

# Resultats

Marc Franco Meca

23 Maig 2020

## 1 Anàlisi dels resultats

En aquest apartat es presenten els resultats dels paràmetres acústics obtinguts mitjançant el procediment, la configuració i les condicions prèviament descrites.

Per a analitzar cada un dels paràmetres per separat, les dades obtingudes han estat recollides en un full de càlcul Excel. Els valors obtinguts es diferencien segons si aquests s'han obtingut amb el mínim mobiliari possible o amb la sala amoblada. Per a fer aquesta diferenciació notable els gràfics mostren els resultats de les dades obtingudes amb el mínim mobiliari amb color blau, mentre que les dades amb el mobiliari habitual estan representades amb el color taronja. Cada un dels paràmetres acústics a valorar es presenten en bandes d'octava de 125Hz a 4kHz, expressant-los així de la manera habitual en estudis acústics. Per a cada gràfic també es proporciona el valor recomanat per diversos autors amb línies discontinües.

Paràmetre Acústic		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Temps de Reverberació (RT60)	Sense Mobiliari	1,32	1,1	0,96	0,74	0,68	0,61
	Amb Mobiliari	0,57	0,59	0,49	0,48	0,47	0,46
Calidesa Acústica (BR)	Sense Mobiliari	1,42					
	Amb Mobiliari	1,18					
Brillantor (BR)	Sense Mobiliari	0,76					
	Amb Mobiliari	0,95					
Índex de Claredat de la veu (C50)	Sense Mobiliari	-3,44	1,25	1,82	3,89	0,6	2,94
	Amb Mobiliari	-3,52	4,53	8,1	8,47	6,35	3,2
Índex de Claredat Musical (C80)	Sense Mobiliari	1,68	6,02	5,53	5,83	5,42	7,45
	Amb Mobiliari	8,54	9,99	12,8	11,1	10,43	8,63
Definició (D50)	Sense Mobiliari	0,31	0,57	0,6	0,71	0,53	0,66
	Amb Mobiliari	0,31	0,74	0,87	0,88	0,81	0,68
Pèrdua de l'Articulació de les Consonants (%ALCons)	Sense Mobiliari	9,43	6,58	8,67	6,66	6,1	5,48
	Amb Mobiliari	1,74	1,89	4,47	4,36	4,19	4,18

Table 1: Valor dels paràmetres acústics en terços d'octava diferenciats entre la sala sense mobiliari (color blau) i la sala amoblada (color taronja)

A continuació es mostra tant una comparació gràfica com una valoració entre els paràmetres acústics amb i sense mobiliari.

