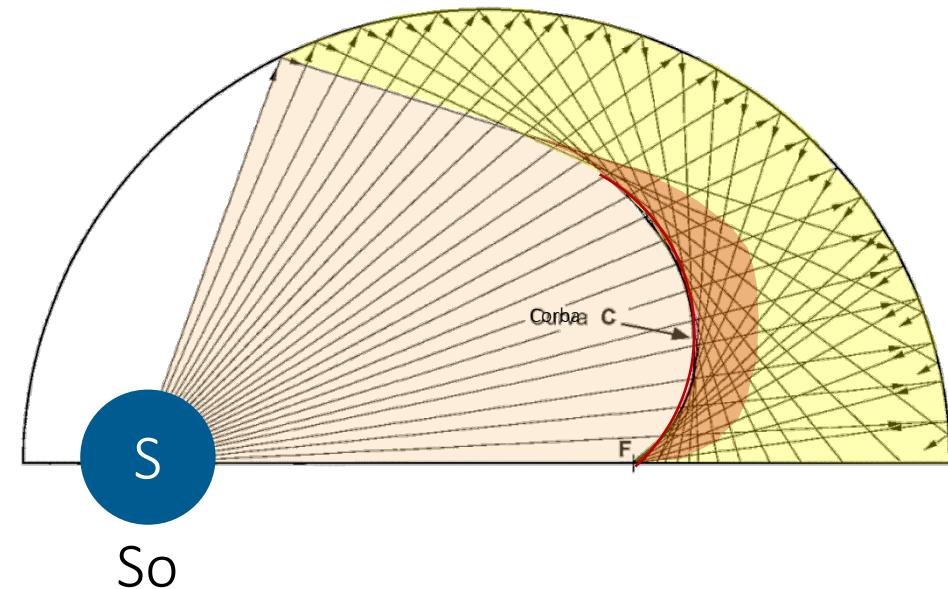
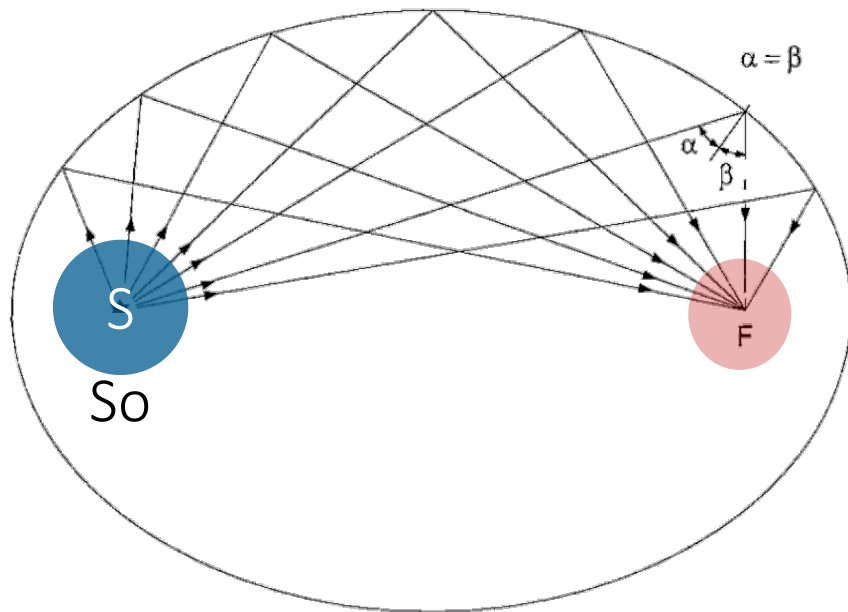
Modes propis d'una sala (ones estacionàries)



Acústica

Focalització del so

Degut a les reflexions i la geometria de la sala apareixen punts crítics no desitjats.



Acústica

So - Soroll

FF

Aplicació del concepte figura - fons

- El so m'aporta informació (figura)
- El soroll no m'aporta res (fons).

NS

Efectes negatius del soroll

- Emmascara el so (percepció).
- Implica un sobreesforç (cognició).

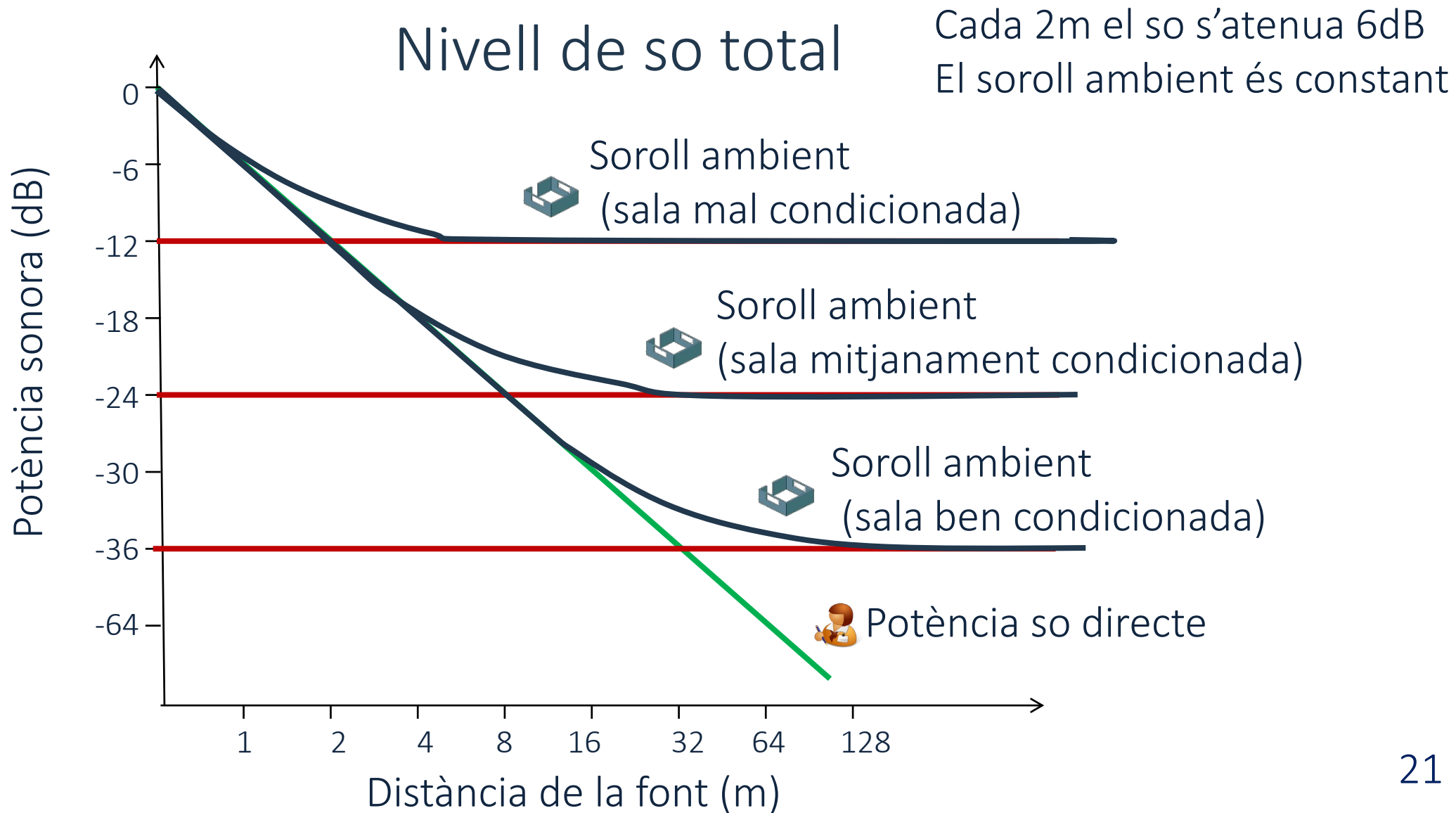
Acústica

Nivell de soroll ambiental

Valors màxims de nivell de soroll ambiental admesos segons l'ús:

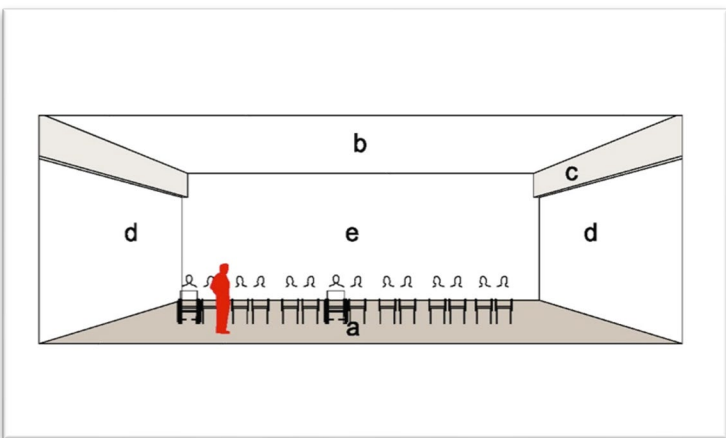
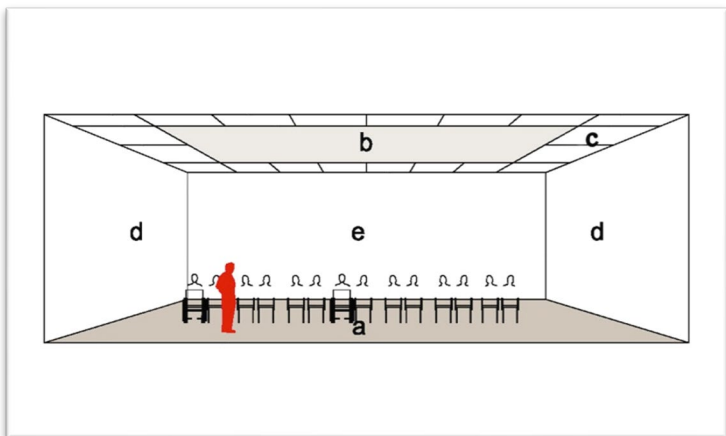
Tipus d'espai	dB màx.	Característiques
Sala petita	35dB	Activitat de soroll mitja i tolerància al soroll de caràcter lleu i molt lleu
Sala gran	30dB	Activitat de soroll mitja i tolerància al soroll de caràcter lleu i molt lleu
Sala accessible	30dB	Activitat de soroll mitja y tolerància al soroll de caràcter molt lleu
Taller/Laboratori	40dB	Activitat de soroll mitja y tolerància al soroll de caràcter mitja
Espais de circulació	45db	Activitat de soroll mitja y tolerància al soroll de caràcter mitja
Menjador	45db	Activitat de soroll elevada y tolerància al soroll de caràcter elevat

Acústica



Acústica

Tipus i distribució del material acústic

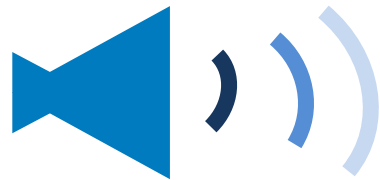


Lletra	Superfície	Qualitat del material	Exemple de material
a	Terra	Material absorbent	Suro, moqueta, etc.
b	Sostre-zona central	Material reflectant	Cartró—guix, formigó, etc.
c	Sostre-zona perimetral	Material absorbent o difusor	Llana de roca, fibra de vidre, etc.
d	Parets laterals	Material reflectant	Cartró—guix, formigó, vidre, etc.
e	Parets posteriors	Material absorbent o difusor	Llana de roca, fibra de vidre, etc.

