

DISSENY D'UNA SALA POLIVALENT PER UNA SOCIETAT MUSICAL

Autor: Josep Torres Salort
Tutors: - Carlos José Gómez Alfonso
- Ignacio Enrique Guillén Guillamón

9 de Novembre de 2015

RESUM

Disseny d'una sala polivalent per una societat musical atenent als paràmetres acústics que defineixen la qualitat acústica d'una sala d'aquestes característiques i a la màxima polivalència en el seu ús. Extracció d'uns pautes de disseny a partir de l'anàlisi de diferents sales de reduïdes dimensions i posterior creació d'un model de sala ideal. Simulació acústica i valoració de la sala inicial. Finalment, aplicació del prototip i les millores pertinents a la sala objecte del treball, simulació acústica i valoració de les millores obtingudes.

PARAULES CLAU

acústic, acústica, anàlisi, arquitectura, auditori, càmera, condicionament, disseny, escola, música, musical, polivalent, sala, simfònica, simulació, societat

AGRAÏMENTS

- Departament d'Urbanisme. Ajuntament de Gandia
- David Zurriaga, gerent del Teatre Serrano
- 3POL Arquitectes

ÍNDEX

1. Introducció	pàgina: 7
1.1. Objectius	pàgina: 7
1.2. Metodologia	pàgina: 7
2. Conceptes bàsics per al disseny d'una sala de música	pàgina: 9
2.1. Introducció al disseny de sales	pàgina: 9
2.2. Paràmetres i factors de mèrit	pàgina: 11
— Temps de reverberació	pàgina: 12
— Calidesa (BR)	pàgina: 13
— Brillantor (Br)	pàgina: 14
— Temps de reverberació immediat (EDT)	pàgina: 14
— Temps de retard inicial del so (ITDG)	pàgina: 15
— Índex de definició (D_{50})	pàgina: 15
— Índex de claredat musical (C_{80})	pàgina: 16
— Nivell total de so (L_T) o Sonoritat (G)	pàgina: 16
— Índex d'intel·ligibilitat (STI)	pàgina: 17
— Textura	pàgina: 17
— Espacialitat del so	pàgina: 17
— Índex de difusió (SDI)	pàgina: 18
— Suport objectiu (ST1)	pàgina: 18
2.3. Problemes acústics típics	pàgina: 19
— El fenomen de l'eco	pàgina: 19
— Les focalitzacions del so	pàgina: 19
— Murmuri de galeries	pàgina: 19
— Coloracions tonals	pàgina: 19
— Desplaçament de la font sonora (falsa localització)	pàgina: 20
2.4. Criteris de disseny	pàgina: 21
2.4.1. Criteris geomètrics	pàgina: 21
— La forma en planta	pàgina: 21
— La forma del sostre	pàgina: 27
— La forma del sòl o paviment	pàgina: 29
2.4.2. Difusió en la sala	pàgina: 31

3. Anàlisi de referències	pàgina: 33
3.1. Metodologia	pàgina: 33
3.2. Anàlisi i valoració de les sales	pàgina: 35
— Auditori en Alguenya	pàgina: 36
— Auditori i Conservatori Municipal de Vila-Seca	pàgina: 38
— Auditori Kursaal (sala de càmera)	pàgina: 40
— Caixa Fòrum de Saragossa	pàgina: 42
— Centre Cultural de Leioa	pàgina: 44
— Conservatori de Cant Coral de Bondy	pàgina: 46
— Conservatori de Música al Districte 17 de París	pàgina: 48
— Escola de Música i Conservatori de Terrassa	pàgina: 50
— M - Auditori en Bombai	pàgina: 52
— Teatre Serrano (sala secundària)	pàgina: 54
3.3. Comprovació i valoració de l'anàlisi	pàgina: 57
3.4. Prototip de sala ideal	pàgina: 61
4. Disseny de la sala	pàgina: 65
4.1. Descripció del projecte base	pàgina: 65
4.2. Avaluació del model existent	pàgina: 69
4.3. Aplicació del prototip al model	pàgina: 79
4.4. Comprovació del nou model	pàgina: 83
5. Conclusions	pàgina: 91
6. Bibliografia i fonts	pàgina: 93
7. Índex d'imatges	pàgina: 97

1. Introducció

El present treball tracta sobre el disseny acústic d'una sala polivalent per una societat musical basant-se en un treball projectual realitzat en l'assignatura de *Projectes 5* durant el curs acadèmic 2014 - 2015, i centrant-se en el disseny acústic com a principal condicionant. El projecte base tracta sobre el disseny d'una societat musical amb un xicotet auditori per al barri de Benimaclet situat a la parcel·la delimitada pels carrers C/ de Masquefa a l'est, C/ del Rector Saragossa al sud, i C/ Miracle dels Peixets a l'oest.

1.1. Objectius

L'objectiu principal del treball es centra en l'obtenció d'un disseny per a la sala polivalent abans mencionada d'acord amb unes característiques acústiques adequades. Les premises amb les que es dirigirà l'actuació és l'adequació de la sala per a un ús principal de música de càmera i xicotetes agrupacions musicals. Així com també es tindrà en compte la possible utilització com a sala polivalent, amb la possibilitat d'acollir actes realitzats per les diverses agrupacions veïnals del barri, més encarats a l'ús de la paraula.

D'altra banda, existeixen objectius secundaris necessaris per a l'obtenció del principal i que defineixen les diferents etapes del treball acadèmic.

El primer objectiu a complir és l'assoliment d'uns coneixements sobre l'acústica general, i en particular sobre l'acústica arquitectònica necessaris com a base per a l'elaboració del treball. Aquests coneixements abarcaran des dels principis bàsics del so, fins als paràmetres i criteris a tenir en compte en el disseny de sales de música.

En segon lloc, es presenta com a objectiu l'obtenció d'un patró o prototip de sala ideal a partir de l'anàlisi de diferents sales amb característiques semblants a la que és objecte del treball. Així, es realitza l'anàlisi centrant-se en paràmetres i detalls que es pensen clau en el disseny d'una sala d'aquestes característiques. Els resultats obtinguts es valoraran d'acord amb els ensenyaments i criteris coneguts i es realitzarà aquesta proposta de sala ideal.

Com a objectiu previ a la realització del disseny final, es presentarà l'anàlisi i valoració de la sala objecte del treball per conèixer les deficiències i virtuts d'aquesta, elaborada amb uns coneixements d'acústica molt escassos.

Finalment, d'aquesta manera s'assolirà l'objectiu principal i es realitzarà una valoració de les conclusions obteses.

1.2. Metodologia

Pel que fa a la metodologia emprada, el treball acadèmic es dividirà en tres apartats clarament diferenciats. El primer consistirà en l'elaboració d'uns conceptes bàsics necessaris per al disseny d'una sala de música basant-se en els coneixements de reconeguts autors com poden ser Leo Beranek, Antoni Carrión o Higiní Arau. D'aquesta manera es sintetitzen les variables principals que intervenen en el disseny d'una sala, tenint en compte els diferents punts de vista que es tenen en alguns aspectes i escollint un mètode de valoració per a la sala objecte del treball. També

s'arrepleguen els principals defectes o anomalies que poden posseir les sales d'aquestes característiques, aspecte que resulta molt il·lustratiu a l'hora de realitzar un disseny nou.

El segon apartat del treball consistirà en l'elaboració d'un elenc de deu auditoris amb la finalitat d'analitzar-los, valorar-los i obtenir unes conclusions o paràmetres comuns. Així, s'analitzaran diferents aspectes i valors, tan numèrics com materials, o referents a valoracions subjectives atenent als coneixements adquirits anteriorment. A partir d'aquests resultats, es realitzarà l'elaboració d'una sala ideal o prototip amb les característiques obteses de l'anàlisi i les adaptacions pertinents segons els criteris acústics coneguts.

En l'últim apartat es procedirà al disseny de la sala polivalent, i per aconseguir-ho es realitzaran uns passos previs. En primer lloc es presentarà, analitzarà i valorarà la sala del projecte inicial, de forma semblant al que s'ha fet amb les sales de referència, amb la particularitat que es realitzarà una model tridimensional per simular-lo i avaluar-lo amb un programari informàtic. D'aquesta manera, es realitzarà un anàlisi més exhaustiu tenint en compte paràmetres acústics i realitzant una valoració d'aquests amb el mètode dels factor de mèrit d'Higini Arau.

Una vegada analitzat el model inicial, s'aplicarà el prototip a aquest per millorar les condicions acústiques de la sala i realitzar un disseny adequat per a l'ús especificat. Així, aquest nou model s'analitzarà, valorarà i es realitzarà una nova simulació informàtica per obtenir els nous paràmetres que indiquen la valoració objectiva de la sala.

Per últim, s'aplegaran les conclusions derivades del desenvolupament del treball i dels resultats i disseny final obtesos.

2. Conceptes bàsics per al disseny d'una sala de música.

2.1. Introducció al disseny de sales.

Com bé diu Antoni Carrión [1]: "El disseny d'una sala destinada a la interpretació musical és, sense dubte, el que comporta una major complexitat des del punt de vista acústic". No existeix un mètode matemàtic exacte per determinar la qualitat acústica d'una sala degut a que aquesta respon a valoracions subjectives.

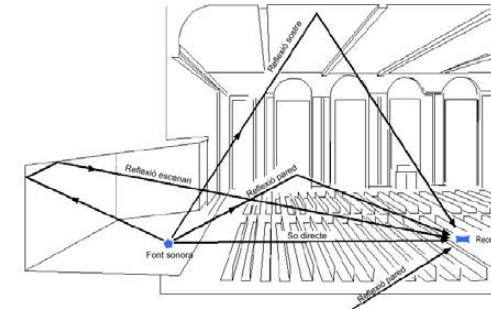
Poc a poc s'han anat desenvolupant paràmetres i criteris objectius per poder qualificar un espai acústicament, en contraposició a la subjectivitat que històricament ha caracteritzat la valoració d'una sala. Aquests paràmetres s'han extret analitzant aquelles sales considerades com a excel·lents i fixant uns valors representatius que s'estableixen com a patró per al disseny de noves sales.

Actualment, existeixen diferents teories per enfrontar-se al disseny d'una sala [2]:

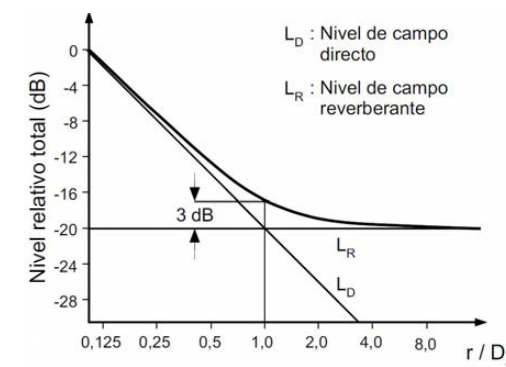
- ~ **L'acústica geomètrica:** mitjançant la qual associem un raig de propagació a l'ona sonora creada a l'interior d'una sala. Així, es formula una llei de reflexió equivalent a la teoria òptica dels espills [imatge 1]. Aquest mètode posseïx algunes restriccions com poden ser:
 - Les longituds d'ona deuen ser xicotetes en comparació amb les dimensions de la sala i els obstacles d'aquesta. Si no és així, poden aparèixer fenòmens de difracció.
 - L'absorció de l'aire deu ser molt inferior a l'absorció de les parets reflectants.
- ~ **L'acústica estadística:** mitjançant la qual estudiem estadísticament els rajos sonors conjuntament, és a dir, no s'estudia l'incidència d'un raig sinó la totalitat d'aquests. Aquest fet es fonamenta en la idea que l'energia situada dins d'una sala varia des que la font comença a radiar fins que desapareix aquesta energia de la sala.

En primer lloc, les ones emeses per la font es propaguen lliurement per la sala durant un instant xicotet de temps fins que arriben a les parets. En aquest moment, l'energia es reflexa en les parets i va incrementant-se el valor total d'aquesta fins arribar a un màxim (es crea el *camp reverberant*). D'aquesta manera, si es silencia la font sonora, existeix un període de temps fins que aquest camp s'extingeix i l'energia es dissipa fins ser inaudible.