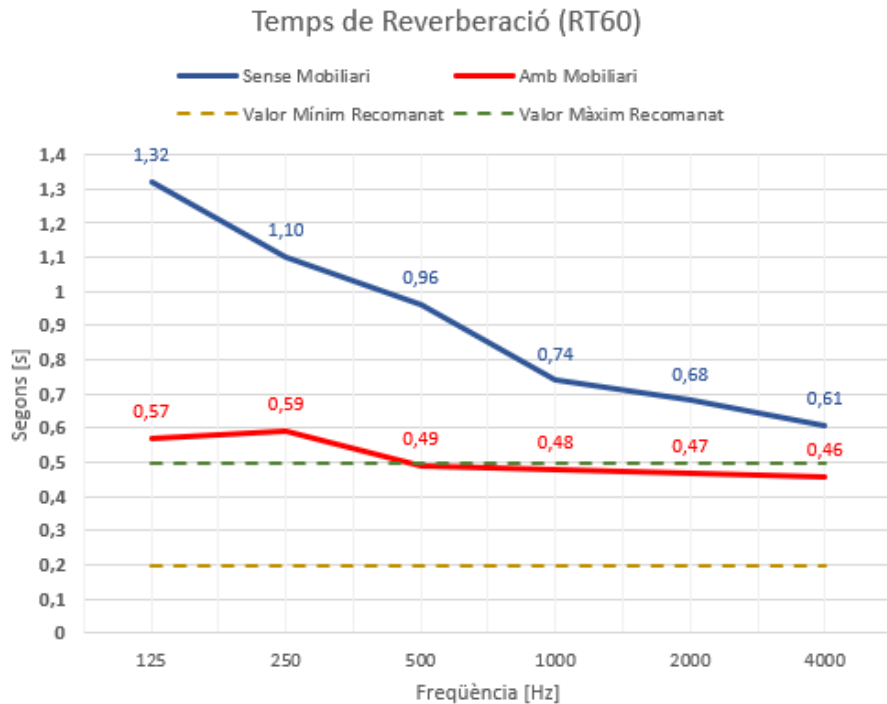


Figure 1: Representació del temps de reverberació RT60 per ambdues situacions en bandes de terços d'octava

El primer paràmetre que s'analitza és el temps de reverberació, el qual és el més comú i representatiu per a estudiar l'acústica d'una sala. Observant el gràfic podem apreciar com el temps de reverberació a la sala sense mobiliari és superior a l'obtingut amb el mobiliari habitual. En ambdós casos el temps de reverberació a baixes freqüències (125Hz-250Hz) és major que a freqüències mitjanes i altes. Ara bé, quan la sala no disposa de mobiliari la diferència en el temps de reverberació a baixes i altes freqüències és més notable, essent gairebé el doble de temps entre les bandes de freqüències de 4kHz i 125Hz. En canvi, per a la sala amoblada la diferència màxima esdevé de 0.13s entre les bandes freqüencials de 250Hz i 4kHz. Això és degut al fet que la presència de certs materials en el mobiliari, com la fusta dels mobles o el paper en dels llibres, actuen com a absorbents. Cal destacar que la sala sense mobiliari ja conté material absorbent a la paret frontal, resultat el qual es pot apreciar clarament com a una reducció a freqüències mitjanes i altes.

Recordem que la funció principal de la sala és la mescla i producció de música electrònica. Com s'ha dit anteriorment en la simulació, un valor òptim per al paràmetre del temps de reverberació oscil·la entre els 0.2s i 0.5s en funció de l'estil musical. Fixant-nos en els valors de temps de reverberació obtinguts es pot

apreciar com la sala sense mobiliari no proporciona uns resultats dins d'aquest rang idoni. D'altra banda, quan la sala compta amb el mobiliari habitual les freqüències mitjanes i altes es situen dins el rang òptim, però les freqüències baixes es situen lleugerament per sobre.

Relacionat amb el temps de reverberació es poden analitzar els següents dos paràmetres que es corresponen amb la calidesa acústica i la brillantor. La calidesa acústica fa referència a la riquesa a baixes freqüències mentre que la brillantor indica el comportament a freqüències altes. Observant els resultats, la sala sense mobiliari proporciona una major calidesa que la sala amoblada, però, en canvi, una menor brillantor. Tot i aquesta superioritat envers a la calidesa acústica, el resultat obtingut per a la sala buida es situa lleugerament per sobre del rang òptim proposat en l'apartat teòric, que és d'entre 1 i 1.3. D'altra banda, aquest paràmetre acústic amb la sala amoblada s'estableix dins el rang òptim, essent d'aquest 1.18. En quant a la brillantor, tots dos valors obtinguts en les diferents situacions de la sala es situen correctament per sobre del valor adequat proposat per H.Arau, el qual enuncia que ha de ser superior a 0.80. Si es considera el valor òptim el proposat per L.L Beranek, on aquest valor ha de ser superior a 0.88, la sala sense mobiliari no compleix amb el valor òptim establert, quedant lleugerament per sota. En canvi, la sala amoblada aconsegueix amb el valor proposat, superant-lo per 0.15.