Acústica

Ús de sistemes electrònics de reforç del so

Altaveus



Bucle magnètic



Emissores FM

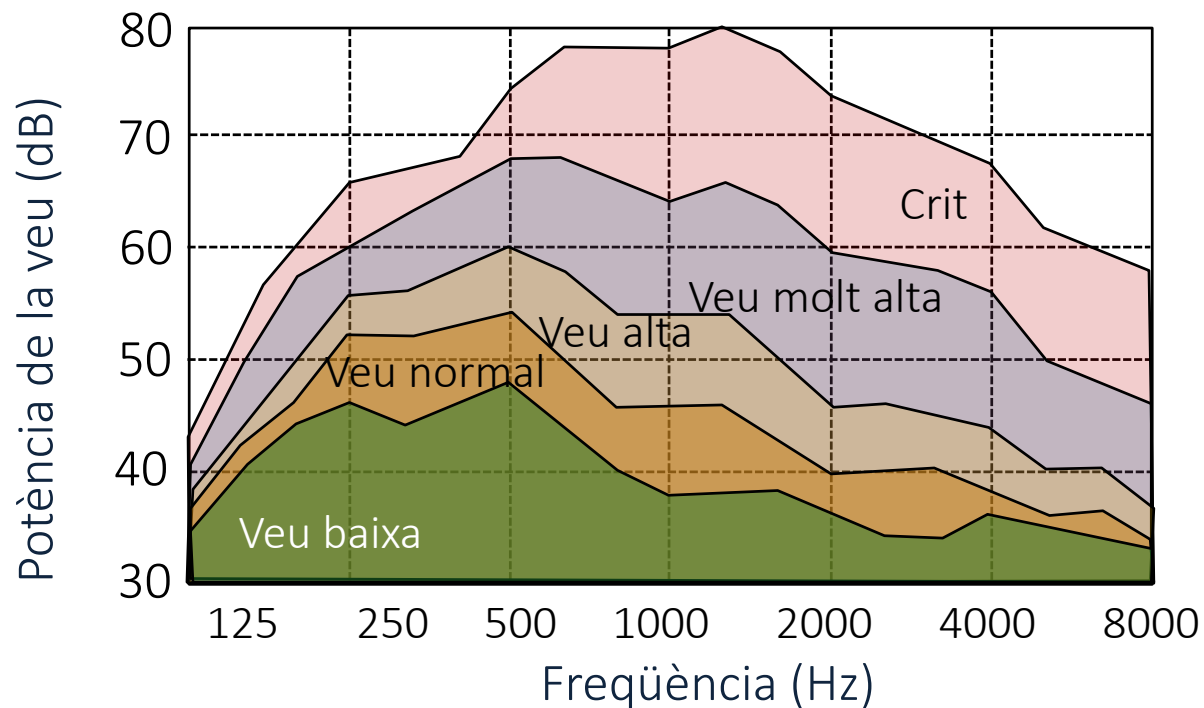


P

Parla

La parla

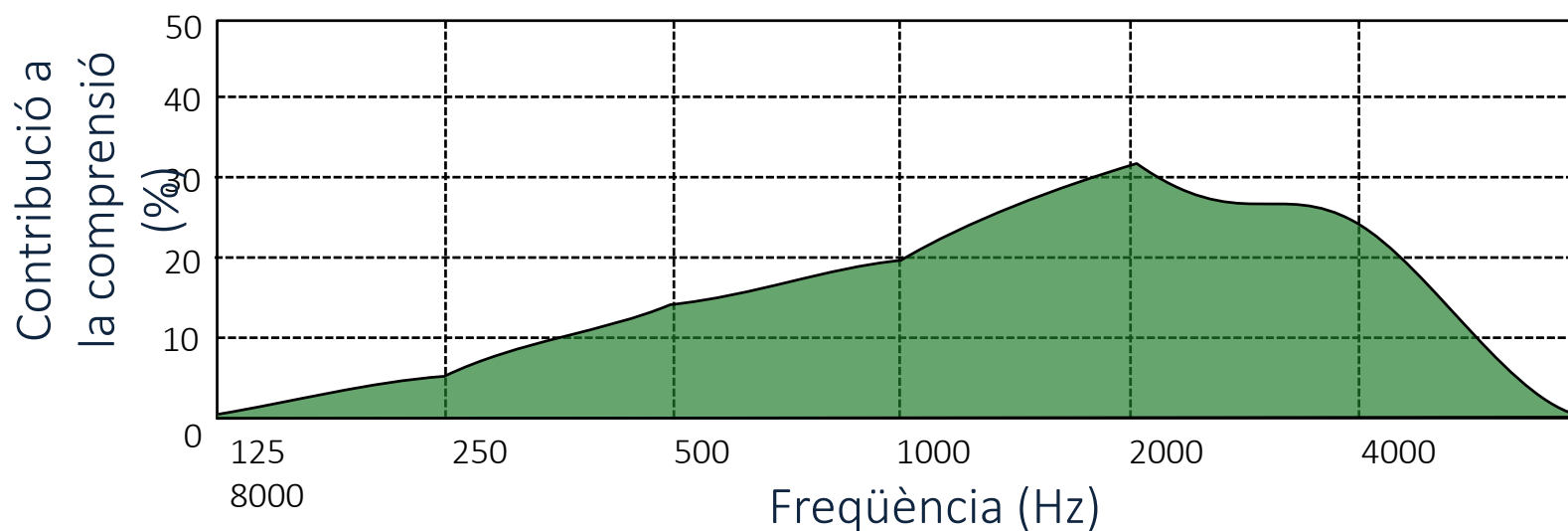
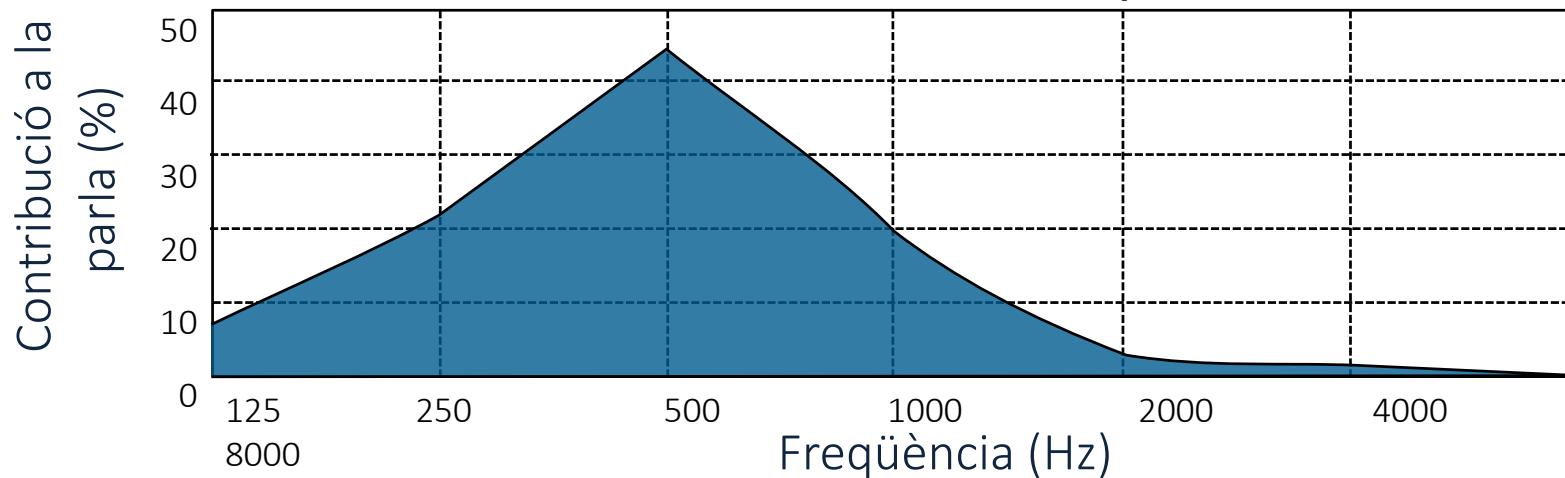
Característiques de la parla



Sons	Durada	Freqüències	Potència	Informació
Vocals	≈90ms	Baixes	Pc+12dB	Poca
Consonants	≈20ms	Altes	Pc	Molta