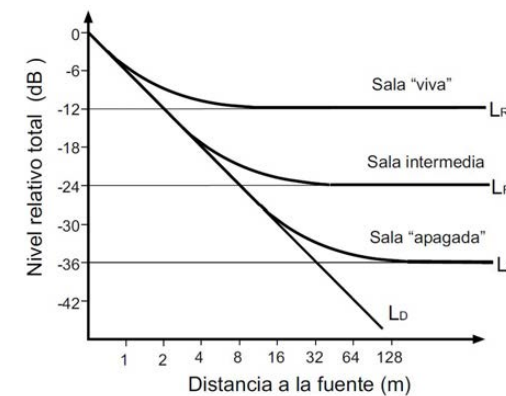
Així, el càlcul de la pressió sonora en un punt qualsevol de la sala s'obté a partir de la contribució de les pressions sonores del so directe (*camp directe*) i les del so reflexat (*camp reverberant*). Existeix una distància, denominada *distància crítica* D_c , on la pressió del camp directe L_D és igual a la pressió del camp reverberant L_R [3]. Es pot demostrar que, quan més absorbent siga la sala a una determinada freqüència, major serà la distància crítica i menor el nivell relatiu de pressió sonora [imatge 3].



Imatge 1. Exemple de l'arribada del so directe i de les primeres reflexions a un receptor.



Imatge 2. Evolució del nivell relatiu total de pressió sonora en funció de la distància a la font sonora normalitzada respecte a la distància crítica D_c .



Imatge 3. Gràfica de nivells relatius totals de pressió sonora corresponents a una sala viva, una intermèdia, i una d'apagada.

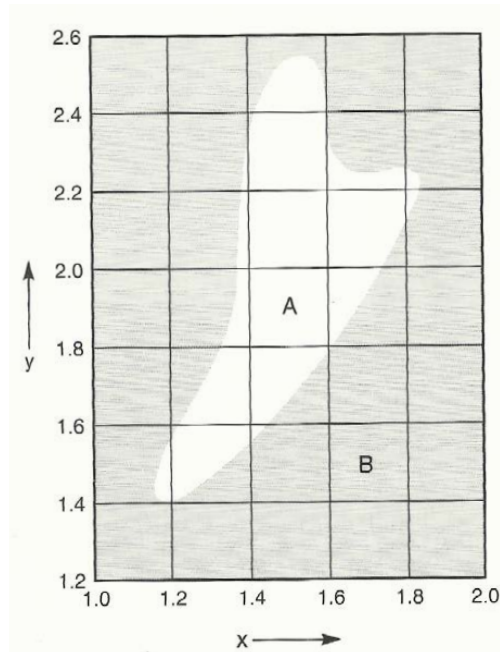
[1] CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003, p. 223
 [2] ARAU, H.: *ABC de la acústica arquitectónica*, Barcelona: CEAC, 1999, p. 217-218
 [3] CARRIÓN, A., ref 1, p. 61

~ **L'acústica ondulatoria:** Pel que fa a l'anàlisi ondulatori, és necessari realitzar-ho mitjançant un tractament matemàtic de l'equació d'ones i les corresponents condicions de contorn. Així, podem observar que una sala rectangular actua com un *ressonador complex* i que té diversos modes normals de vibració denominats *autotons* o *autofreqüències*, o també [4] *modos propis*.

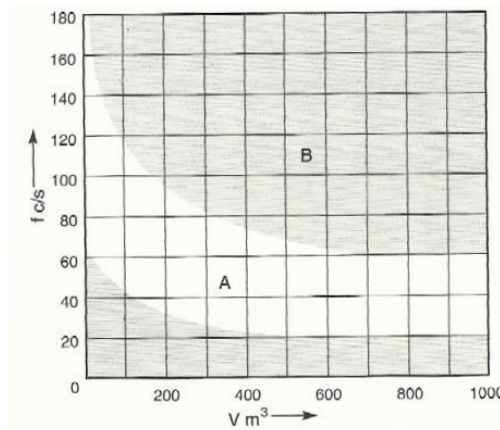
Aquests *autotons* es produïxen per la combinació d'ones incidents i reflexades i les conseqüents interferències, tant destructives com constructives, establint-se [5] una *freqüència fonamental* i múltiples d'aquesta.

Aquests fets provoquen que, quan un so amb diferents freqüències s'introdueix a una sala, les freqüències properes a la freqüència fonamental s'accentuaràn i donarà lloc al que es coneix com a *coloracions*. Normalment aquest fet es dona en sales de dimensions reduïdes i la seva determinació és molt complexa [6], únicament en recintes paral·lelepèdics amb superfícies totalment reflexants es possible calcular de forma senzilla.

Per tant, el disseny d'una sala no segueix un patró o unes pautes clarament establertes, sinó que és un procés iteratiu on, basats en l'experiència, es coneixen una sèrie de virtuts i defectes que dotaran a la sala d'una bona qualitat acústica. Algunes d'aquestes característiques es podran recollir mitjançant paràmetres numèrics però d'altres respondran a valoracions o aspectes no quantificables matemàticament.



Imatge 4. Diagrama de Bolt. Mètode per a la selecció de sales favorables.



Imatge 5. Diagrama per a la selecció de sales favorables amb Bolt

PARÀMETRO ACÚSTIC	PONDERACIÓ	COEFICIENTE
(1-IACC _{E3})	25%	S1
EDT _{mid}	25%	S4
SDI	15%	S6
G _{mid}	15%	S3
t _l	10%	S2
BR	10%	S5

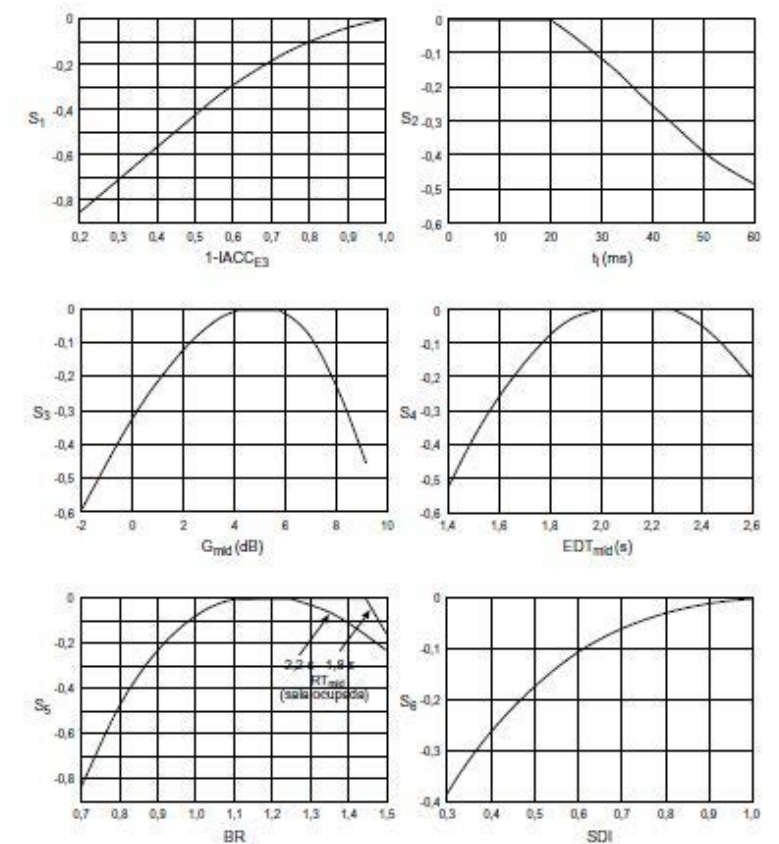
Imatge 6. Ponderació i coeficient associat a cada paràmetre acústic (segons Beranek)

2.2. Paràmetres i factors de mèrit.

Com bé hem dit abans, per al correcte funcionament acústic d'una sala s'han de tenir en compte diferents aspectes de les tres teories acústiques, algunes de les quals seràn quantificables numèricament. Existeixen diferents mètodes numèrics dirigits a representar la qualitat acústica d'una sala de concerts.

Un d'aquests és el mètode de Ando definit al seu llibre *Concert Hall Acoustics* (1985), i la seua adaptació realitzada per Beranek (1996) la qual explica Antoni Carrión al seu llibre *Diseño acústico de espacios arquitectónicos* [7]. Aquest mètode estableix uns valors frontera, per a diferents paràmetres, entre els quals s'ha de situar el valor de la sala en qüestió. Aquests valors han sigut extrets a partir d'un valoració subjectiva realitzada per experts del món de la música, relacionant-los amb els resultats numèrics obtesos dels paràmetres d'aquestes sales.

Ando i després Beranek [8], estableixen sis paràmetres estadísticament independents, és a dir, que les variacions d'aquests no afecta a la resta. Així, en funció d'una ponderació per paràmetre i d'unes gràfiques on s'estableixen les equacions de valoració d'aquestos paràmetres, s'obté un coeficient numèric final.



Imatge 7. Gràfics per a l'obtenció dels coeficients associats als sis paràmetres acústics estadísticament independents

De les gràfiques anteriors s'observa que el valor màxim de cada coeficient és 0, per tant, una sala òptima s'aconseguirà quan:

$$S = S_{\text{màx}} = 0$$

[4] CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003, p. 56
 [5] ARAU, H.: *ABC de la acústica arquitectónica*, Barcelona: CEAC, 1999, p. 223
 [6] CARRIÓN, A., ref. 4, p. 57

[7] CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003, p. 293
 [8] CARRIÓN, A., ref. 7, p. 294

Un altre mètode dirigit a representar la qualitat acústica d'una sala és el mètode dels *factors de mèrit*, desenvolupat per Higiní Arau i que nosaltres utilitzarem per qualificar el nostre disseny. Aquest mètode naix de la mateixa idea que el mètode anterior però té xicotetes diferències amb aquest.

Una d'aquestes i la més significativa és que estableix nous i diferents paràmetres estadísticament independents. També és remarcable que simplifica matemàticament les gràfiques d'obtenció dels coeficients o *factors de mèrit* mitjançant intervals lineals. Per últim, elimina la ponderació característica per a cada *factor de mèrit* per simplificar l'obtenció del final amb el càlcul d'una mitjana aritmètica[9].

$$FM_{GLOBAL} = \sum_{i=1}^n FM_i / n$$

Així, en aquest apartat es descriuen els principals paràmetres que intervenen en el disseny i caracterització d'una sala auditori, així com les funcions per obtenir els factors de mèrit desenvolupats per Higiní Arau

— Temps de reverberació (T)

Com s'ha dit abans quan s'ha explicat l'acústica estadística, quan una font està radiant en un recinte, les ones es reflexen en les parets donant lloc al camp reverberant i aquest tarda un lapse de temps en extingir-se. Subjectivament, el *temps de reverberació T* es considera que és el període de temps que transcorre des que la font para d'emetre fins que el so es fa inaudible. Però, tècnicament es defineix com [10] "el temps (en segons) que transcorre des que el focus emissor es para, fins que el nivell de pressió sonora establert a la sala s'haja reduït 60 dB".

En la realitat, mesurar aquest paràmetre comporta unes dificultats tècniques degut a que moltes vegades la diferència entre la pressió sonora que produeix la font i el soroll de fons és inferior a 60dB. D'aquesta manera s'han establert diferents mètodes de mesura del temps de reverberació. Un d'aquests és el **T30** que consisteix en mesurar el temps que tarda en reduir-se 30 dB la pressió sonora del recinte des que s'atura la font sonora, i multiplicar-ho per dos. D'aquesta manera els resultats són comparables amb el **T60** (temps de reverberació per a una caiguda de 60 dB) o amb d'altres com el **T20**, i comparteixen un ordre de magnitud.