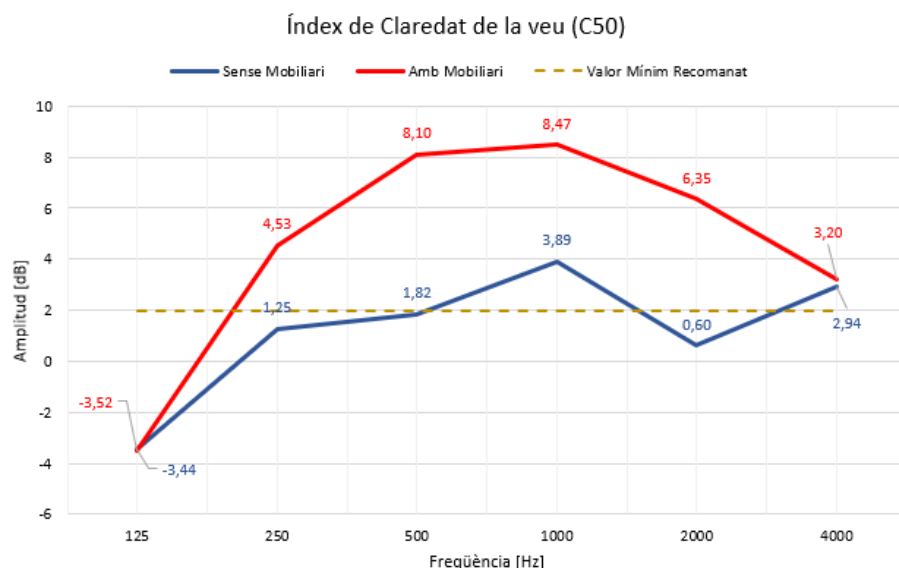


Figure 2: Gràfic de l'índex de claredat de la veu C50 per ambdues situacions en bandes de terços d'octava

L'índex de Claredat de la veu és un indicador de la intel·ligibilitat de la paraula. Tot i no ser la parla la principal activitat de la sala aquest és un altre

indicador per analitzar l'acústica de la sala. Es pot observar en el gràfic com hi ha una gran diferència de resultats entre ambdues situacions. La sala amoblada presenta un índex de claredat superior en gairebé tot el rang freqüencial estudiat, essent aquest més notable a les bandes d'octaves centrals, i força semblants en les octaves 125Hz i 4kHz. En relació a un valor òptim per l'índex de claredat de la veu es considera aquell que és superior a 2dB. Per tant, la resposta acústica d'aquest paràmetre amb la sala sense mobiliari no supera aquesta condició excepte en les bandes freqüencials d'1kHz i 4kHz. En canvi, els resultats obtinguts amb la sala amoblada es troben per sobre del valor adequat proposat, excepte la banda freqüencial més baixa. Per tant, la sala amb el mobiliari habitual proporciona una bona intel·ligibilitat de la paraula, mentre que la sala sense el mobiliari indica una petita dificultat en la claredat de la comprensió del missatge.

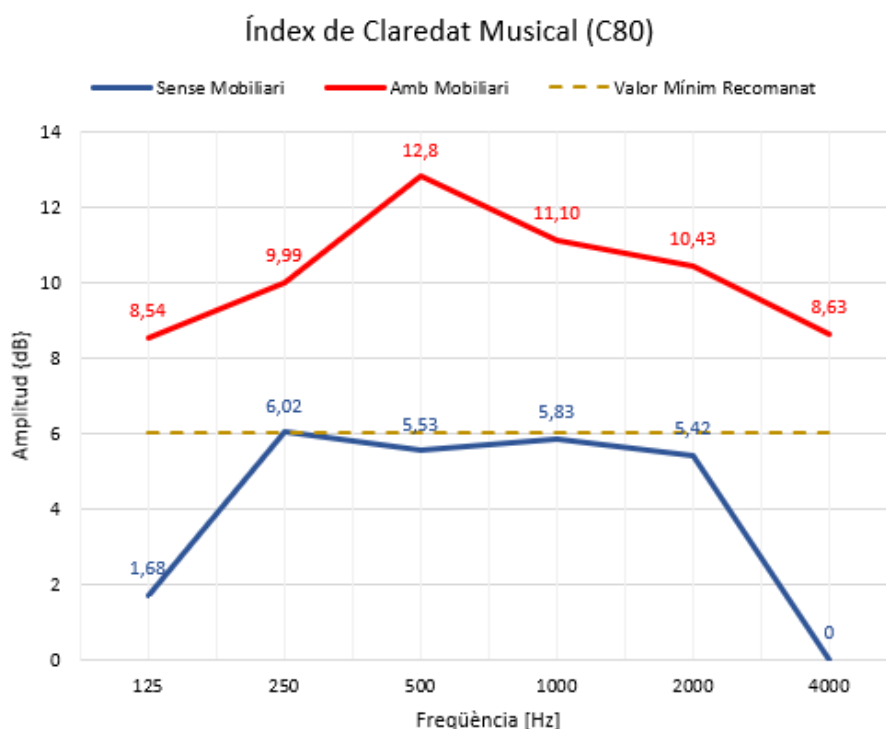


Figure 3: Representació de l'índex de claredat musical C80 per ambdues situacions en bandes de terços d'octava