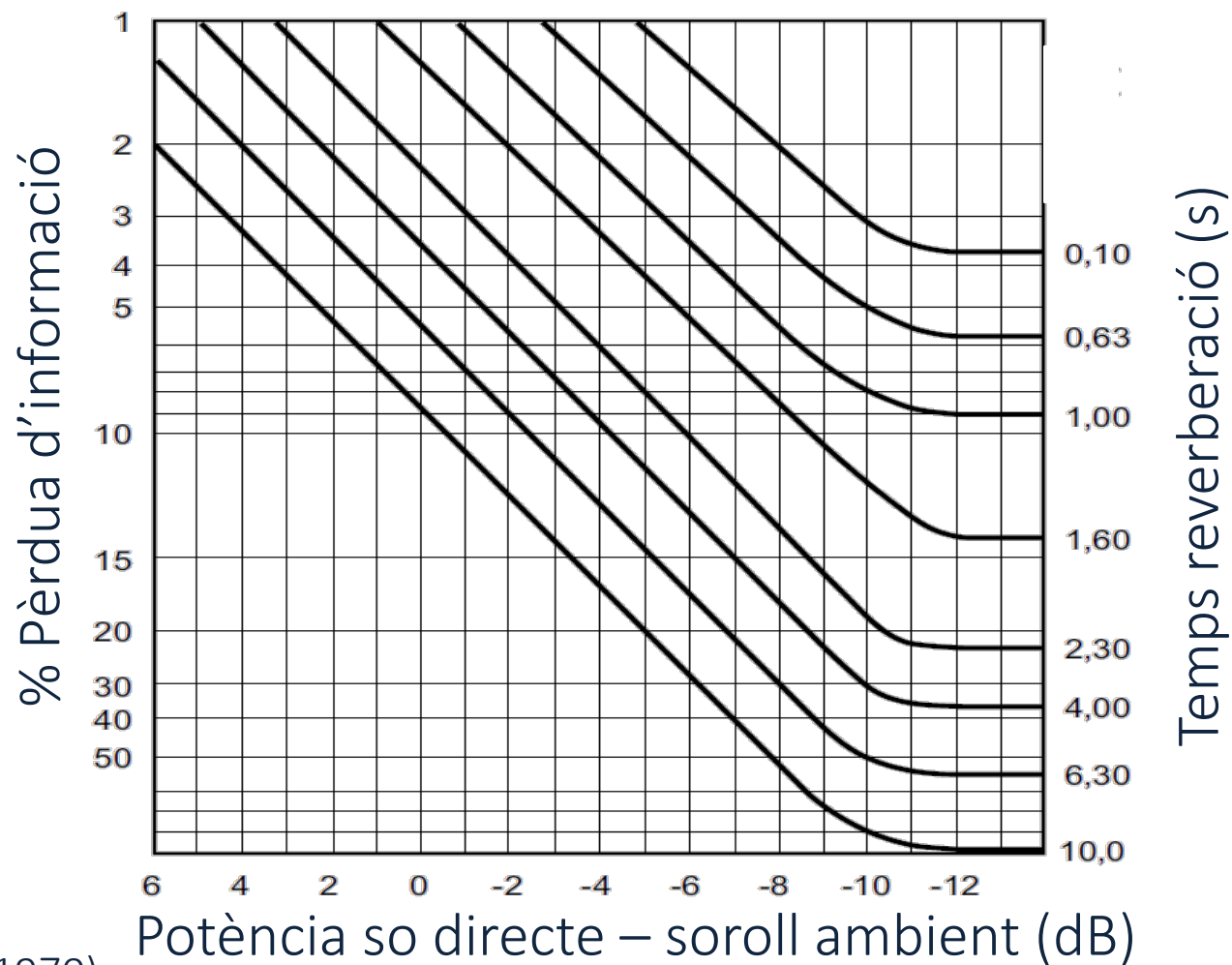
La parla

Contribució a la parla



La parla

Percentatge de pèrdua d'informació





Audició

Audició

Atenuació deguda a pèrdua auditiva



Sordesa

- Lleugera (20 - 40 dB)
- Mitjana (40 - 70 dB)
- Severa (70 – 90 dB)
- Profunda (90 – 120 dB)

Audició




























Discapacitat auditiva

Segons el moment quan es produeix:

- Prelocutiva (abans de l'adquisició del llenguatge)
- Postlocutiva (després d'assolir el llenguatge)

Segons el medi de comunicació:

- Oralistes (llengua oral)
- Signants (llengua de signes)

 A	 B	 C	 Ç
 D	 E	 F	 G
 H	 I	 J	 K
 L	 M	 N	 O
 P	 Q	 R	 S
 T	 U	 V	 W
 X	 Y	 Z	Alfabet dactilològic

Audició

Model psicoacústic

Anàlisis de la resposta subjectiva de l'oïda humana

- Estudis estadístics de la població

Fenòmens detectats

- Direccionalitat
- Llindar absolut d'audició
- Emmascarat freqüencial
- Emmascarat temporal



Audició

Direccionalitat (estèreo)

Sd

Sistema diferencial entre oïdes

- Direcció d'incidència
- Intensitat
- Retard
- Freqüència

Lls

Llindars de sensibilitat

- 3º al davant
- 4,5º als costats
- 7º al darrera

Sf

Sensibilitat freqüencial

- Òptima: 3-4Khz
- >300 Hz difícils localitzar

Audició

Teoria Dúplex (ΔI i ΔT)

Tipus de so

- Soroll (barreja)
- Sinusoidals (tons purs)
- Clics (transitoris)

$f < 1500\text{Hz} \Leftrightarrow \Delta T$

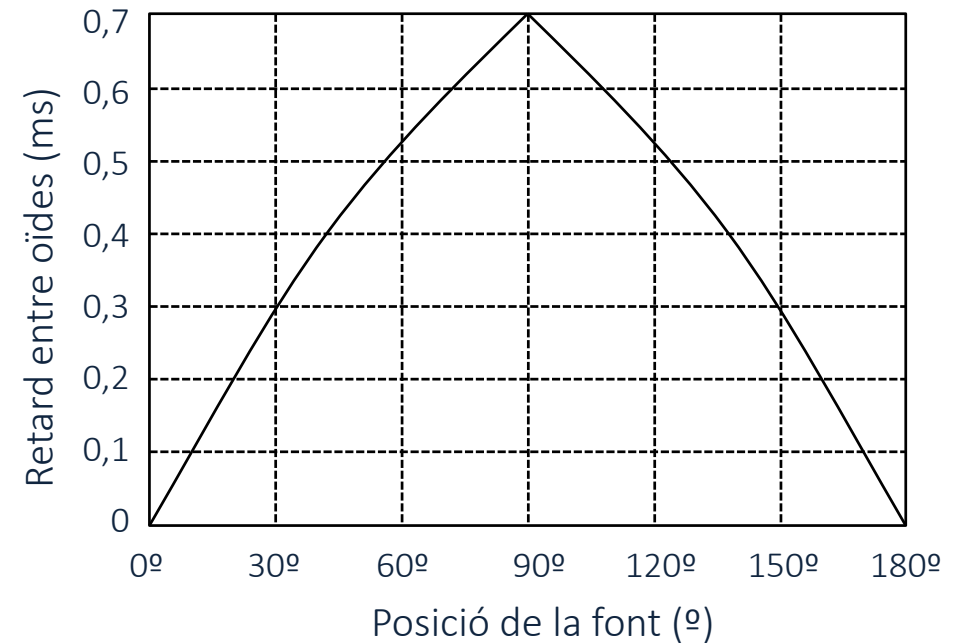
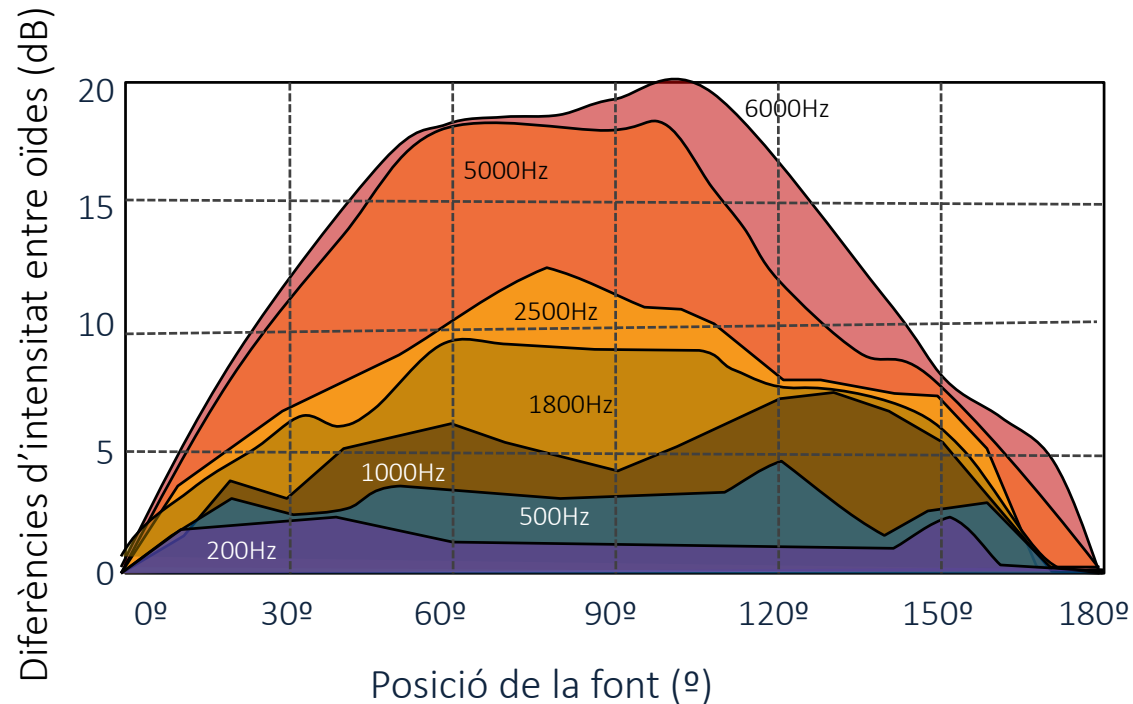
$f > 3000\text{Hz} \Leftrightarrow \Delta I$

$\Delta I \approx \text{dB}$

$\Delta T \approx \text{ms}$

Precedència

Dimensions del cap (20cm-25cm)