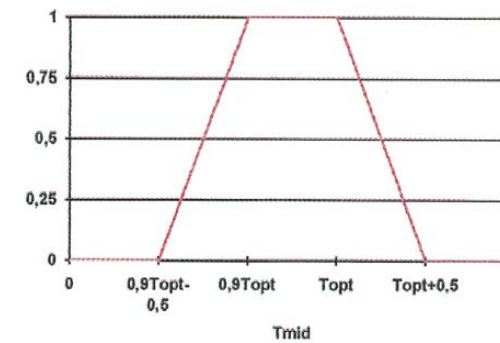
Així [11], una sala amb un temps de reverberació baix es considera una sala *apagada* o *sorda* i, anàlogament, una sala amb un temps de reverberació alt es considerarà una sala *viva*. També s'extrau que, quan més absorbents siguin les superfícies del recinte, menor serà el *temps de reverberació*.

S'ha de tenir en compte que existeixen moltes fórmules per al càlcul del *temps de reverberació T*, però la fórmula clàssica per excel·lència i adoptada a nivell internacional per la seua senzillesa de càlcul és la coneguda fórmula de Sabine. Aquesta expressió matemàtica està extreta de la teoria acústica estadística despreciant l'efecte d'absorció de l'aire [12]:

$$T = 0.161 \cdot V / A_{tot} \text{ (en segons)}$$

on:
 V = Volum del recinte (en m³)
 A_{tot} = Absorció total del recinte

[9] ARAU, H.: *ABC de la acústica arquitectónica*, Barcelona: CEAC, 1999, p. 267
 [10] ARAU, H., ref. 9, p. 262
 [11] CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003, p. 63
 [12] CARRIÓN, A., ref. 11, p. 64



Imatge 10. Factor de mèrit per a un valor de T_{mid} donat en funció de T_{opt}

Per al càlcul del factor de mèrit, Arau estableix que el temps de reverberació mitjà T_{mid} (valor mitjà dels valors de T de 500 i 1000 Hz) deu estar entre uns valors màxim i mínim calculats en funció de les característiques particulars de la sala i el seu ús. Aquests valors s'obtenen a partir de les equacions de mèrit que depenen d'un valor de referència que Arau anomena T_{opt}. Per al càlcul del T_{opt}, Arau elabora unes fórmules a partir dels gràfics elaborats per Cremer[13].

El procediment és el següent, per a les sales de concerts s'estableixen unes fórmules d'on extraure dos valors, un de màxim T_{opt màx} i un de mínim T_{opt mín}, a partir dels quals extraurem el valor mitjà d'aquests T_{mid}. Després, en funció de l'ús de la sala, s'obindrà el T_{opt} com al valor mitjà entre T_{opt mín} i T_{mid} per a sales de música de càmera, o com al valor mitjà entre T_{opt màx} i T_{mid} per a sales de música simfònica[14].

$$T_{opt\ màx} = 0.4245 V^{0.1331}$$

$$T_{opt\ mín} = 0.60 V^{0.0325}$$

D'aquesta manera, amb el T_{opt} específic per a la sala analitzada i el T_{mid} calculat, o mesurat, s'obté el factor de mèrit M_{T_{mid}} mitjançant l'entrada de dades als intervals següents[15]:

$$M_{T_{mid}} = \begin{cases} 0 & \text{para } T_{mid} \leq 0.9T_{opt} - 0.5 \\ 1 - (1.8T_{opt} - 2T_{mid}) & \text{para } 0.9T_{opt} - 0.5 < T_{mid} < 0.9T_{opt} \\ 1 & \text{para } 0.9T_{opt} \leq T_{mid} \leq T_{opt} \\ 1 - 2(T_{mid} - T_{opt}) & \text{para } T_{opt} < T_{mid} < T_{opt} + 0.5 \\ 0 & \text{para } T_{mid} \geq T_{opt} + 0.5 \end{cases}$$

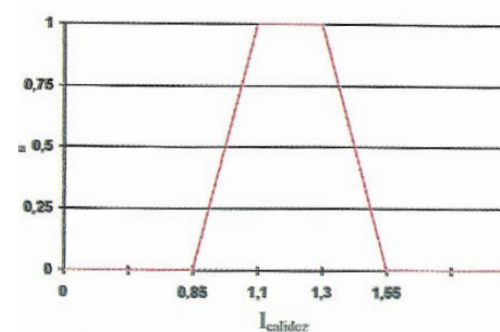
— Calidesa (BR)

La calidesa és un paràmetre que mesura la bona resposta a baixes freqüències o greus. Des del punt de vista acústic, la calidesa representa la riquesa de freqüències greus, la suavitat i la melositat en la música. Com a mesura objectiva de la calidesa s'utilitza l'índex de calidesa I_{calidez} o, com l'anomena Beranek, **BR** (*Bass Ratio*)[16]. Aquest és el valor mitjà de T a freqüències greus (125 Hz i 250 Hz) T_{low}, i el valor mitjà de T a freqüències mitjanes (500 Hz i 1000Hz) T_{mid}.

$$I_{calidez} = \frac{T(125\text{ Hz}) + T(250\text{ Hz})}{T(500\text{ Hz}) + T(1\text{ kHz})} = \frac{T_{low}}{T_{mid}}$$

Així, depenent de l'ús de la sala s'estableix un valor òptim que en música (simfònica i òpera) es situa en 1.2. Per obtenir el factor de mèrit M_{calidez} s'utilitzen els intervals següents[17]:

$$M_{calidez-música} = \begin{cases} 0 & \text{para } I_{calidez} \leq 0.85 \\ 4I_{calidez} - 3.4 & \text{para } 0.85 < I_{calidez} < 1.1 \\ 1 & \text{para } 1.1 \leq I_{calidez} \leq 1.3 \\ 6.2 - 4I_{calidez} & \text{para } 1.3 < I_{calidez} < 1.55 \\ 0 & \text{para } I_{calidez} \geq 1.55 \end{cases}$$



Imatge 11. Factor de mèrit donat per a un valor de I_{calidez}

[13] ARAU, H.: *ABC de la acústica arquitectónica*, Barcelona: CEAC, 1999, p. 249
 [14] ARAU, H., ref. 13, p. 249
 [15] ARAU, H., ref. 13, p. 262
 [16] CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003, p.225
 [17] ARAU, H., ref. 13, p. 263

— Brillantor (Br)

La brillantor és un paràmetre que mesura la bona resposta a freqüències altes. Des del punt de vista acústic, la brillantor indica que el so de la sala és clar i ric en harmònics. Com a mesura objectiva de la brillantor s'utilitza l'índex de brillantor I_{brillo} o **Br**. Aquest és el valor mitjà de **T** a altes freqüències (125 Hz i 250 Hz), T_{high} , i el valor mitjà de **T** a freqüències mitjanes (500 Hz i 1000Hz), T_{mid} .

$$I_{brillo} = \frac{T(2\text{ kHz}) + T(4\text{ kHz})}{T(500\text{ Hz}) + T(1\text{ kHz})} = \frac{T_{high}}{T_{mid}}$$

El valor d'aquest paràmetre s'ha de situar el més alt possible, tractant d'arribar a 1 i evitant que siga inferior a 0.8. Així, sols s'estableix un valor òptim tant per a música com per a teatre. Per obtenir el factor de mèrit M_{brillo} s'utilitzen els intervals següents[18]:

$$M_{brillo} = \begin{cases} 0 & \text{para } I_{brillo} \leq 0.45 \\ 2.86I_{brillo} - 1.29 & \text{para } 0.45 < I_{brillo} < 0.8 \\ 1 & \text{para } 0.8 \leq I_{brillo} \leq 1 \\ 3.857 - 2.86I_{brillo} & \text{para } 1 < I_{brillo} < 1.35 \\ 0 & \text{para } I_{brillo} \geq 1.35 \end{cases}$$

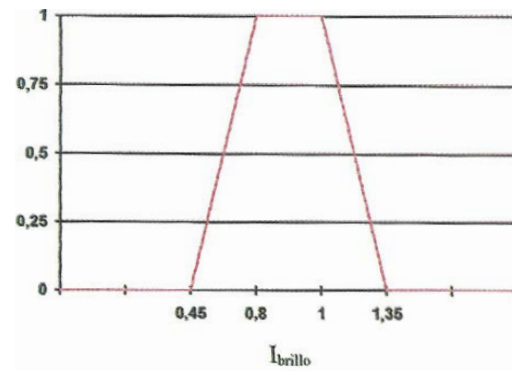
— Temps de reverberació immediat (EDT) (Early Decay Time)

L'EDT es defineix com el temps (en segons) que tarda en disminuir 60 dB el nivell de pressió sonora, des que la font d'eixa d'emetre so, calculat amb el pendent corresponent als primers 10 dB de caiguda. És a dir, és el **T10**, el temps de reverberació quan es redueix en 10 dB la pressió sonora multiplicat per 6. S'anomena temps de reverberació immediat perquè en sales on l'absorció no és uniforme, el pendent d'aquesta zona sol ser diferent al del **T60** o **T**. En canvi, en camp difós (absorció uniforme), la caiguda del nivell de pressió sonora serà quasi lineal i no hi haurà diferència entre el **EDT** i el **T60** [19].

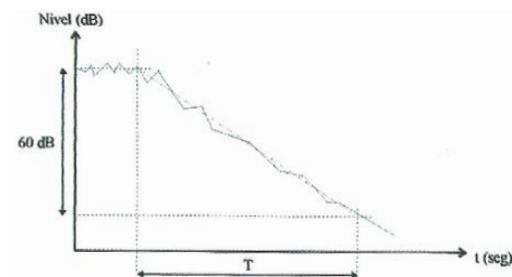
L'EDT està més relacionat amb la impressió subjectiva de reverberació d'un recinte que el **T**. Llavors si els valors per a l'EDT són substancialment menors que els valors de **T**, la sala sonarà més apagada per a música però serà més intel·ligible per a la veu. Així, es diferencien els valors òptims segons l'ús siga per a teatre, òpera o concerts. En el cas que ens pertoca, per obtenir el factor de mèrit M_{EDT} s'utilitzen els intervals següents [18]:

$$M_{EDT-conciertos} = \begin{cases} 0 & \text{para } EDT_{mid} \leq 0.4 T_{mid} \\ 2(EDT_{mid}/T_{mid}) - 0.8 & \text{para } 0.4 T_{mid} < EDT_{mid} \leq 0.9 T_{mid} \\ 1 & \text{para } 0.9 T_{mid} < EDT_{mid} \leq T_{mid} \\ EDT_{mid}/T_{mid} & \text{para } EDT_{mid} > T_{mid} \end{cases}$$

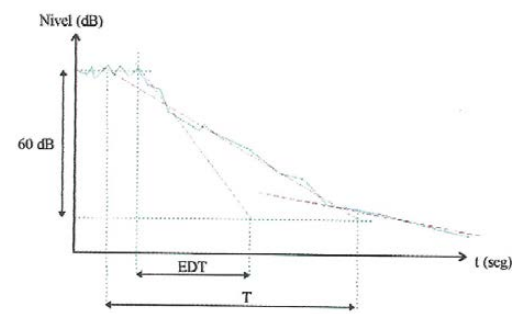
[18] ARAU, H.: *ABC de la acústica arquitectónica*, Barcelona: CEAC, 1999, p. 263
 [19] ARAU, H., ref. 18, p. 264



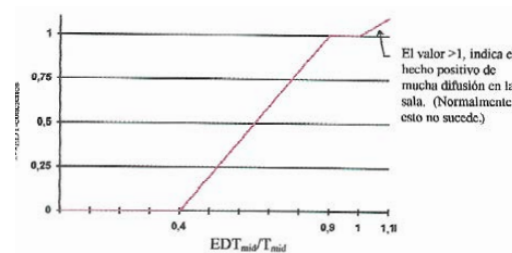
Imatge 12. Factor de mèrit donat per a un valor de I_{brillo}



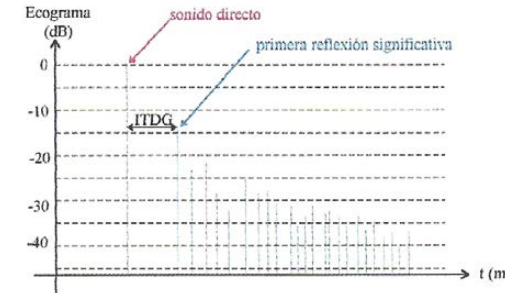
Imatge 13. Representació del temps de reverberació (T) en camp difós



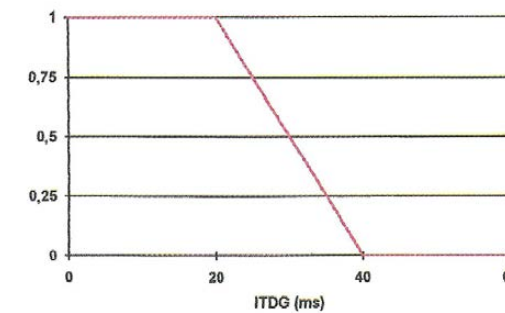
Imatge 14. Representació del temps de reverberació (T) i del temps de reverberació immediat (EDT) en camp no difós



Imatge 15. Factor de mèrit donat per a un valor donat de EDT_{mid}/T_{mid}



Imatge 16. Obtenció de l'ITDG a partir de l'ecograma



Imatge 17. Factor de mèrit donat per a un valor donat de ITDG

— Temps de retard inicial del so (ITDG)

L'ITDG correspon amb la impressió subjectiva d'intimitat acústica [20], és a dir, amb la connexió de l'oient amb la font sonora. Aquest paràmetre valora si el espectador es troba distant o immers en la activitat musical que està escoltant. Beranek associa la valoració d'intimitat acústica amb la sensació que té l'oient d'escoltar la música en un espai de dimensions més reduïdes que les dimensions reals de la sala. Corresponent a un punt concret de la sala, l'ITDG és el temps de retard (en mil·lisegons, ms) amb el que arriba la primera reflexió significativa respecte del so directe considerant les bandes de freqüències entre 125 Hz i 4 Hz[21]. Segons Beranek, el valor recomanat per al centre de la platea deu ser inferior als 20 ms.