El següent paràmetre acústic es correspon amb l'índex de claredat musical que ens possibilita analitzar la intel·ligibilitat musical. Si ens fixem amb el gràfic obtingut existeix una gran diferència entre la sala amb i sense mobiliari, tot i que ambdues tenen una tendència d'obtenir un valor menor a les bandes freqüencials extremes. La sala amb el mínim mobiliari proporciona uns valors d'índex de

claredat musical similars entre les bandes 250Hz i 2kHz. En canvi, la sala amoblada proporciona uns resultats majors en tot el rang freqüencial analitzat, essent el valor màxim de 12.8 a la octava de 500Hz i un mínim valor de 8.54 a 125Hz. Existeixen diversos autors que proposen varis valors òptims, però en el nostre cas emprarem el proposat per Gerald Marshall, el qual diferencia l'índex de claredat musical en funció dels diferents estils musicals. L'estil principal de música predominant en aquesta sala és música electrònica, estil el qual s'associa amb un valor d'índex de claredat musical superior a 6. Observant el gràfic podem apreciar com la sala sense mobles proporciona uns valors entorn al valor proposat, essent lleugerament inferior. D'altra banda, la sala amb el mobiliari habitual proveeix uns resultats òptims per a la intel·ligibilitat musical, fent possible la diferenciació entre els sons individuals que componen la peça musical.

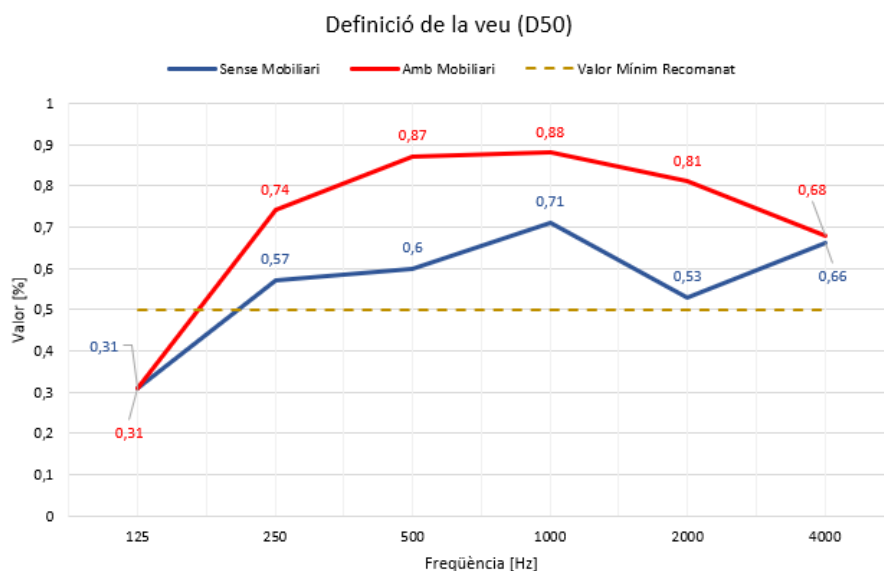


Figure 4: Gràfic de la definició de la veu D50 per ambdues situacions en bandes de terços d'octava