Audició

Exemples



Assecador



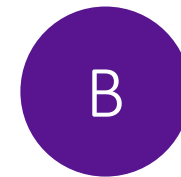
Pluja



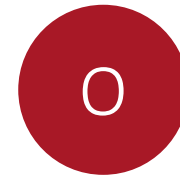
Tro



Llumí



Bateria



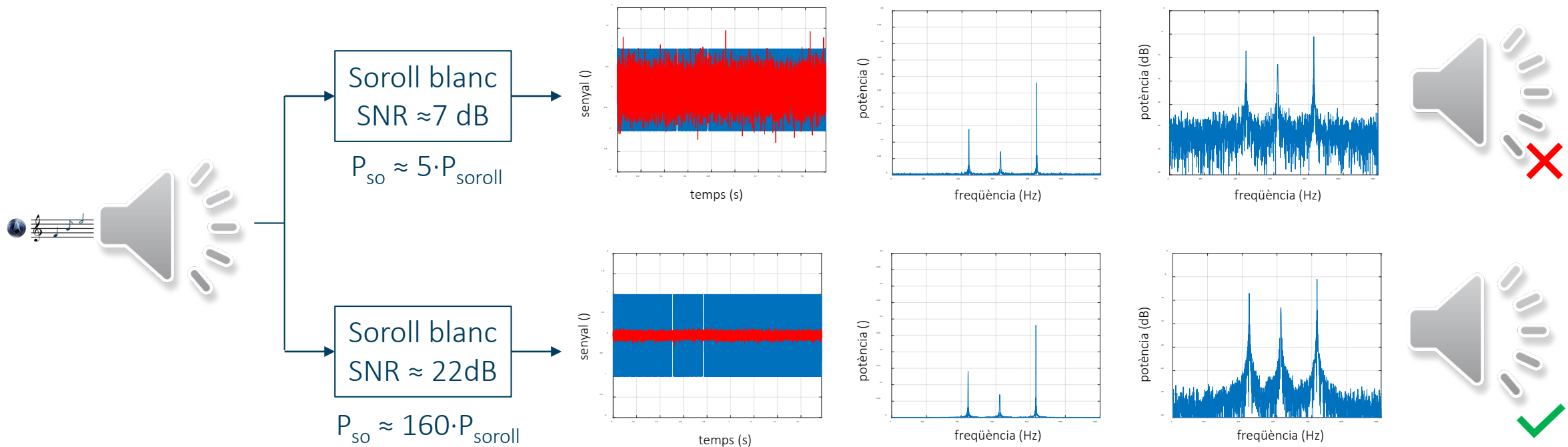
Cançó



Audició

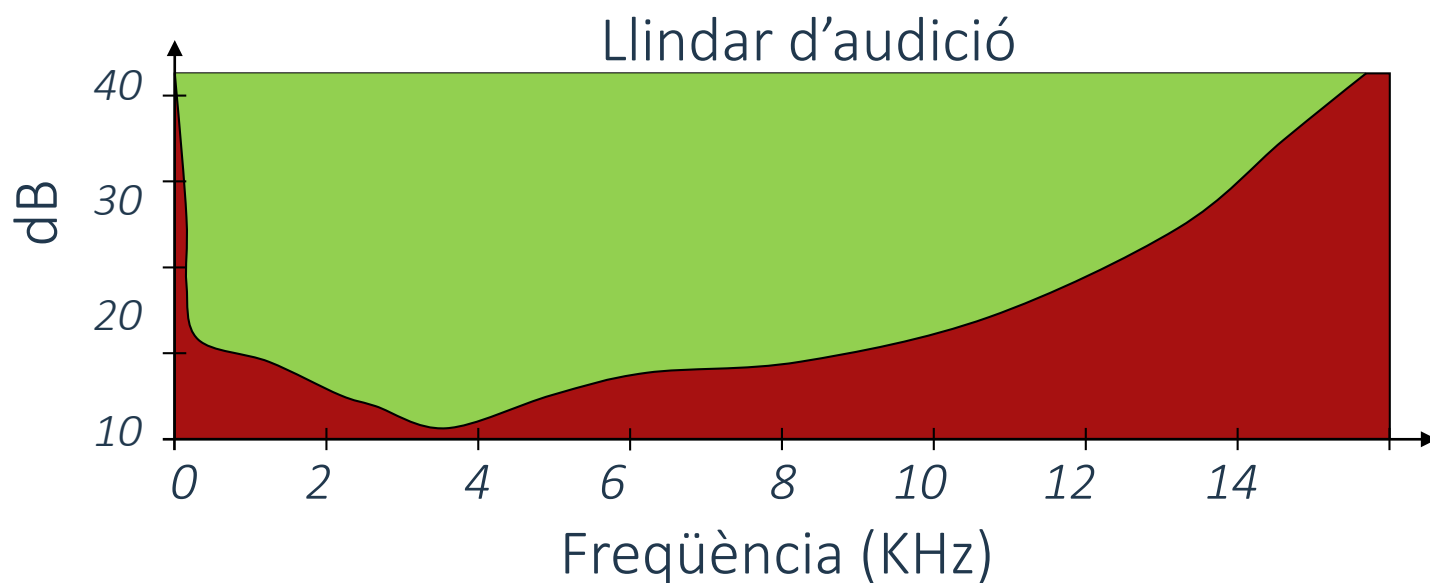
Percepció del soroll - el contrast

Els sons de fons cal que tinguin una potencia 20 dB menor que les sons en primer pla, com a mínim (WCAG 2.1 1.4.7 -AAA-).



Audició

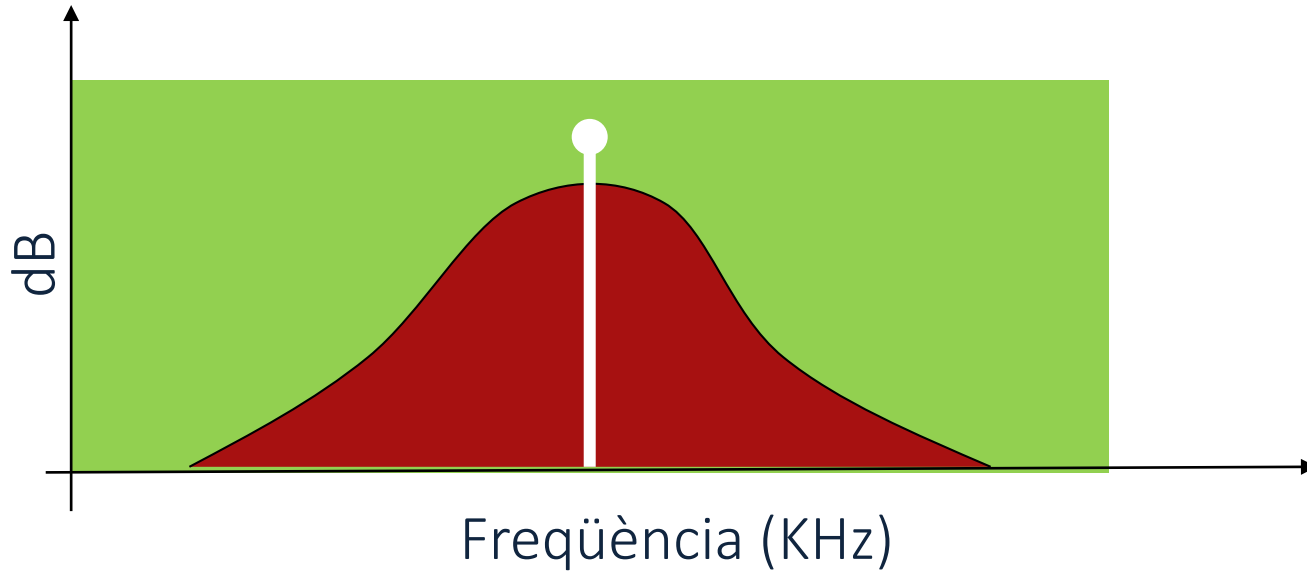
Llindar absolut d'audició (Fletcher, 1940)



- Mesura de potència
- Frontera entre els sorolls perceptibles i els inaudibles
- Depèn de la freqüència