Aquest paràmetre es mesura analitzant l'ecograma o corba de decaïment energètic i per obtenir el factor de mèrit M_{ITDG} s'utilitzen els intervals següents [20]:

$$M_{intimidad} = \begin{cases} 1 & \text{para } 0 < ITDG \leq 20 \text{ ms} \\ 2 - ITDG / 20 & \text{para } 20 < ITDG < 40 \text{ ms} \\ 0 & \text{para } ITDG \geq 40 \text{ ms} \end{cases}$$

— Índex de Definició (D_{50})

La Definició, com l'ITDG, està lligada al concepte d'intimitat acústica. Matemàticament, el D_{50} representa la quantitat de pressió sonora que arriba a un punt en els primers 50 ms respecte al valor total de la pressió sonora que emet una font.

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50\text{ ms}} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} * 100 (\%)$$

Una sala dedicada a concert amb bona acústica deu mantindre un D_{50} al voltant del 0.5 (50%). Així, un recinte amb un D_{50} baix es percep com un espai poc íntim, degut a un elevat temps de reverberació, és a dir, una sala massa viva on l'oient es desconnecta per la falta d'energia inicial. Si aquest augmenta significa que la sala és més apagada i està més condicionada per a la parla.

Per obtenir el factor de mèrit $M_{D_{50}}$ s'utilitzen els intervals següents [22]:

$$M_{del-conciertos} = \begin{cases} D/0.45 & \text{para } D \leq 0.45 \\ 1 & \text{para } 0.45 < D \leq 0.6 \\ 2.2 - 2D & \text{para } D > 0.6 \end{cases}$$

[20] CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003, p.228
 [21] ARAU, H.: *ABC de la acústica arquitectónica*, Barcelona: CEAC, 1999, p. 261
 [22] ARAU, H., ref. 21, p. 264

— Índex de Claredat musical(C_{80})

El C_{80} indica la relació entre la quantitat de pressió sonora que es produeix en els primers 80 ms i la resta.

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80 \text{ ms}} p^2(t) dt}{\int_{80 \text{ ms}}^{\infty} p^2(t) dt}$$

D'aquesta manera s'observa, que si el C_{80} és elevat significa que l'energia immediata es superior a la tardana, llavors el so és molt clar. Aquest factor va lligat al *temps de reverberació*, així doncs, si el C_{80} és elevat, l'EDT serà molt menor que el T perquè es produiran moltes més reflexions inicials que tardanes. Aquest fenomen serà característic de les sales o punts de la sala on les superfícies estiguen pròximes a l'oient i la reflexió especular siga molt direccional, com sales amb el sostre baix o les zones de balcons i amfiteatres.

Existeix disparitat en la forma de calcular-lo, segons Cremer es calcula en cada banda de freqüència entre 125 Hz i 4 kHz [23], però segons un document preparat per l'enginyer Ronald Furet que trobem a la pàgina web de la consultoria d'Arau, s'exposa que el C_{80} s'obté de la mitjana dels valors de les bandes de 500 Hz, 1 kHz i 2 kHz [24]. Basant-se en les teories de Barron, Reichard i Lehmann, Arau estableix els següents intervals per obtenir el factor de mèrit C_{80} [25]:

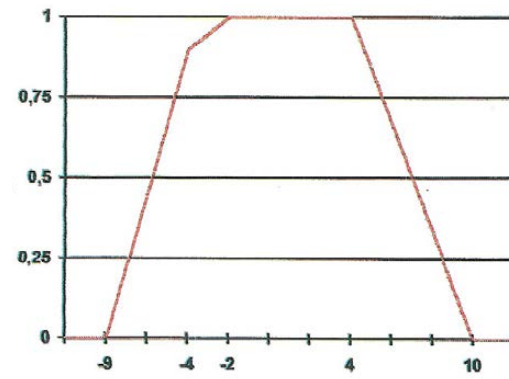
$$M_{C_{80}\text{-conciertos}} = \begin{cases} 0 & \text{para } C_{80} \leq -9 \\ 1.62 + 0.18 C_{80} & \text{para } -9 < C_{80} \leq -4 \\ 1.10 + 0.05 C_{80} & \text{para } -4 < C_{80} \leq -2 \\ 1 & \text{para } -2 < C_{80} \leq -4 \\ 1.6 - 0.16 C_{80} & \text{para } 4 < C_{80} \leq -10 \\ 0 & \text{para } C_{80} > 10 \end{cases}$$

— Nivell total de so (L_t) o Sonoritat (G)

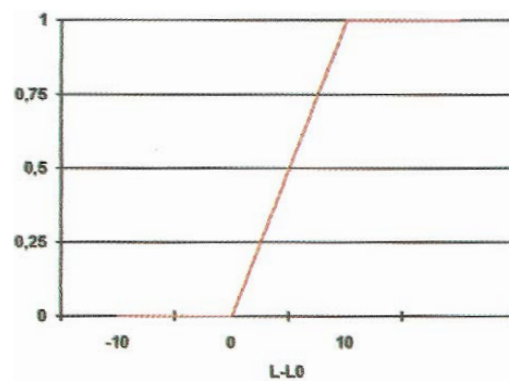
L' L_t (10), conegut com *Total Sound Level* o *Strength*, respon a la diferència entre el nivell total de pressió sonora produït per una font en un punt determinat de la sala i el nivell de pressió sonora produït per una font omnidireccional en *camp lliure* i mesurat a 10 m de la font. El valor de L_t (10) es correspon amb la impressió de sonoritat i depèn de la distància a l'escenari, de la energia de les primeres reflexions i del temps de reverberació. No obstant això, es demostra que depen molt més de l'EDT que del T [26]. Es calcula a partir de la mitjana de 500Hz i 1 kHz[27] i per obtenir el factor de mèrit $M_{D_{50}}$ s'utilitzen els intervals següents:

$$M_{L_t} = \begin{cases} 0 & \text{para } (L - L_0) \leq -10 \\ 1 + (L - L_0)/10 & \text{para } -10 < (L - L_0) \leq 0 \\ 1 & \text{para } (L - L_0) > 0 \end{cases}$$

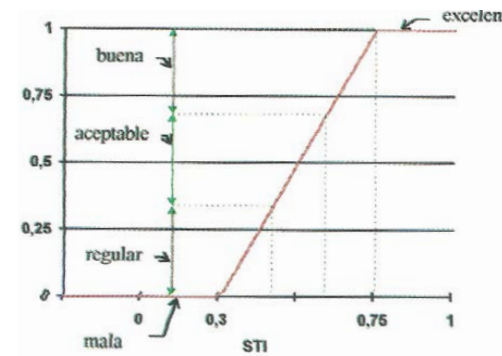
[23] CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003, p.230
 [24] "Parametros acústicos más utilizados en acústica arquitectónica". <https://arauacustica.com/files/publicaciones_relacionados/pdf_esp_100.pdf> [Consulta: 30 de Juliol, 2015]
 [25] ARAU, H.: *ABC de la acústica arquitectónica*, Barcelona: CEAC, 1999, p. 266
 [26] ARAU, H.: "Teoría general de las magnitudes energéticas del sonido en recintos con distribución asimétrica de la absorción": *Revista de Acústica*, vol.27, nº 1 i 2, 1996, p. 23
 [27] CARRIÓN, A., ref. 23, p. 228



Imatge 19. Factor de mèrit donat per a un valor donat de C_{80}



Imatge 20. Factor de mèrit donat per a un valor donat de L_t (10)



Imatge 21. Factor de mèrit donat per a un valor donat de L_t (10)

— Índex d'intel·ligibilitat (STI)

Aquest paràmetre mesura la claredat amb que s'entén la paraula. Per a sales de concerts aquest paràmetre no ha de ser molt elevat però en els casos del teatre o activitats relacionades amb la paraula si que resulta important. S'obté com una funció que depèn del T, de la relació del senyal respecte al soroll de fons e la sala i els possibles ecos[28].

Mala:	$0 < STI < 0.30$
Regular:	$0.30 < STI < 0.45$
Acceptable:	$0.45 < STI < 0.60$
Buena:	$0.60 < STI < 0.75$
Excelente:	$0.75 < STI < 1$

$$M_{STI} = \begin{cases} 0 & \text{para } 0 \leq STI \leq 0.3 \\ 2.22 \cdot STI - 0.67 & \text{para } 0.3 < STI \leq 0.75 \\ 1 & \text{para } STI > 0.75 \end{cases}$$

— Textura

La textura és la impressió subjectiva del so rebut per un oient en un punt qualsevol de la sala, produït per la forma en que les primeres reflexions arriben a les seues oïdes. Una bona textura exigeix una gran quantitat de primeres reflexions dins dels primers 80 ms des de l'arribada del so directe, una distribució uniforme d'aquestes i l'absència de reflexions discretes elevades.

En l'actualitat no existeix cap mètode de mesura objectiu, així doncs, sols pot realitzar-se una valoració subjectiva de la *corba de decaïment energètic* [29].

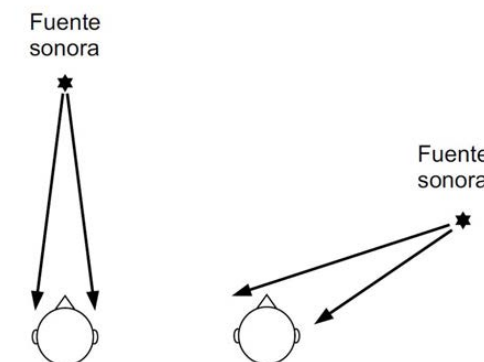
— Espacialitat del so.

L'espacialitat del so és una aspecte que determinarà en gran mesura la qualitat acústica d'una sala. Depèn de dos paràmetres bàsics: l'Amplitud aparent de la font sonora (**ASW**) i la sensació de so envoltant (**LEV**).

Amplitud aparent de la font sonora (**ASW**)

L'**ASW** determina la sensació de que el so que arriba de l'escenari, prové d'una font sonora de major amplitud que la real. Quan major siga el valor de l'**ASW**, major serà la impressió espacial del so i la qualitat acústica de la sala. També, segons Marshall i Barron [30], la **ASW** augmenta amb el nombre de primeres reflexions laterals que arriben a l'oient, açò es deu a que es produeix una major dissimilitud entre les dos oïdes.

Per quantificar el grau d'**ASW** existeixen dos paràmetres: l'*eficiència lateral* **LF** relacionada amb l'energia de les primeres reflexions laterals, i la *correlació creuada interaural* **IACC_E** relacionada amb el grau de dissimilitud amb que arriba el so a les oïdes.