La definició de la veu és un paràmetre relacionat amb l'índex de claredat de la veu, i es pot apreciar aquesta similitud observant la tendència del gràfic. Els resultats obtinguts sense mobiliari són menors que els assolits amb la sala amoblada. Sense mobiliari, la sala subministra uns valor màxim de 0.71 a la banda d'octava d'1kHz i un mínim de 0.31 a la freqüència de 125Hz. Aquest valor mínim es correspon també amb el mínim valor obtingut per la sala amb el mobiliari. En canvi, el valor màxim obtingut per la sala amoblada és de 0.88 a la banda freqüencial d'1kHz. Les altres bandes freqüencials difereixen entre les dues situacions un valor de 0.20 aproximadament. En quant al valor òptim de referència es proposa que la definició de la veu ha de ser superior a 0.5. En

ambdós casos el valor és superior en totes les bandes d'octava, exceptuant la corresponent a 125Hz. Tot i que els resultats obtinguts siguin adequats, de la mateixa manera que l'índex de claredat de la veu, la sala amb el mobiliari habitual proporciona una millor resposta en quant a la intel·ligibilitat de la paraula.

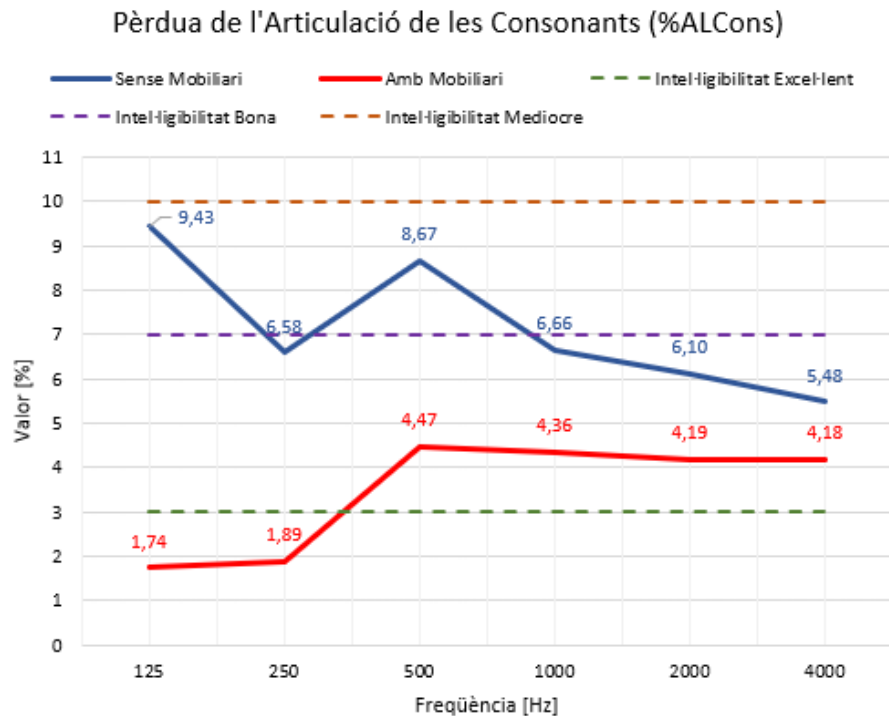


Figure 5: Representació de la pèrdua de l'articulació de les consonants per ambdues situacions en bandes de terços d'octava

El darrer paràmetre acústic estudiat ha estat la pèrdua de l'articulació de les consonants. A menor percentatge de pèrdua millor serà la intel·ligibilitat per part del receptor. Visualitzant el gràfic es pot apreciar com amb el mobiliari aquest paràmetre redueix el seu valor, proporcionant una millor intel·ligibilitat del missatge oral. La sala sense mobiliari proporciona una tendència a disminuir el seu valor a mesura que la freqüència augmenta. En canvi, la sala amb el mobiliari habitual proporciona uns resultats amb uns valors petits a les bandes de freqüències baixes i a freqüències mitjanes i altes augmenta, i s'estabilitza en torn a un valor de 4%, essent aquest encara inferior al mínim proporcionat per la sala sense mobiliari. En relació al valor òptim recomanat, la sala sense mobiliari otorga una resposta acústica mediocre a les bandes d'octava de 125Hz i 500Hz i bona a les bandes d'octava restants. En quant a la sala amb el mobiliari habitual presenta uns resultats excel·lents a les bandes de freqüència baixes i

bona a freqüències mitjanes i altes.