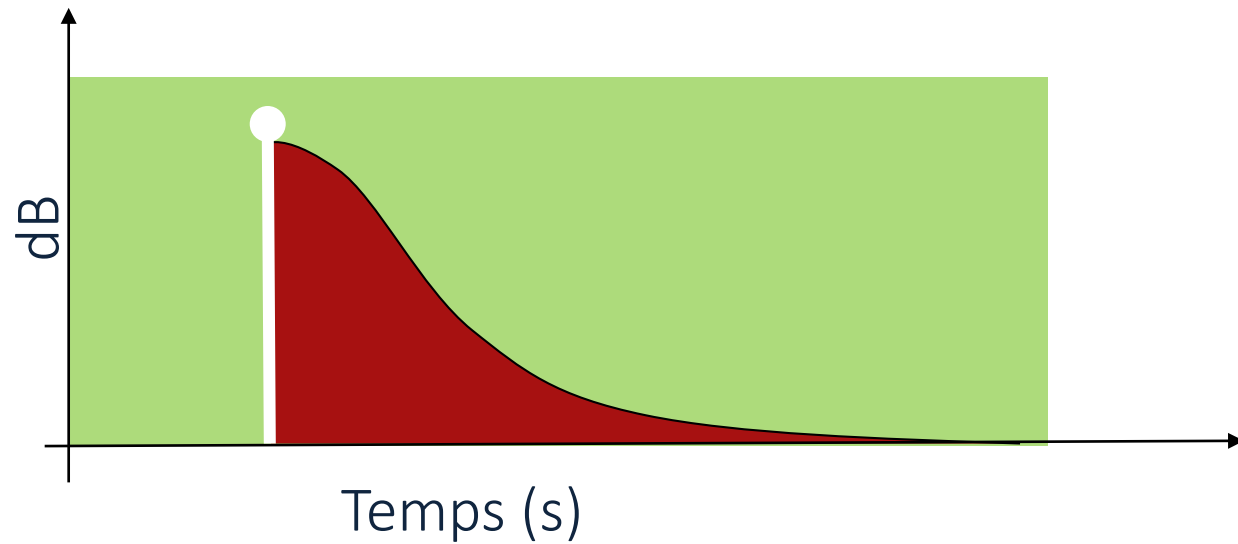
Audició

Emmascarat freqüencial



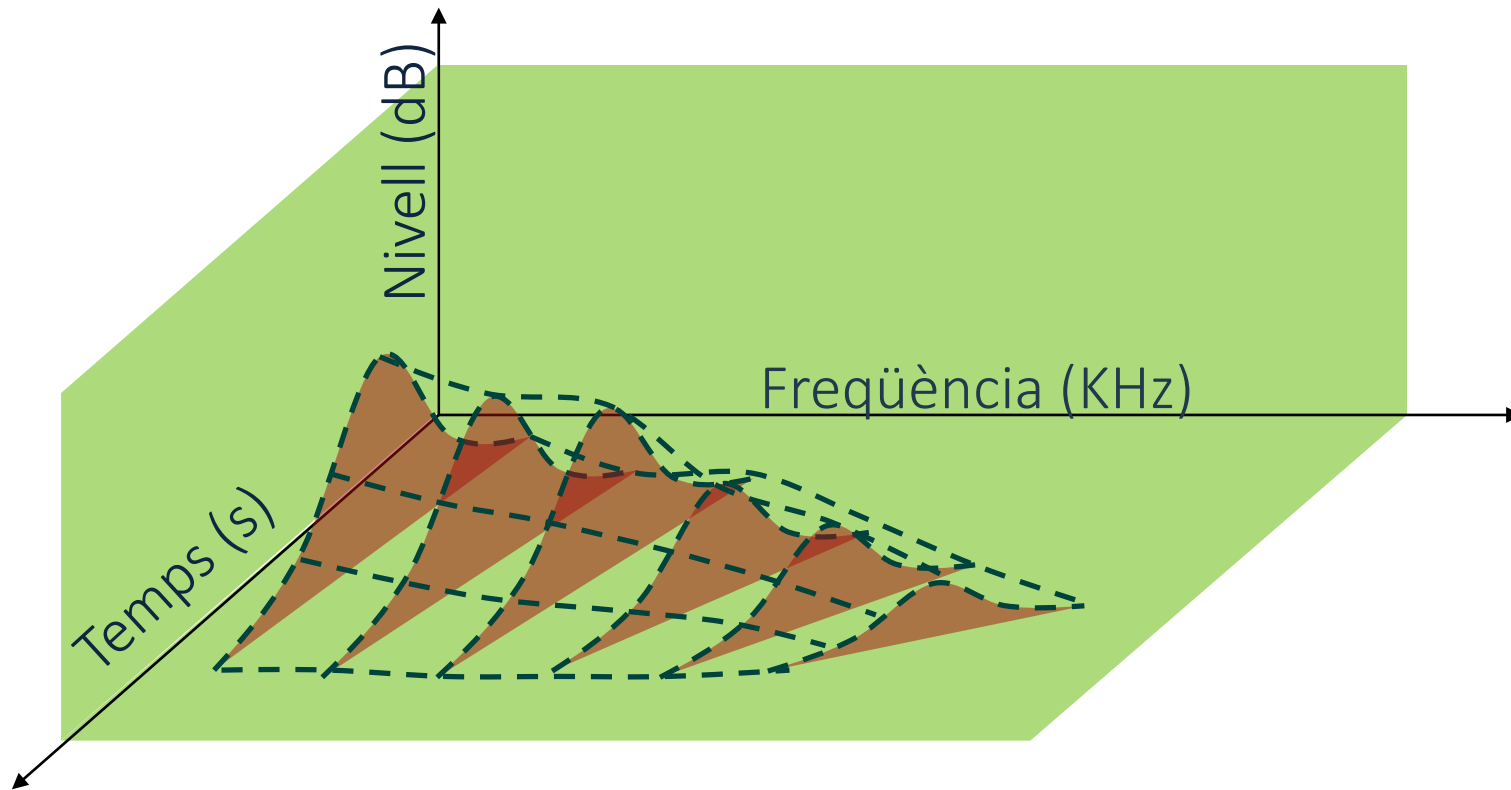
- Un to potent pot emmascarar als “veïns”.
- Depèn de la freqüència.

Emmascarament temporal



- Un to molt potent emmascara a altres pròxims en temps i freqüència. El to “deixa sord” a l’oient durant un temps τ .
- Pot donar-se un “emmascarat previ”: l’oient no percep els tons emesos abans del to dominant

Efecte combinat de l'emascarat



- Corbes que combinen màscara freqüencial i temporal



Processat

Processat d'àudio

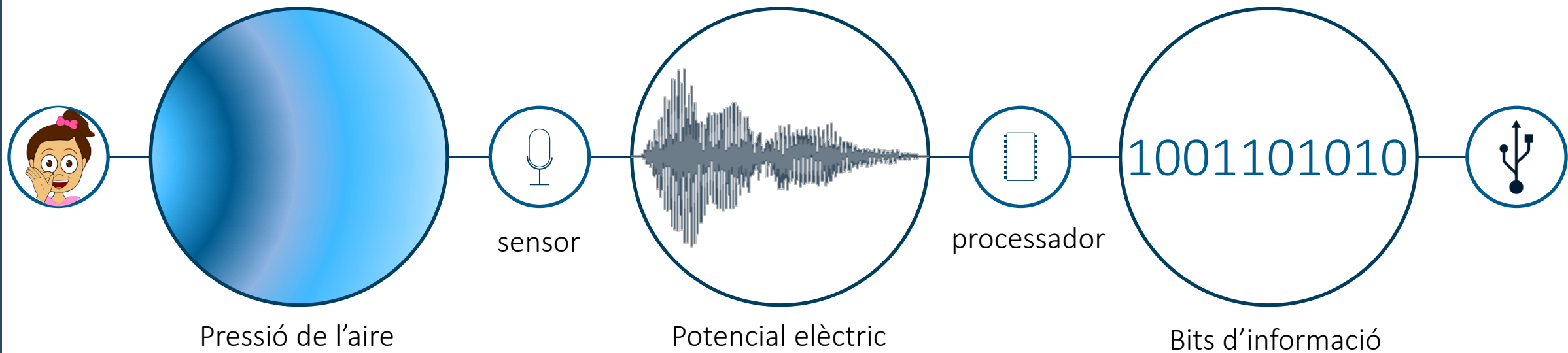
Harry Nyquist

Teorema de Nyquist



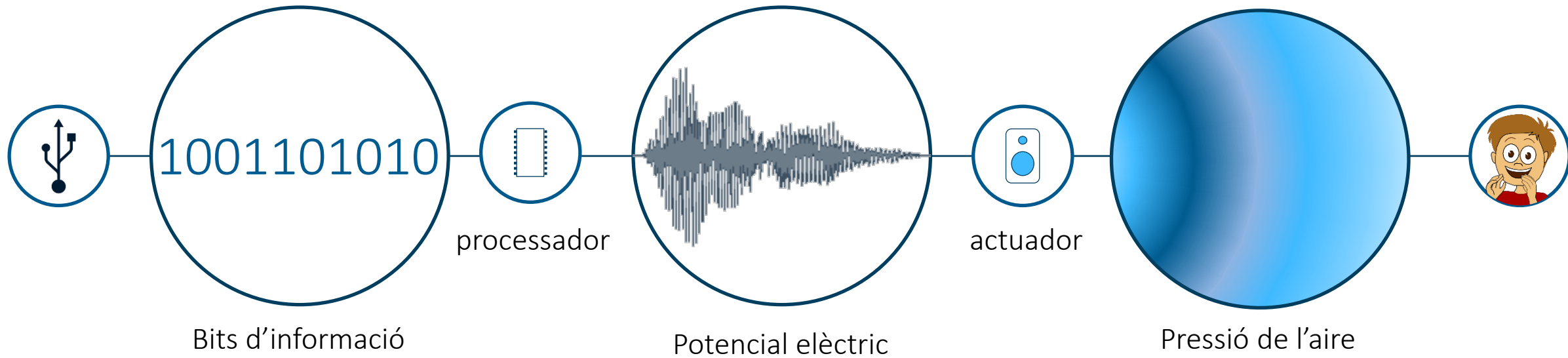
Processat d'àudio

Procés d'adquisició digital d'un so



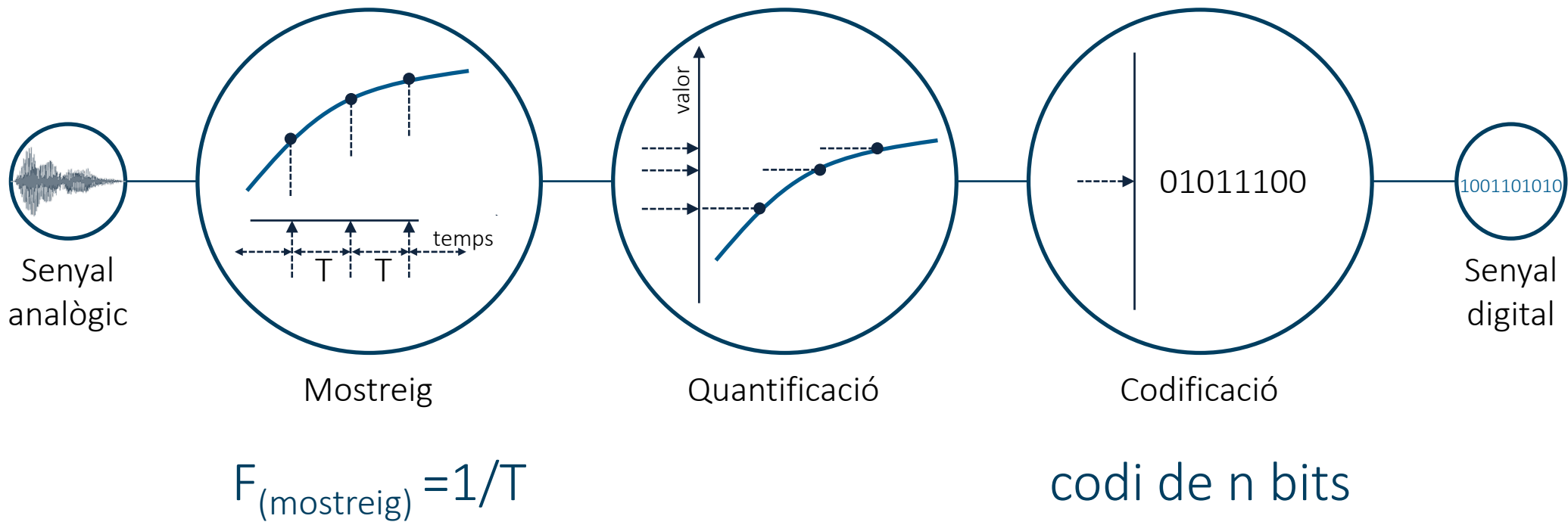
Processat d'àudio

Procés de reproducció digital d'un so



Processat d'àudio

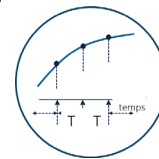
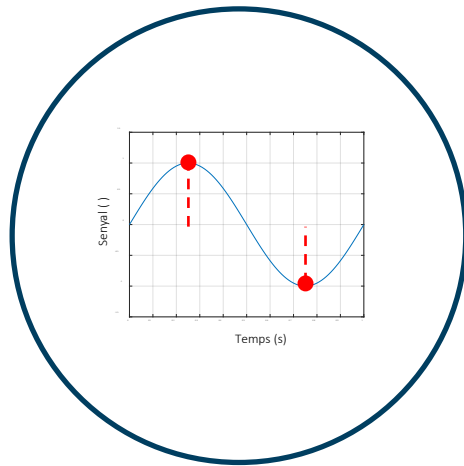
Pulse Code Modulation (PCM) és l'estàndard base de la codificació d'àudio



Processat d'àudio

Teorema de Nyquist

Per a poder reconstruir un senyal analògic cal que es mostregi a una freqüència igual o major del doble de la freqüència màxima d'aquest senyal.