Imatge 22. Grau de dissimilitud entre els sons que arriben a ambdues oïdes en funció de l'angle d'arribada. Incidència frontal(sons semblants) i Incidència lateral (sons diferents)

[28] ARAU, H.: *ABC de la acústica arquitectónica*, Barcelona: CEAC, 1999, p. 267
 [29] CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003, p.233
 [30] CARRIÓN, A., ref 28, p. 234

Sensació de so envoltant (LEV)

L'**LEV** és la sensació d'estar envoltat per el camp sonor, així quan major és l'**LEV**, més envoltant és el so; i de la mateixa manera que en l'**ASW**, quan major siga aquest valor, major serà la qualitat acústica de la sala. Que es produeixi aquesta sensació depén de que el grau de difusió de la sala permeta que arriben a l'oient reflexions desde totes direccions.

Actualment no existeix un mètode per a quantificar el valor de l'**LEV**, però Bradley i Soulodre estàn treballant en el desenvolupament d'un nou paràmetre per quantificar l'**LEV** [31].

— Índex de difusió (SDI)

L'SDI es determina a través d'una inspecció visual. Es tracta de l'anàlisi visual de la sala per determinar la quantitat d'irregularitats de les parets i sostre, i així establir un valor entre 0 (sense irregularitats) i 1 (molt irregular). És un paràmetre molt subjectiu que proposen Haan i Fricke per avaluar el grau de difusió, un aspecte que, fruit de l'anàlisi de moltes sales clàssiques s'observa que és característic de les sales catalogades com a excelents i que, possiblement, pugua ser el paràmetre que diferencia una sala excelent, d'una sala bona o mediocre [32].

— Suport objectiu (ST1)

Aquest paràmetre representa un dels aspectes que moltes vegades es passa per alt en el disseny d'una sala de concerts, la qualitat amb que els músics s'escolten a ells mateixa i a la resta de l'orquestra. L'ST1 es defineix com la relació entre la energia associada a les primeres reflexions entre 20 i 100 ms i la energia relativa als primers 20 ms, reflexades per les parets i el sostre de l'escenari a 1 m d'una font omnidireccional situada a l'escenari.

$$ST1 = \frac{\text{Energía entre 20 y 100 ms}}{\text{Energía hasta 20 ms}} \quad (\text{en dB})$$

La medició es realitza en condicions de sala buida, sense músics i amb tots els elements propis de l'orquestra col·locats. Després de l'anàlisi per bandes de freqüència, es realitza la mitjana entre els valors de les bandes de 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz i 2 kHz. D'aquesta manera i segons Beranek [33]:

$$-14 \leq ST1_{mid} \leq -12,5 \text{ dB}$$

[31] CARRIÓN, A., ref 28, p. 237
 [32] CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003, p.238
 [33] CARRIÓN, A., ref. 31, p. 239

2.3. Problemes acústics típics

En aquest capítol s'exposen algun dels problemes típics associats a les sales de concert.

— El fenomen de l'Eco

En una sala de concerts, un eco és tota aquella reflexió de nivell significatiu que arriba a l'oient en un instant de temps superior als 80 ms des de l'arribada del so directe [34]. Es produeix a causa de l'existència d'una paret posterior reflectant o d'un reflector de cantó, i sempre que la distància entre el punt emisor i el de reflexió siguin superiors a la *distància de eco*. Aquesta distància es pot obtenir si es multiplica la velocitat del so per l'interval de temps de retard, el qual varia segons siga llenguatge (1/20 s) o música (1/10 s) [35]. Resulta perjudicial tant per als oients com per als músics.

Un altre tipus d'eco és l'*eco flotant (flutter echo)*, el qual consisteix en una repetició múltiple en breu període de temps i es degut a l'existència de dues superfícies paral·leles i llises que reflexen el so recíprocament [36].

— Les focalitzacions del so

Una focalització es tracta de la concentració energètica en un o varis punts concrets de la sala. S'apliquen les lleis de l'acústica geomètrica per a superfícies planes. Així, en el moment en que apareix una superfície còncaua es produeixen focalitzacions molt difícils d'eliminar [37].

— Murmuri de galeries

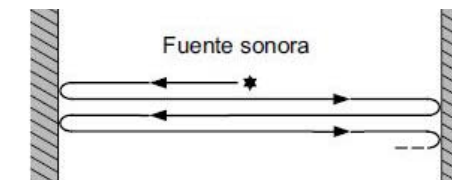
Aquest fenomen es produeix en recintes caracteritzats per una elevada concentració de rajos, com poden ser sales circulars o estructures abovedades. Així, si es produeix un so direccional i de llengüada molt inferior a les dimensions, tant de les parets com del seu radi de corbatura, de forma paral·lela i pròxima a la paret, es produirà una ampliació del so degut a la concentració dels rajos [38].

D'aquesta manera, un murmur, que és un so amb un alt percentatge d'altres freqüències i per tant molt dirigible, pot provocar aquest fenomen i ser escoltat per tota la sala en acostar-se a una paret. A la *imatge 27* es representa aquest fenomen on A és el lloc on es situa la font i B un dels possibles llocs receptors.

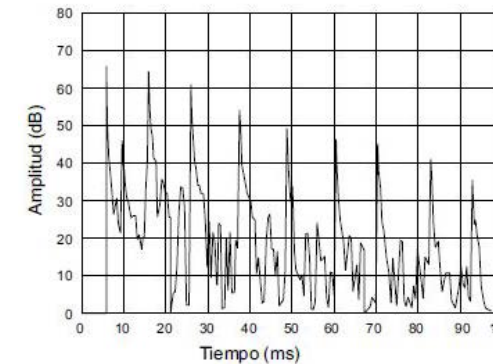
— Coloracions tonals

S'entén per coloració tonal la concentració de reflexions en determinades freqüències sobre un punt de la sala. Aquest fenomen pot ser originat per l'existència de reflectors plans i totalment llisos dirigits cap al públic i pot ser especialment molest i intens en les freqüències altes (per exemple, el so d'un violí).

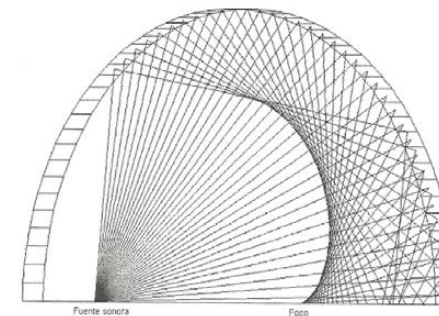
[34] CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003, p.240
 [35] ARAU, H.: *ABC de la acústica arquitectónica*, Barcelona: CEAC, 1999, p. 244
 [36] CARRIÓN, A., ref 33, p. 56
 [37] ARAU, H., ref. 34, p. 246
 [38] ARAU, H., ref. 34, p. 245



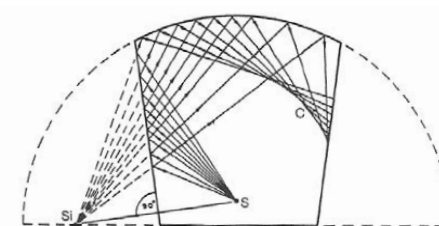
Imatge 23. Eco flotant creat entre dos parets reflectants, llises i paral·leles



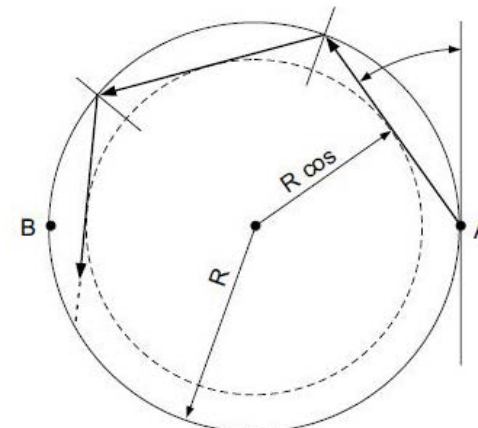
Imatge 24. Ecograma d'un eco flotant



Imatge 25. Concentracions de so provocats pel sostre en una sala hemisfèrica



Imatge 26. Concentracions provocades per una paret final còncaua



Imatge 27. Propagació dels rajos en una superfície circular

— Desplaçament de la font sonora (falsa localització)

Un altre efecte perjudicial per a l'acústica d'una sala és l'existència d'una falsa localització de la font sonora, és a dir, un desplaçament *virtual* de la font sonora. Aquest fenomen es deu a l'existència de fortes reflexions laterals i concentracions d'energia que provoquen la percepció de que el so procedeix únicament de la superfície reflexada [39].

[39] CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003, p.240

2.4. Criteris de disseny

En aquest apartat s'exposaràn els principals criteris pel que fa al disseny d'una sala auditori per aconseguir complir amb els paràmetres abans descrits. Tant a nivell objectiu o matemàtic, per a l'obtenció d'uns factors de mèrit adequats; com pel que fa a paràmetres més subjectius com poden ser aspectes de difusió.

2.4.1 Criteris geomètrics

En aquest apartat tractarem els criteris geomètrics pel que fa a la forma de la sala per aconseguir un adequat nivell de reflexió, tractant d'incidir en els aspectes que provoquen els problemes comuns i diferents mètodes per evitar-los.

— La Forma en planta

Per iniciar el disseny en planta d'una sala s'ha de tenir present l'aspecte de les reflexions i tots els aspectes positius que comporta, així com els negatius que pot provocar. Per tant, l'existència d'una gran quantitat de primeres reflexions en una sala contribuiràn a un augment de la *sonoritat* i de la *claredat musical*, però si les reflexions s'exedeixen en el temps poden arribar a formar *fenòmens d'eco* i pèrdua d'*intel·ligibilitat* i d'*intimitat acústica* gens aconsellables per a l'audició [40].

Com a premisa inicial, un criteri a respectar és que la distància màxima entre l'escenari i l'espectador més allunyat a la platea siga 30 metres. Per contra, en els balcons i amfiteatres es pot arribar als 40 metres sempre que existeixquen superfícies que proporcionen primeres reflexions importants a aquestes zones [41].

D'altra banda, des d'un punt de vista geomètric, s'ha de tenir en compte l'aspecte de la focalització com un paràmetre a controlar. Com bé s'ha dit abans la focalització és un paràmetre negatiu que empitjora la qualitat acústica d'aquests punts dins la sala. Així, cal evitar un fenomen geomètric que les origina com poden ser les superfícies còncaues, sobretot aquelles amb un radi de corbatura menut ja que concentren molt més l'energia en un punt determinat.

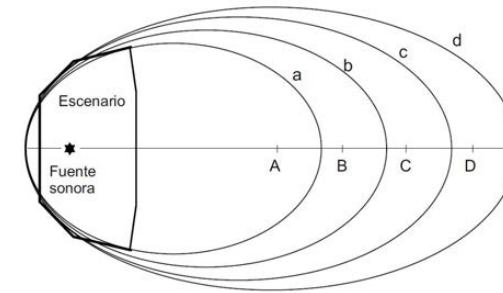
Per contra, existeixen mètodes mitjançant els quals s'utilitzen superfícies còncaues per produir reflexions. Un d'aquests mètodes és el de les el·lipses de retard constant (*imatge 28*) [42], amb el qual, mitjançant la superposició d'el·lipses de diferents tamanys, s'obtenen reflexions sobre diferents punts amb un retard o distància recorreguda per la reflexió constants. Així, s'aconsegueixen distribucions més o menys homogènies del temps de reverberació en tota la llongitud de la sala.