A banda dels paràmetres acústics s'han analitzat els modes propis de la sala explicats en l'apartat teòric de la teoria geomètrica. Aquests es diferencien entre tres tipus, que es corresponen amb els modes axials, tangencials i oblics. Els modes axials són aquells que provenen de la interacció entre dues superfícies, els tangencials els que interactuen amb quatre superfícies i els oblics amb les sis superfícies de la sala. Es consideren significatius aquells modes propis per a freqüències inferiors a 300 cicles per segons, és a dir, freqüències inferiors a 300Hz.

Principalment, els modes axials són els importants per a l'estudi ja que aquest són els que proporcionen més energia acústica, seguits dels modes tangencials que ocasionen -3dB d'energia sonora respecte els axials, i per últim, els oblics aporten -6dB d'energia acústica, essent els menys significatius.



Axials		
65.21 Hz	C2	1-0-0
73.92 Hz	D2	0-0-1
75.22 Hz	D2	0-1-0
130.42 Hz	C3	2-0-0
147.84 Hz	D3	0-0-2
150.44 Hz	D3	0-2-0
195.63 Hz	G3	3-0-0
221.77 Hz	A3	0-0-3
225.66 Hz	A3	0-3-0
260.84 Hz	C4	4-0-0
295.69 Hz	D4	0-0-4
300.88 Hz	D4	0-4-0

(a) Modes propis axials en freqüència, nota musical i ordre

Oblics		
123.99 Hz	B2	1-1-1
167.72 Hz	E3	2-1-1
178.24 Hz	F3	1-1-2
179.86 Hz	F3#	1-2-1
211.01 Hz	G3#	2-1-2
212.38 Hz	G3#	2-2-1
220.78 Hz	A3	1-2-2
222.24 Hz	A3	3-1-1
243.09 Hz	B3	1-1-3
246.25 Hz	B3	1-3-1
247.99 Hz	B3	2-2-2
256.49 Hz	C4	3-1-2
257.62 Hz	C4	3-2-1
268.04 Hz	C4	2-1-3
270.91 Hz	C4#	2-3-1
275.8 Hz	C4#	1-2-3
277.55 Hz	C4#	1-3-2
281.35 Hz	C4#	4-1-1
287.68 Hz	D4	3-2-2
298.03 Hz	D4	2-2-3
299.65 Hz	D4	2-3-2

(b) Modes propis oblics en freqüència, nota musical i ordre

Tangencials		
98.57 Hz	G2	1-0-1
99.55 Hz	G2	1-1-0
105.46 Hz	G2#	0-1-1
149.91 Hz	D3	2-0-1
150.56 Hz	D3	2-1-0
161.59 Hz	E3	1-0-2
163.96 Hz	E3	1-2-0
165.88 Hz	E3	0-1-2
167.62 Hz	E3	0-2-1
197.15 Hz	G3	2-0-2
199.1 Hz	G3	2-2-0
209.13 Hz	G3#	3-0-1
209.59 Hz	G3#	3-1-0
210.93 Hz	G3#	0-2-2
231.16 Hz	A3#	1-0-3
234.18 Hz	A3#	0-1-3
234.89 Hz	A3#	1-3-0
237.46 Hz	A3#	0-3-1
245.21 Hz	B3	3-0-2
246.78 Hz	B3	3-2-0
257.27 Hz	C4	2-0-3
260.63 Hz	C4	2-3-0
267.98 Hz	C4	0-2-3
269.78 Hz	C4#	0-3-2
271.11 Hz	C4#	4-0-1
271.47 Hz	C4#	4-1-0
295.72 Hz	D4	3-0-3
298.65 Hz	D4	3-3-0
299.82 Hz	D4	4-0-2

(c) Modes propis tangencials en freqüència, nota musical i ordre

Table 2: Dummy figure

Observant els resultats obtinguts podem observar com hi ha 12 nodes axials, 29 tangencials i 21 oblics. Donat que la presència de modes propis és

inevitable, l'objectiu per a preservar una bona intel·ligibilitat tant musical com oral és distribuir-los uniformement de manera que no ocasionin una deficiència en l'escolta. Per a això és necessari seleccionar una relació adient a les dimensions de la sala per evitar la concentració d'energia en bandes freqüencials que ocasionin una coloració del so.