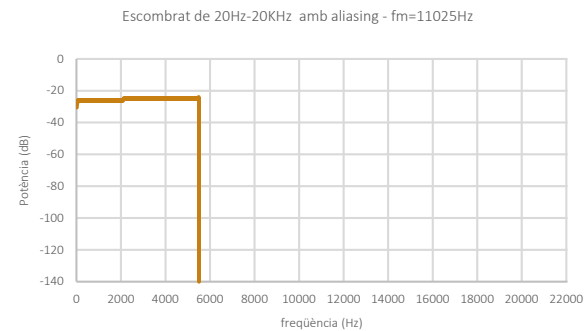
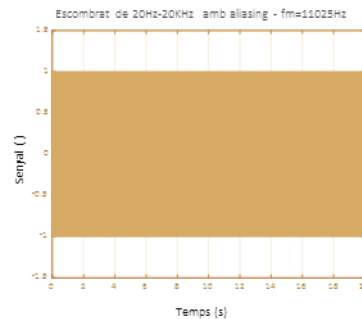
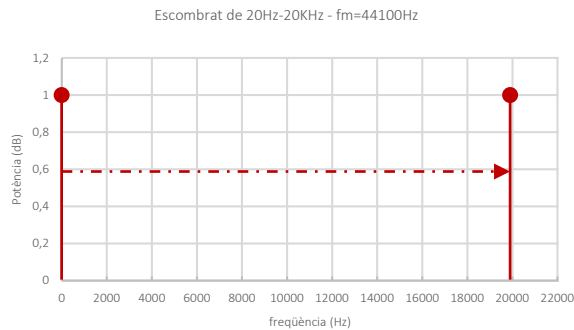
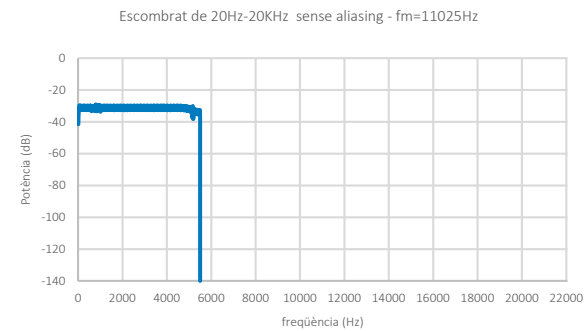
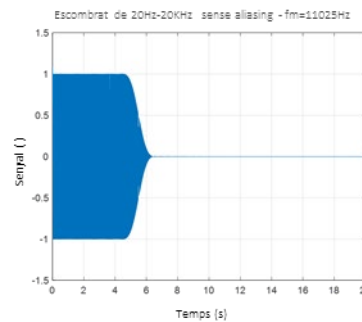
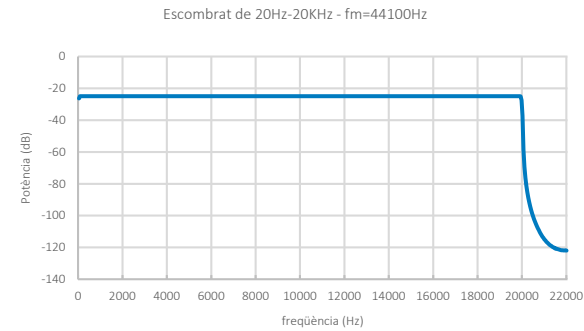
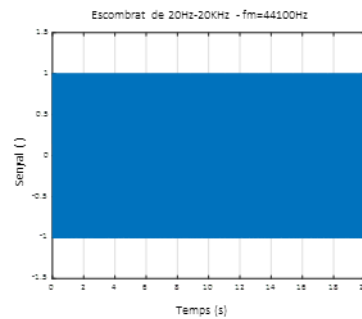
$$f_{(\text{mostreig})}(t) \geq 2 \cdot f_{(\text{màxima del senyal})}(t)$$



Processat d'àudio

Aliasing

Si no es compleix el Teorema de Nyquist es distorsiona el senyal.



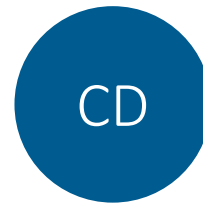
Processat d'àudio

Pulse Code Modulation (PCM) és el format més simple de codificació d'àudio (.wav), una aplicació directa del teorema de Nyquist. No comprimeix l'àudio.

La qualitat depèn de la freqüència de mostreig (Nyquist) i del número de bits (soroll quantificació).



$f_{(\text{mostreig})} = 8\text{KHz}$
 Número de bits = 8

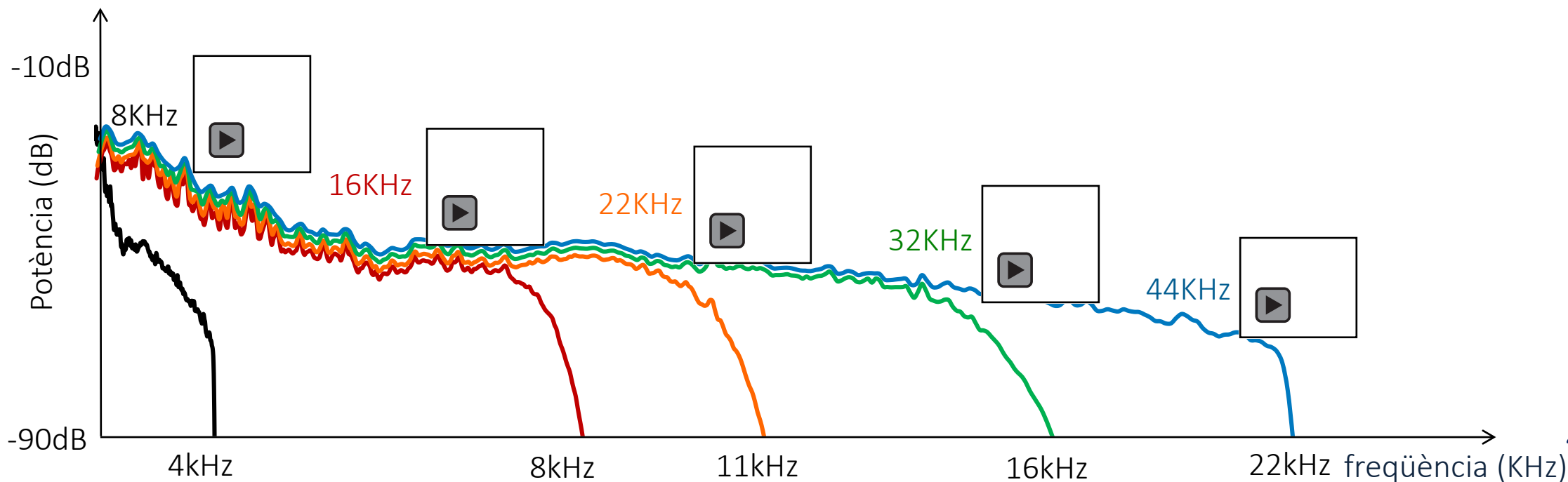


$f_{(\text{mostreig})} = 44,100\text{KHz}$
 Número de bits = 16

Processat d'àudio

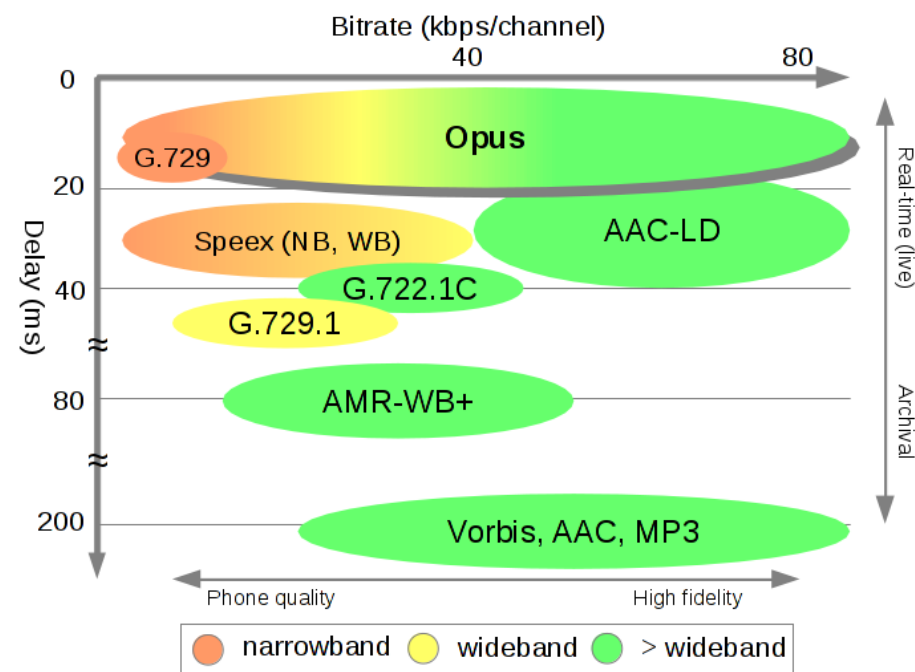
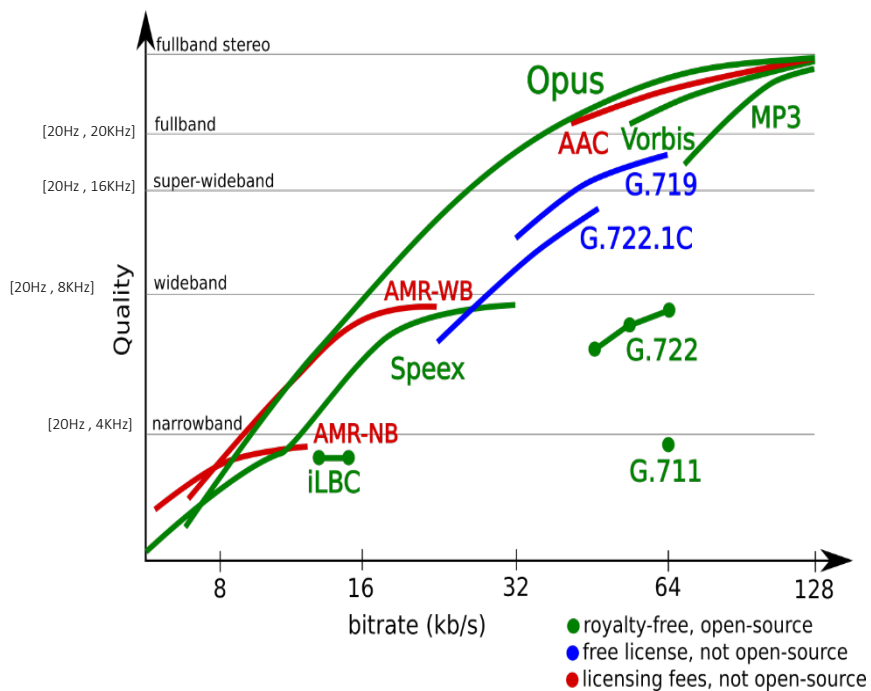
Exemples de freqüència de mostreig

Tema "Irrreal"
 $f_{(mostreig)}$ variable
Codificació PCM (.wav)