La forma en planta és un aspecte determinant en el disseny d'un auditori. No existeix una solució única i òptima, però existeixen tipologies arreplegades per alguns autors que es repeteixen en molt auditoris i dels quals es coneixen les virtuts i els defectes que genera aquesta distribució. A continuació s'exposen algunes d'aquestes i les seues característiques:

[40] CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003, p.208

[41] CARRIÓN, A., ref. 39, p. 273

[42] CARRIÓN, A., ref. 39, p. 252



Imatge 28. Conjunt d'el·lipses de retard constant

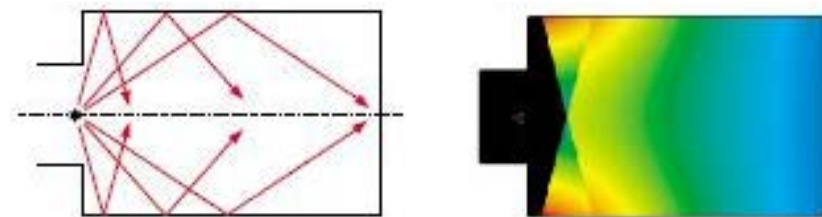
Forma rectangular (*shoe-box halls*)

Característiques positives:

- Gran nombre de primeres reflexions laterals per la proximitat de les parets al públic
 - *Sonoritat i intimitat acústica* elevada
 - Les tres sales considerades unànimement com les millors del món tenen aquesta forma [43]: *Viena Musikvereinssaal*, Austria; *Amsterdam Concertgebouw*, Holanda; *Boston Symphony Hall*, EE.UU
- Cal apuntar que aquestes sales tenen un elevadíssim grau de difusió degut a les moldures i formes de parets i sostre.

Característiques negatives:

- Sales relativament estretes
- Possibilitat de creació d'ecos flotants degut a parets excessivament llises i reflectants
- Possibilitat de creació de modes propis o autofreqüències



Imatge 33. Sala de forma rectangular. Generació de reflexions laterals i mapa del nivell de pressió sonora generat.

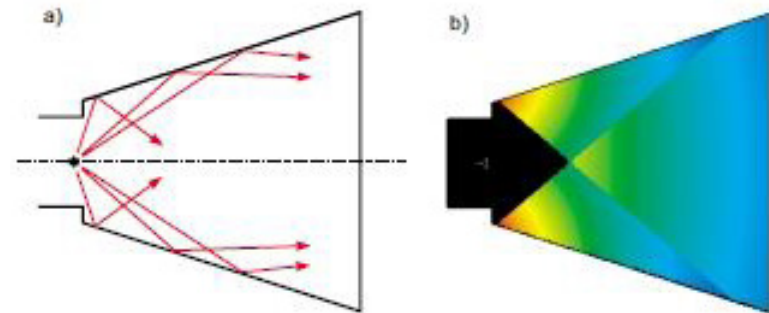
Forma de palmell (*fan shaped halls*)

Característiques positives:

- Possibilitat d'un gran aforament
- Visuals acceptables en tota la sala

Característiques negatives:

- Inexistència de primeres reflexions laterals sobre la part central de la sala, *sonoritat i intimitat acústica* reduïda en aquesta zona
- Quan més obert siga l'angle del palmell, la acústica serà més desfavorable



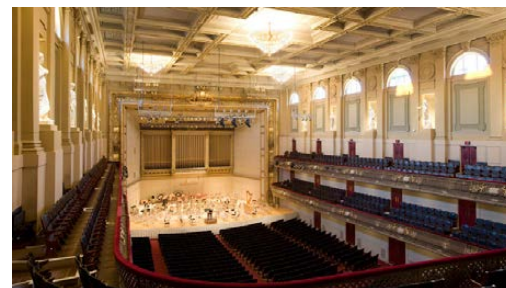
Imatge 34. Sala amb forma de palmell. Generació de reflexions laterals i mapa del nivell de pressió sonora generat.



Imatge 29. Vienna Musikvereinssaal, sala amb forma rectangular



Imatge 30. Amsterdam Concertgebouw, sala amb forma rectangular



Imatge 31. Boston Symphony Hall, sala amb forma rectangular



Imatge 32. Northern Alberta Jubilee Auditorium, sala amb forma de palmell

Forma de palmell invertit (*reverse-splay halls*)

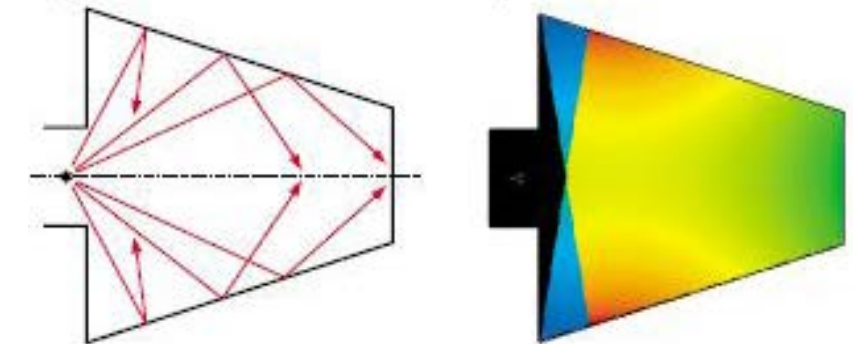
Característiques positives:

- Existència d'una gran quantitat de primeres reflexions laterals
- *Sonoritat i intimitat acústica* elevada

Característiques negatives:

- Falta de visibilitat elevada.

Apuntar que, degut a la falta de visibilitat no es coneix cap sala dissenyada d'aquesta manera [44].



Imatge 36. Sala amb forma de palmell invertit. Generació de reflexions laterals i mapa del nivell de pressió sonora generat.

Forma d'hexàgon allargat (*elongated hexagon halls*)

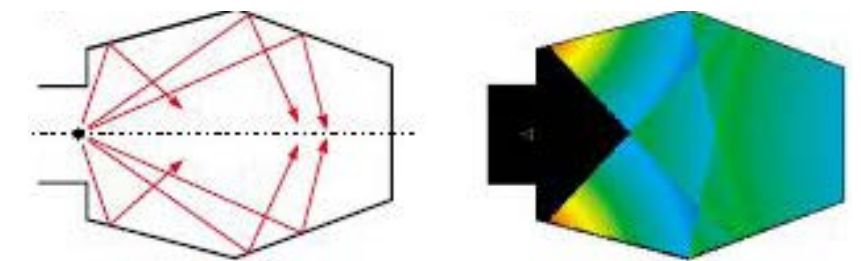
Es tracta d'una combinació de les dues anteriors per intentar obtenir les virtuts d'ambdues i eliminar els defectes que presenten.

Característiques positives:

- Possibilitat de gran aforament
- Visuals acceptables en tota la sala
- Existència d'una gran quantitat de primeres reflexions laterals
- *Sonoritat i intimitat acústica* elevada

Característiques negatives:

- Quan més obert siga l'angle de les parets més properes a l'escenari, la acústica serà més desfavorable, és a dir, millorarà quan més s'asimile a la forma rectangular o, idealment, a la del palmell invertit.



Imatge 37. Sala amb forma d'hexàgon allargat. Generació de reflexions laterals i mapa del nivell de pressió sonora generat.



Imatge 35. Bunka Kaikan, sala amb forma d'hexàgon allargat

[43] CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003, p.254

[44] CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003, p.256

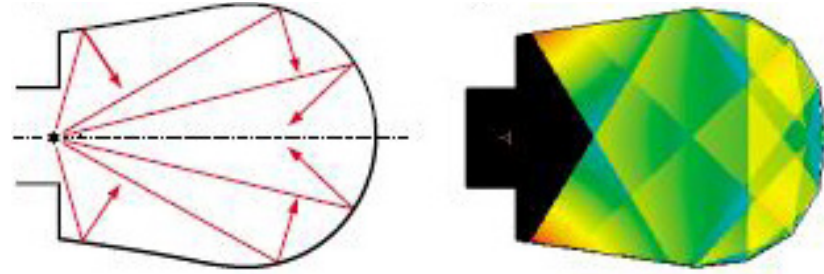
Forma de ferradura (*horseshoe halls*)

Característiques positives:

- Possibilitat de gran aforament
- Visuals acceptables en tota la sala

Característiques negatives:

- Baixa energia associada a primeres reflexions laterals sobre la part central de la sala, *sonoritat* i *intimitat acústica* reduïda en aquesta zona
- Possibilitat de focalitzacions causades per la concavitat de la paret posterior



Imatge 40. Sala amb forma de ferradura. Generació de reflexions laterals i mapa del nivell de pressió sonora generat.

Sala amb formes hexagonals superposades

Sales basades en el model de les el·lipses superposades de retard constant, per obtenir un temps de reverberació homogeni; i en les sales en forma d'hexàgon allargat, per evitar les focalitzacions eliminant les superfícies còncaues.

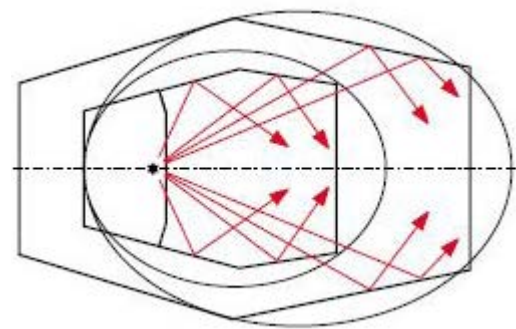
S'ha de tenir en compte que cada hexàgon correspon a un nivell.

Característiques positives:

- Possibilitat de gran aforament
- Milliores visuals respecte a les sales rectangulars
- Homogeneïtzació del temps de reverberació
- Existència d'una gran quantitat de primeres reflexions laterals
- *Sonoritat* i *intimitat acústica* elevada en tots els nivells de la sala

Característiques negatives:

- Necessitat d'una inclinació pronunciada en el segon nivell
- Necessitat d'una elevada difusió tant de les parets laterals com del sostre.



Imatge 41. Sala amb formes hexagonals superposades. Generació de reflexions laterals.



Imatge 38. Carnegie Hall, sala amb forma de ferradura



Imatge 42. Berlin Philharmonie, sala amb terrasses trapezoidals

Sala amb terrasses trapezoidals (*trapezium terraces halls*)

Aquest model fou formalitzat per Cremer en 1986 [45] i consisteix en la creació de diferents terrasses a diferents nivells seguint el model de les el·lipses superposades de retard constant, per obtenir un temps de reverberació homogeni. Així mateix, les terrasses adopten formes trapezoidals per evitar les focalitzacions derivades de les superfícies còncaues.

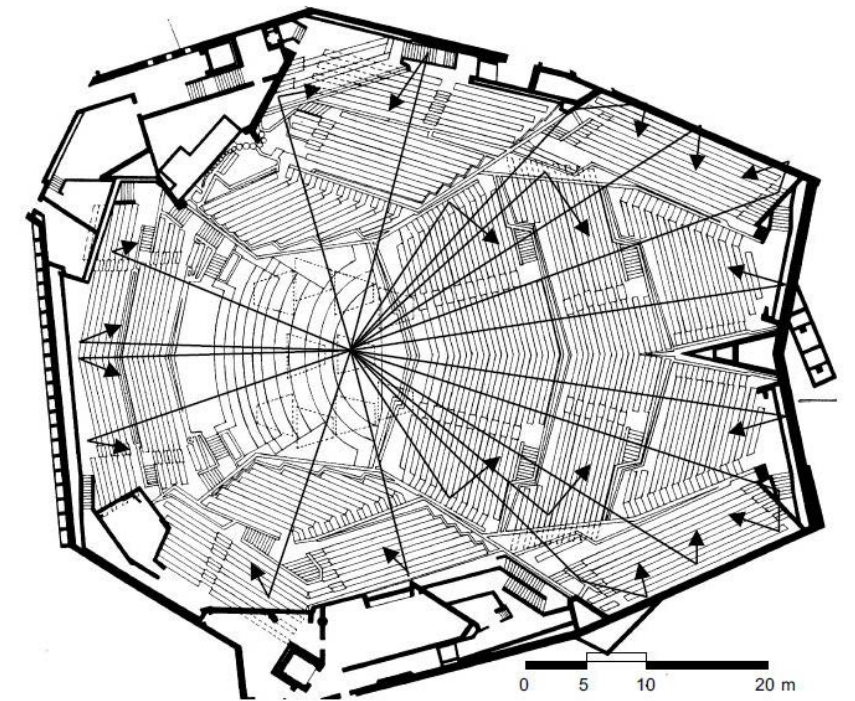
Característiques positives:

- Possibilitat de gran aforament
- Visuals excelents i diferenciades des de cada nivell
- Sensació de proximitat a l'escenari des de les terrasses superiors al no visualitzar la totalitat dels seients situats davant.
- Homogeneïtzació del temps de reverberació
- Existència d'una gran quantitat de primeres reflexions laterals
- *Sonoritat* i *intimitat acústica* elevada en tots els nivells de la sala

Característiques negatives:

- Necessitat d'un disseny complex per a les superfícies reflectants del voltant de les terrasses, ja que cada nivell rep primeres reflexions produïdes per una superfície en forma de palmell, inclinat de forma determinada, i situat al nivell superior.
- Necessitat de reflectors addicionals sobre la orquestra

Com a exemple gràfic utilitzarem la *Berlin Philharmonie*, Alemanya.