Un cop hem analitzat els paràmetres acústics de la sala es pot fer una valoració de les condicions acústiques d'aquesta, referint-nos a aquesta quan la conforma tot el mobiliari habitual. L'avaluació de l'acústica de la sala, segons la informació de la qual es disposa sobre els valors recomanats, és satisfactòria. A grosso modo tots els paràmetres estudiats proporcionen uns resultats dins dels rangs proposats.

Si bé és cert, a freqüències baixes és on trobem els principals problemes de la sala. Per a freqüències d'entre 125Hz i 250Hz el temps de reverberació és lleugerament superior al recomanat i, tant l'índex de claredat com la definició de la veu, mostren un dèficit en la banda freqüencial més baixa. El temps de reverberació es veu afectat principalment per les dimensions de la sala i les superfícies que la conformen. Per a reduir aquest paràmetre només a freqüències baixes cal reduir l'excés d'energia en aquest rang freqüencial. D'altra banda, per a incrementar els paràmetres referents a la veu, s'ha d'augmentar la quantitat d'energia sonora de les primeres reflexions en vers a les tardies.

Tenint en compte aquestes observacions es proposen una sèrie de millores per a acabar d'ajustar aquests paràmetres acústics i obtenir un millorament acústic. L'objectiu de les propostes serà obtenir un punt d'escolta neutre per a mesclar amb la mínima coloració del so possible. Per a fer-ho, es divideix la sala en dos zones, la zona frontal i la zona posterior. La zona frontal, on estan situats els altaveus i el punt d'escolta, seria la zona que concentraria més material absorbent, essent així una zona amb una alta absorció. La zona posterior seria la zona situada darrere el punt d'escolta i hauria de ser viva sense gaire tractament acústic.

La primera proposta de millora es centra en la distribució de la sala. Primerament caldria determinar quina serà la zona frontal i posterior. Donat que la zona posterior és preferiblement viva, s'hauria de situar la taula en la paret contrària a on està la finestra, quedant tant la finestra com la porta en la zona posterior de la sala. Aleshores, un cop determinada l'orientació de la paret frontal es colocaria la taula al centre d'aquesta paret, separant-la uns 20cm. El fet de situar la taula centrada a la mateixa distància entre les dues parets laterals fa que la imatge estèreo no es vegi alterada. La col·locació dels monitors i els punt d'escolta no variaria respecte a la distribució actual, formant aquesta un triangle equilàter entre ells. Aquesta nova distribució tindrà efectes en els paràmetres acústics, però segurament no siguin suficients per a complir amb els valors recomanats, per tant, fa falta un cert tractament acústic. Inicialment,

s'hauria de tractar la paret frontal afegint material absorbent darrere dels altaveus, i trampes de greus a les cantonades. D'aquesta manera les freqüències baixes veurien reduïda la seva energia a l'afegir material absorbent específic per a elles. Aleshores, la distribució proposada proporciona que ambdues parets laterals siguin simètriques en la zona frontal. En aquestes, seria necessari col·locar material absorbent a l'alçada de l'orella en aquells punts on estan presents les primeres reflexions de la sala.

Mitjançant aquest nou disseny només hem tingut en compte l'ajustament dels paràmetres acústics però, cal destacar que la presència de modes propis continuen essent existents. El fet que les parets siguin paral·leles provoquen la seva aparició, però la modificació de l'estructura no és factible. Per això, un mètode per a reduir l'afectació dels modes propis d'una sala és augmentar el factor d'amortiment mitjançant materials absorbents que siguin efectius a freqüències baixes. En les parets laterals, caldria desfasar el material absorbent fent que no quedi un davant de l'altre i, d'aquesta manera, s'evitaria la possible aparició d'ecos entre les parets laterals. En quant als modes propis originats entre el sòl de la sala i el sostre es podria afegir material absorbent al sostre, distribuint-lo com un tauler d'escacs, i al terra es colocaria una catifa sota el punt d'escolta. Per últim, els modes propis entre la paret frontal i la posterior ja es veurien tractats amb el material absorbent situat en la paret frontal, i només caldria afegir una cortina a la finestra per absorbir els modes.

## References