Processat d'àudio

Paràmetres de qualitat orientatius dels principals codificadors d'àudio



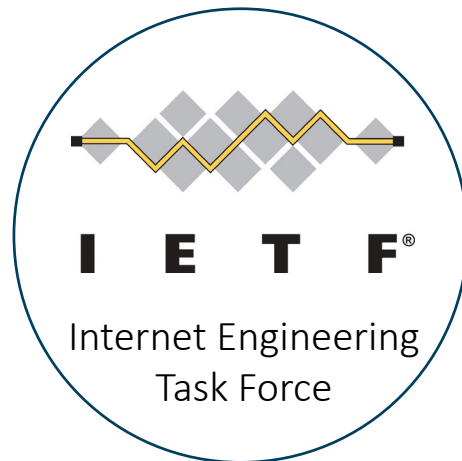
Processat d'àudio



MPEG-1/2 Audio Layer III



Advanced Audio Coding



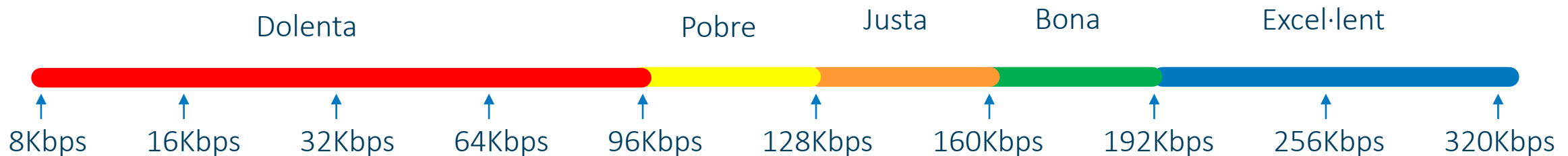
Opus Interactive Audio Codec



Processat d'àudio

MPEG-1 Audio Layer III (MP3), ISO/IEC 11172-3:1995, és un estàndard de codificació d'àudio, amb pèrdues, que utilitza la Model Psicoacústic per establir què s'emmagatzema i què s'elimina.

Percepció subjectiva (Mean Opinion Score - MOS)

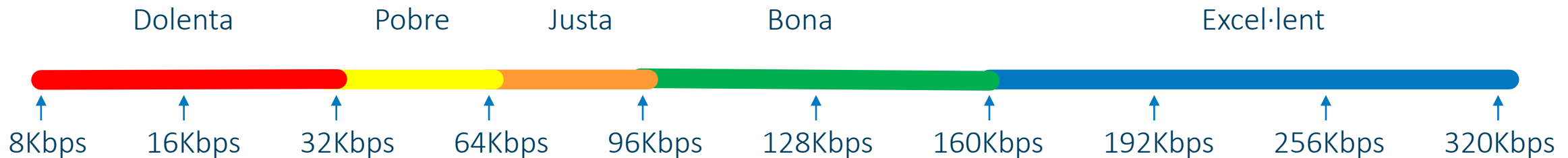


Qualitat (estèreo)

Processat d'àudio

MPEG-2 Advanced Audio Coding (AAC), ISO/IEC 13818-7:2006, millora les tècniques de l'estàndard MPEG-1 Audio Layer III, sobretot a qualitats baixes.

Percepció subjectiva (Mean Opinion Score - MOS)

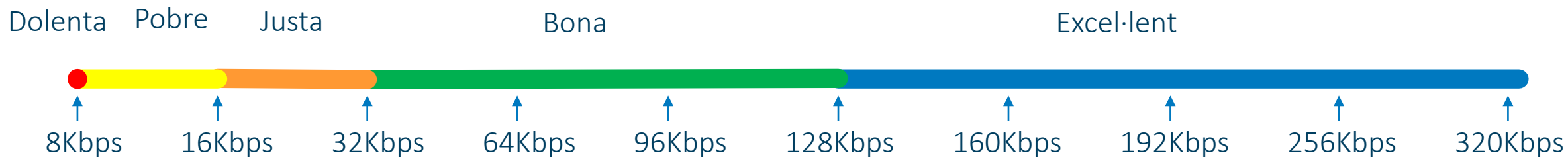


Qualitat (estèreo)

Processat d'àudio

Opus Interactive Audio Codec (OPUS), IETF RFC 6716, 2012, millora les tècniques dels estàndards MP3 i AAC, tot ampliant el rang d'ús.

Percepció subjectiva (Mean Opinion Score - MOS)



Qualitat (estèreo)

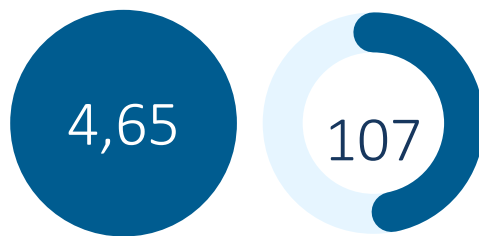
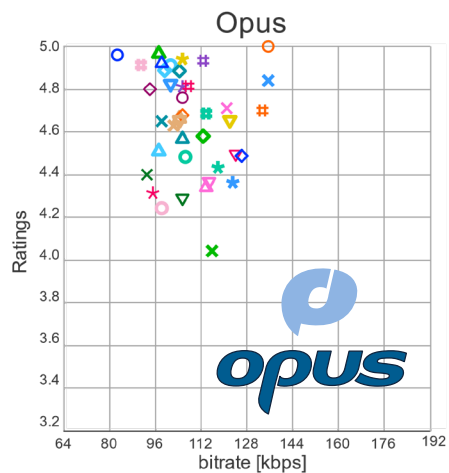
Processat d'àudio

Exemple de comparació entre MP3, AAC i OPUS, mostra de 40 pistes d'àudio amb mètode d'avaluació ABC/HR.

Escala ABC/ Hidden Reference

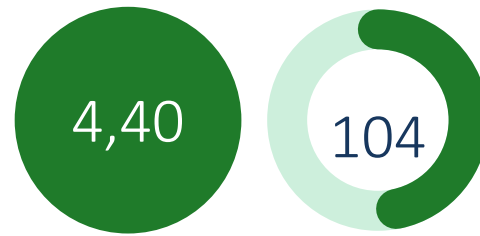
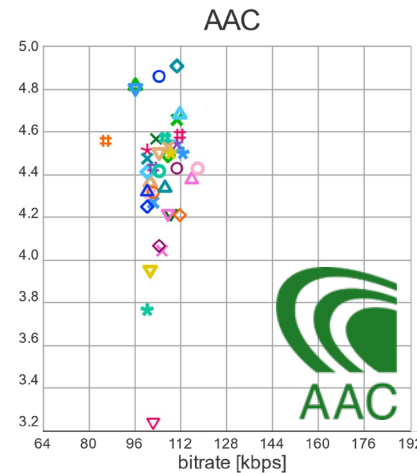
(Percepció de les diferències entre la versió original i la codificada)

- 5- Imperceptible
- 4- Perceptible , però no molesta
- 3- Lleugerament molesta
- 2- Molesta
- 1- Molt molesta



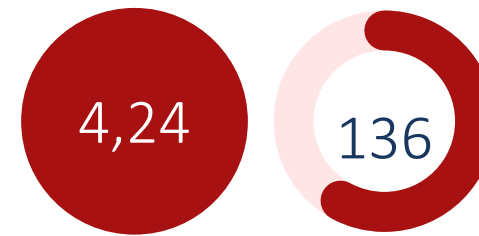
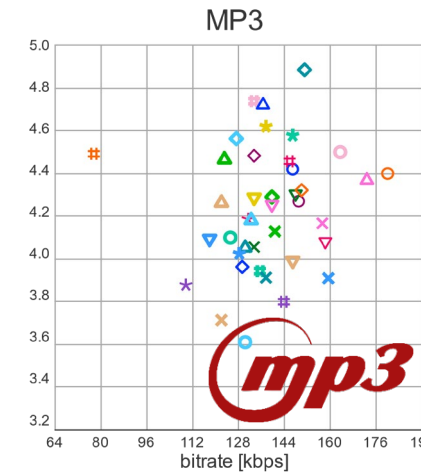
Valoració

Kbps



Valoració

Kbps



Valoració

Kbps

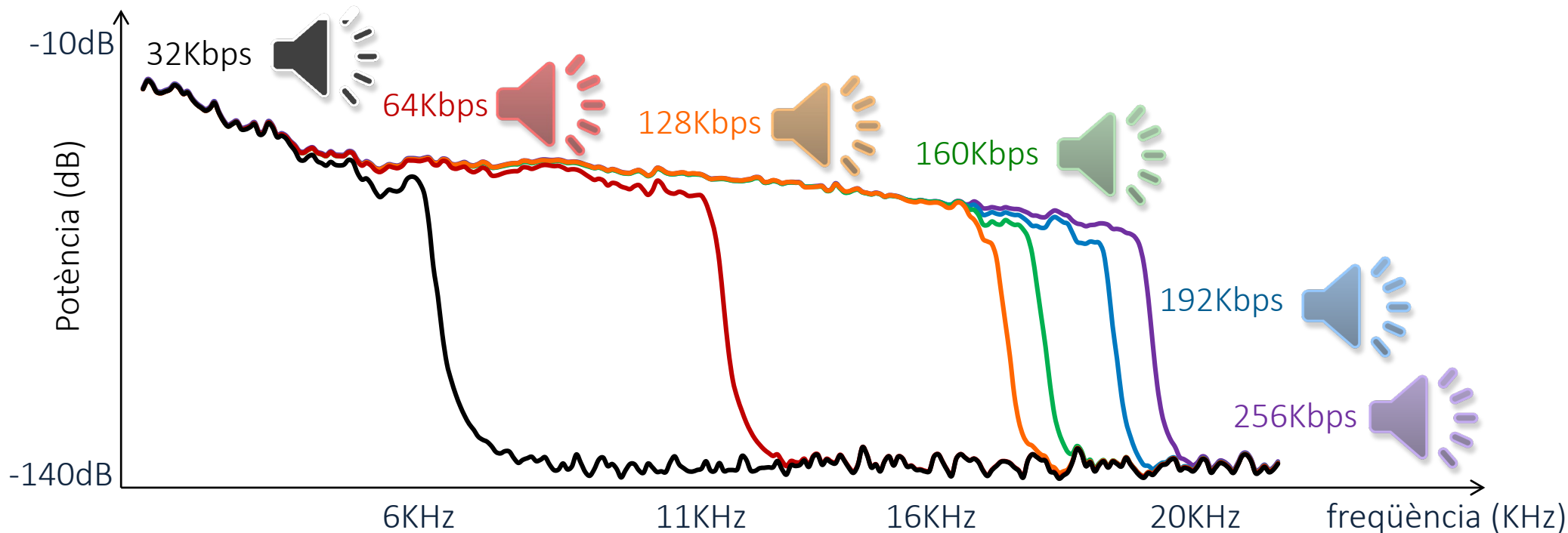
Processat d'àudio

Exemples de qualitat MP3

Tema "Irreal"