Imatge 43. Berlin Philharmonie. Sala amb terrasses trapezoidals. Generació de reflexions laterals.



Imatge 39. De Doelen Concert Hall, sala amb formes hexagonals superposades

[45] CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003, p.262

Sala amb reflexions laterals (*lateral directed reflection sequence halls*)

Aquestes sales tenen pràcticament una forma el·líptica. Els seients es troben agrupats en zones i a cada zona li s'assignen tres superfícies reflectants principals:

- Gran reflector inclinat situat sobre el balcó que crea reflexions sobre aquest i sobre la platea. És l'element principal del sistema.
- Ampit inclinat del balcó que proporciona reflexions laterals a la zona central de la platea.
- Part inferior del balcó que proporciona reflexions cap als seients de la zona lateral de la platea.



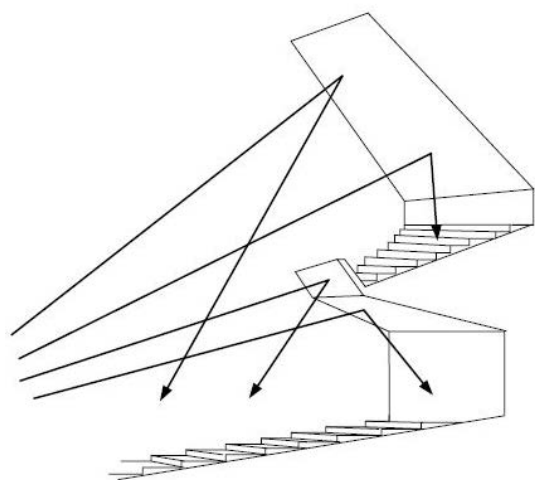
Imatge 44. Christchurch Town Hall, sala amb reflexions laterals

Característiques positives:

- Possibilitat de gran aforament
- Bones visuals
- Homogeneïtzació del temps de reverberació
- *Sonoritat i intimitat acústica* elevada en tots els nivells de la sala

Característiques negatives:

- Disseny complex de les superfícies reflectants



Imatge 46. Superfícies reflectants típiques d'una sala amb reflexions laterals

Sala amb so difós

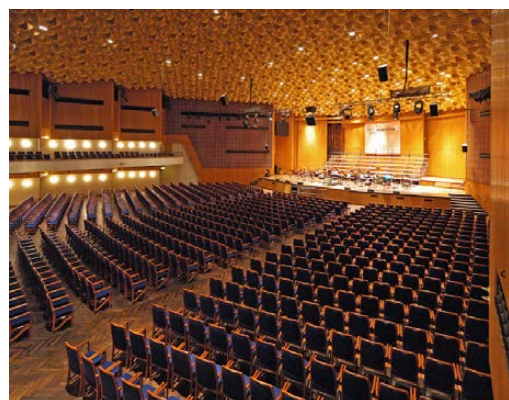
Aquest tipus de sala es basa en la creació d'unes superfícies altament difusores que envolten la sala, tant sostre com parets.

Característiques positives:

- Alt nivell de difusió
- Sensació de so altament envoltant

Característiques negatives:

- Excés d'absorció



Imatge 45. Beethovenhalle, sala amb so difós

— La Forma del sostre

Pel que fa a la forma dels sostre s'ha de tenir en compte que, el disseny d'aquest implica l'elecció d'un volum de la sala, que serà un dels aspectes més influents en el temps de reverberació. Des d'un punt de vista acústic [46], qualsevol relació entre el volum i el nombre d'espectadors V/N podria ser possible sempre que es compensen els excessos d'absorció mitjançant la distribució de materials de la sala. Però, degut a altres raons com la premisa d'una difusió homogènia del so evitant ecos, limiten les seues dimensions (sense l'utilització de sistemes electroacústics).

Segons Cremer, la relació entre l'altura sobre el plànol receptor i la distància d'aquest a la font sonora deu complir la relació següent (Imatge 46, línia a):

$$\frac{(2h)^2 + r^2}{r^2} > 10$$

Així com la relació per evitar l'aparició de ecos (Imatge 46, línia b):

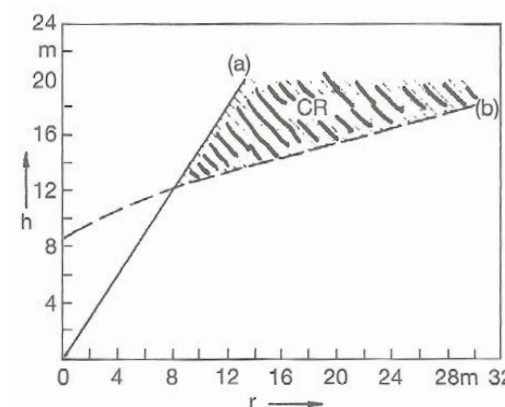
$$\sqrt{(2h)^2 + r^2} - r < 17$$

D'aquesta manera s'estableixen uns valors límit, representats en la Imatge 47, els quals no deuen superar-se. De la gràfica s'extrau que el sostre amb pendent cap al fons de la sala és una bona solució. A més, per al disseny de la forma del sostre existeix una regla pràctica per al disseny de sostres equipotencials o ortofònics, on el nivell sonor en qualsevol punt de la sala siga constant. Els passos a seguir són els següents [47]:

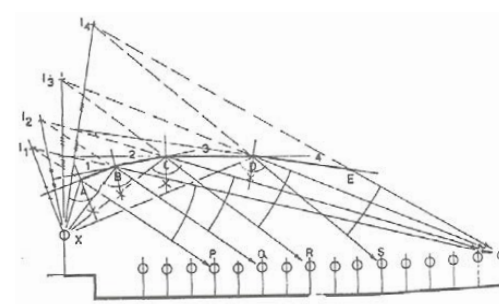
1. Siga **X** el punt on es situa la font sonora.
2. Imaginar un punt **A** fixe, que compleixca les relacions de la Imatge 47 davant d'un punt **P** de la audiència situat a una distància **r** on ha d'arribar una primera reflexió.
3. Dibuixar els segments **PA** i **AX** i la bisectriu de l'angle **PAX**. La bisectriu serà perpendicular al plà **I**.
4. Traçar la línia del plà **I** des del punt **A**.
5. Trobar la font imatge de **X** respecte del plà **I**
6. Unir amb una recta la font imatge **I₁** amb el punt **T**. Aquest és l'últim pun on es situa l'audiència.
7. Marcar el punt d'intersecció **B** del sostre i repetir el procés descrit respecte del punt **B**, i així successivament.

Amb la distribució del sostre per garantir un nivell sonor adequat, existeixen diferents expressions que prediuen el T_{MID} en funció de la relació V/S_A , vàlides per als casos en que l'audiència estiga principalment distribuïda en un nivell (entenenent per diferents nivells balcons i amfiteatres, no diferents pendents a la platea). A continuació s'expressen aquestes relacions, similars a la de Sabine exposada en apartats anteriors [48]:

- H. Arau: $V / S_A = 7.361 \cdot T_{MID}$
- W. C. Kosten: $V / S_A \cdot a_{eq} = T_{MID} / 0.163$
- H. Kuttruff: $V / S_A = T_{MID} / 0.15$
- L. E. Kinsler: $V / S_A \cdot 5.4 = (-0.1 + 1 / T_{MID})^{-1}$



Imatge 47. Limitació de l'altura h, en funció de la distància r



Imatge 48. Generació d'un sostre equipotencial.

[46] ARAU, H.: *ABC de la acústica arquitectònica*, Barcelona: CEAC, 1999, p. 252
 [47] ARAU, H., ref. 45, p. 253
 [48] ARAU, H., ref. 45, p. 250

Per fer-se una idea sobre els T_{MID} segons l'ús de la sala tenim aquesta taula elaborada per Carrión [49]:

TIPO DE SALA	RT_{mid} , SALA OCUPADA (EN s)
Sala de conferencias	0,7 – 1,0
Cine	1,0 – 1,2
Sala polivalente	1,2 – 1,5
Teatro de ópera	1,2 – 1,5
Sala de conciertos (música de cámara)	1,3 – 1,7
Sala de conciertos (música sinfónica)	1,8 – 2,0
Iglesia/catedral (órgano y canto coral)	2,0 – 3,0
Locutorio de radio	0,2 – 0,4

Imatge 53. T_{mid} segons l'ús de la sala

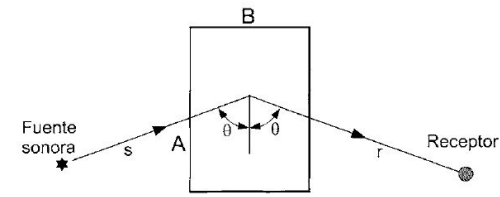
Un element important del sostre són els reflectors aïllats que poden disposar-se. Aquests elements s'utilitzen per provocar reflexions en una zona determinada de la sala i es pot calcular com es comportaran, tal com explica Antoni Carrión al seu llibre *Diseño Acústico de espacios arquitectónicos* [50]. Dintre dels reflectors cal distingir els reflectors plans, els quals focalitzen el so en una zona determinada, i els reflectors corbs, els quals deuen ser convexos per evitar focalitzacions i deuen tenir un radi de corbatura superior als 5 metres. Aquesta última característica es deu a que una superfície amb un radi inferior als 5 metres actua com a difusor. També s'ha de controlar que els reflectors plans no tinguin dimensions excessivament grans per evitar les coloracions o falses localitzacions de la font sonora, si es donara, és convenient dotar-los d'una certa convexitat o de suaus irregularitats[51].

S'ha de tenir en compte, en el disseny d'aquestes superfícies, que les primeres reflexions creades cap al públic també funcionen a la inversa i es concentraran a l'escenari reflexions provinents del públic. També s'ha de tenir present que tots aquests mètodes es basen en el càlcul de les reflexions per a una ubicació única i fixa de la font, fet que no es dona quan intervenen més d'un músic a l'escenari [52]. Per la qual cosa la incorporació de difusió en la sala pot fer més imprevisible el comportament de la sala però també pot ajudar a eliminar concentracions de reflexions en punts concrets i el fet que aquestes arriben a tots els punts de la sala.

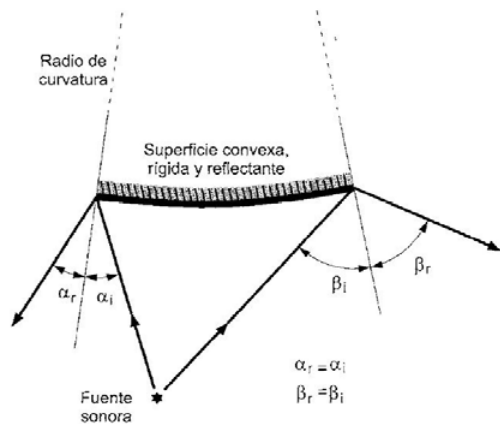
En principi, qualsevol superfície d'una sala és susceptible de proporcionar primeres reflexions però Ando va demostrar que [53], des del punt de vista de la impressió espacial, les primeres reflexions més importants són aquelles que arriben a l'espectador amb angles de 35° a 75° respecte al pla vertical perpendicular a l'escenari.

Existeix la possibilitat d'aconseguir una *impressió espacial* elevada mitjançant panells sospesos del sostre, però el seu disseny és complicat perquè s'ha d'arribar a un equilibri entre el so reverberat i les primeres reflexions que proporcionen. Si la densitat de panells és elevada, l'espai superior funcionaria com una segona sala acoblada acústicament, però si és baixa, l'energia reflectada serà quasi despreciable. Carrión ens dona un valor aproximat de 0.50 però considera que aquest valor no és definitiu.