$f_{(\text{mostreig})} = 44,100\text{KHz}$

Codificació MPEG 1 Capa 3 (.mp3)

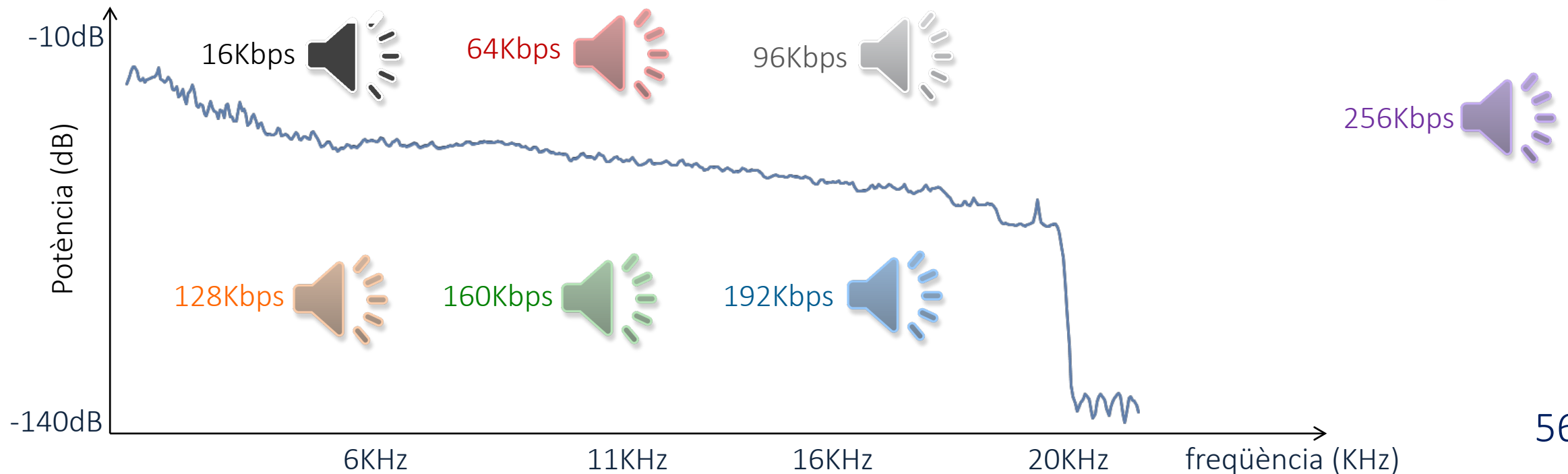


Processat d'àudio

Exemples de qualitat AAC

Tema "Irreal"

$f_{(mostreig)} = 44,100\text{KHz}$
Codificació AAC (.mp4a)

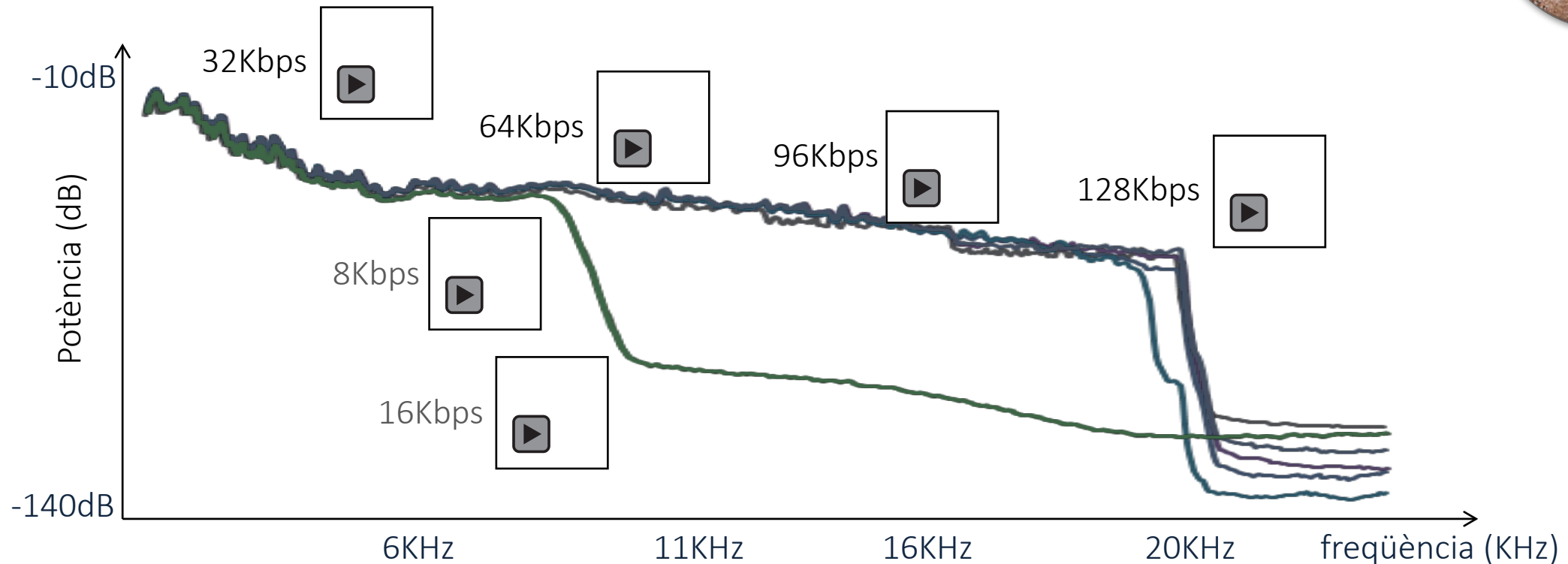


Processat d'àudio

Exemples de qualitat OPUS

Tema "Irreal"

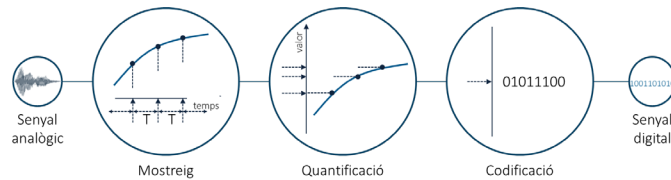
$f_{(\text{mostreig})} = 44,100\text{KHz}$
Codificació OPUS (.opus)



Processat d'àudio

Comparativa de la mida dels fitxers d'àudio

WAV vs MP3|AAC|OPUS



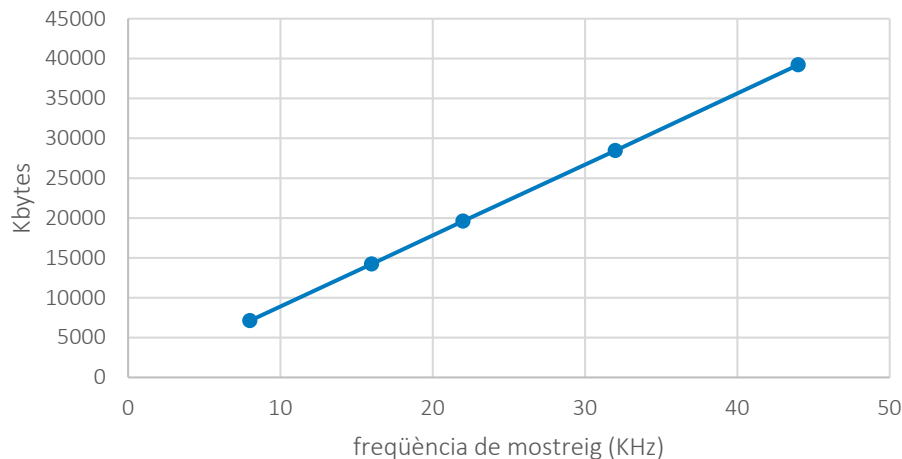
$$\text{Mida}_{\text{wav}} \approx t_{\text{àudio}} \cdot f_{\text{mostreig}} \cdot n_{\text{canals}} \cdot b_{\text{bytes/mostra}}$$

$$\text{Mida}_{\text{mp3|aac|opus}} \approx t_{\text{àudio}} \cdot q_{\text{Kbps}} \cdot (1/8)_{\text{B/b}}$$

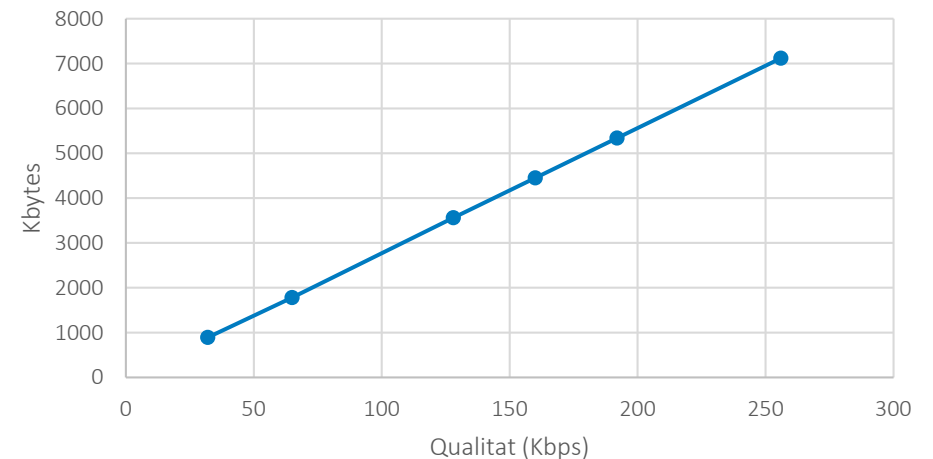


$t_{\text{àudio}} = 227\text{s}$
 $n_{\text{canals}} = 2$

Mida del fitxer WAV (Kbytes)



Mida del fitxer MP3|AAC|OPUS (Kbytes)





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



Càtedra d'Accessibilitat de la UPC

Arquitectura, disseny i tecnologia per a tothom

Campus de Vilanova i la Geltrú

Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

Edifici A, despatx VGA158

Avda. Víctor Balaguer, 1

08800 Vilanova i la Geltrú

accessibilitat@upc.edu



Aquest treball es publica amb una llicència Creative Commons
Reconeixement – No Comercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)