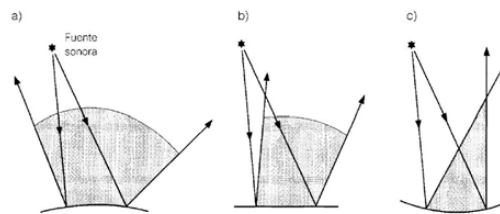
[49] CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003, p.64
 [50] CARRIÓN, A., ref. 48, p. 117
 [51] CARRIÓN, A., ref. 48, p. 208
 [52] CARRIÓN, A., ref. 48, p. 259
 [53] CARRIÓN, A., ref. 48, p. 274



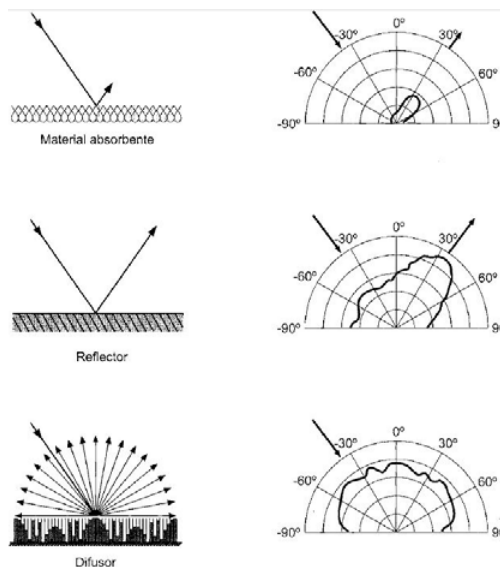
Imatge 49. Procés de reflexió d'un raig sonor sobre una superfície plana



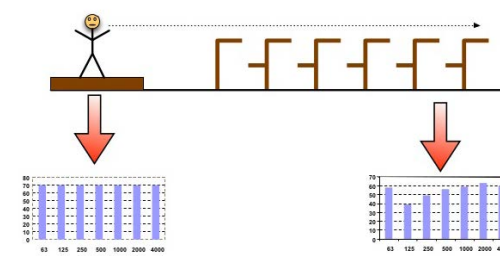
Imatge 50. Procés gràfic per determinar les direccions de les reflexions sobre un reflector convex



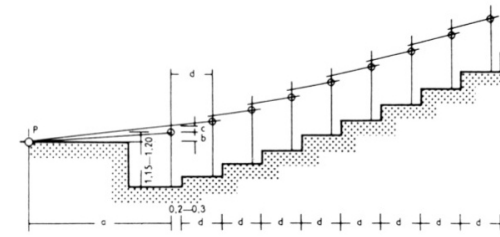
Imatge 51. Zona de cobertura associada a diferents superfícies reflectants: a) convexa; b) plana; c) cònca



Imatge 52. Comparativa entre els efectes d'absorció, reflexió especular i difusió del so



Imatge 54. Efecte seat-dip, atenuació del so



Imatge 55. Traçat de la isòptica d'una sala

— La Forma del sòl o paviment

Pel que fa al disseny de la forma dels sòl d'una sala s'ha de tenir en compte l'efecte *seat-dip*, pel qual el so s'atenua per efecte de difracció sobre els caps de l'audiència. Així, un bon mètode per evitar aquest fenomen es seguir la teoria de disseny de la isòptica de sales, mitjançant la qual, els rajos projectats contribuiràn tant a una bona visió com a una adequada acústica [54].

Per al disseny adequat de les zones de butaques s'ha de tenir en compte que per assegurar una línia visual adequada, la diferència entre les línies de dos files consecutives ha de ser com a mínim de 10 cm. Fet que es deu a que s'estableix que els ulls es troben 7.5 cm per sota el nivell del cap. Des d'un punt de vista matemàtic, la corba que compleix aquestes premisses és una *espiral logarítmica*, però nosaltres simplifiquem aquesta corba convertint-la en fragments lineals per poder obtenir escalons del mateix tamany com requereix la norma. Únicament quan aquesta corba és poc pronunciada podria arribar a assimilar-se a una rampa sense excedir uns valors límit d'accessibilitat.

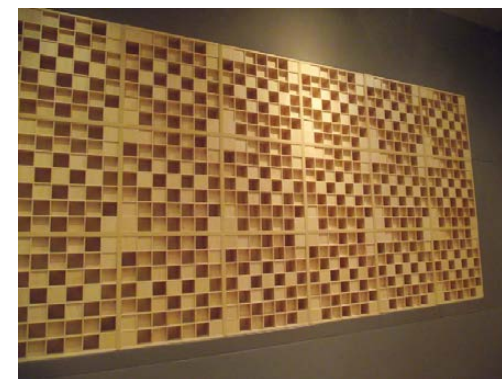
[54] ARAU, H.: *ABC de la acústica arquitectónica*, Barcelona: CEAC, 1999, p. 256



Imatge 56. Difusor policilíndric



Imatge 57. Difusor unidimensional de residu quadràtic QRD



Imatge 58. Difusor bidimensional de residu quadràtic QRD

2.4.2. Difusió en la sala

El concepte de la difusió és un element important en el disseny de les sales de concert ja que un símptoma de qualitat acústica és l'existència d'una adequada *intimitat acústica* i d'un *so envoltant (LEV)*. Per aconseguir una bona difusió es necessita que el so es reflexi en totes direccions i siga absorbit en la mateixa proporció aproximadament. Moltes vegades, la difusió sol utilitzar-se per eliminar alguns dels problemes típics de les sales, tant de concerts com de paraula, com poden ser la existència de coloracions, ecos flotants o desplaçaments de la font sonora. Així i tot, s'ha de tenir present que per a sales on siga important l'intel·ligibilitat, una difusió excessiva pot ser contraproduent.

En la pràctica, la existència d'irregularitats i relleus en les superfícies augmenten la difusió. Així, s'observa que les sales clàssiques plenes de moldures i irregularitats posseeixen un alt grau de difusió i possiblement siga un dels aspectes que més afavoreix la valoració positiva de la sala. Cal dir que la difusió es produeix òptimament en una banda de freqüències determinada que dependrà de les dimensions del difusor.

En l'actualitat existeixen difusors dissenyats específicament per a unes freqüències a partir de seqüències matemàtiques. Es pot augmentar la difusió d'una sala de diferents maneres [55]:

- Distribució d'irregularitats en les superfícies de les parets que produiràn la difracció del so. La seua llongitud ha de mesurar una semillongitud d'ona i l'altura ha de ser igual a un cinqué de la llongitud d'ona de la freqüència que es pretenga difractar. Les irregularitats típiques són:
 - ~ Difusors policilíndrics de paret
 - ~ Difusors de residu quadràtic QRD, unidimensionals i bidimensionals
 - ~ Cunyes de paret
 - ~ Irregularitats del sostre
 - ~ Formació de parets tipus serra
 - ~ Difractors rpg inventats per Schröder.
- Col·locació d'objectes a l'interior de la sala que provocaran la dispersió del so incident.
- Aplicació irregular de material absorbent sobre les parets frontera de la sala.
- Donar la mínima inclinació necessària a la superfície ocupada pels espectadors [56].
- Evitar els balcons o amfiteatres, i si són necessaris, que tinguin poca profunditat i la paret posterior no siga plana.

Per finalitzar, un aspecte important en el disseny de sales de concerts és l'eliminació dels fenòmens de l'eco. Per fer-ho, es pot recórrer a l'utilització d'elements difusors però no és l'única solució [57]. També s'hi poden aplicar altres solucions com inclinar les superfícies que provoquen aquest fenomen o recobrir-les de material absorbent, tenint present que s'ha d'evitar l'excesiva absorció. Com a norma pràctica el percentatge de superfície absorbent no deu ser superior al 10 % del total de la sala.

[55] ARAU, H.: *ABC de la acústica arquitectónica*, Barcelona: CEAC, 1999, p. 259

[56] CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003, p.275

[57] CARRIÓN, A., ref. 55, p. 209

3. Anàlisi de Referències

3.1. Metodologia

En primer lloc es realitza un anàlisi de deu sales auditori. Les sales analitzades s'han escollit per similitut amb la sala objecte de disseny d'aquest treball. Aquesta, es tracta d'una sala auditori de dimensions reduïdes i marcadament rectangular, amb un aforament que ronda els 250 espectadors. L'ús d'aquesta sala, degut a les xicotetes dimensions s'orienta cara a la música de càmera.

Amb aquestes premisses i conscients de la dificultat d'aconseguir dades acústiques de les sales d'aquestes dimensions, s'han buscat sales de conservatoris i escoles de música, sales secundàries de grans auditoris i xicotetes sales de barri o poble.

Així, aquest anàlisi s'organitza en dos parts diferenciades:

- Una fitxa resum de les característiques principals de la sala, atenent a tres aspectes diferenciats: les característiques geomètriques, els materials amb que es construeix la sala i les dades acústiques d'aquesta.
- Una valoració sobre la qualitat acústica de la sala així com aquells aspectes destacables de la sala, positius i negatius, extrets de les característiques abans estudiades.

Amb aquestes dades, es realitza una comparació, s'extrauen els valors mitjans o característics del conjunt de sales, i es realitza una valoració dels resultats obtesos amb l'anàlisi. Per calcular els valors mitjans del conjunt de sales es realitza, en primer lloc, una mitjana on els valors límit major i menor queden exclosos; i en segon lloc una mitjana ordinària. Després d'observar les diferències entre els resultats obtesos, i observar que són insignificants, es decideix acceptar els resultats de la mitjana ordinària per realitzar la valoració.

Finalment es crea un prototip de sala ideal atenent a les conclusions extretes de l'anàlisi.

3.2. Anàlisi i valoració de les sales

Auditori en Alguenya

Estudio COR

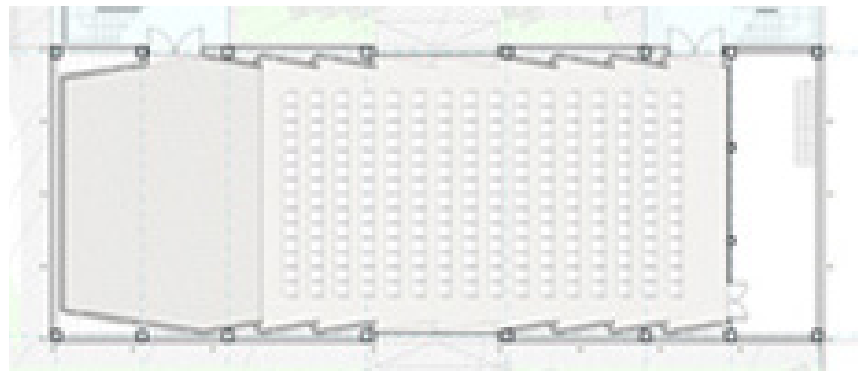
Alguenya, 2011



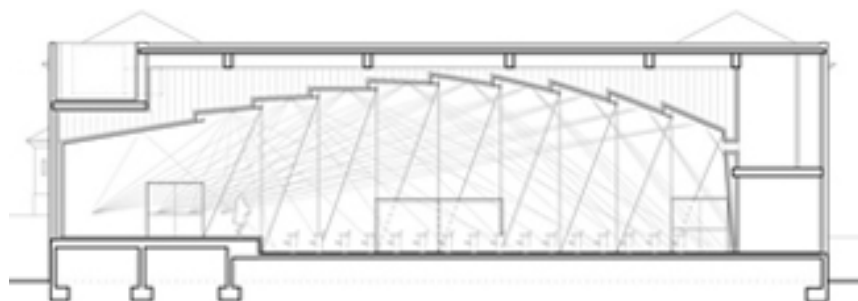
Imatge 59. Vista lateral de la sala



Imatge 60. Vista des del fons de la sala



Imatge 61. Planta de la sala



Imatge 62. Secció longitudinal de la sala

CARACTRÍSTIQUES PRINCIPALS

Nombre d'espectadors	230
Llargària (centre de sala)	29 m
Amplada mitjana	12 m
Volum (V)	2078 m ³

GEOMETRIA

Altura boca escenari	5.30 m
Altura fons d'escenari	3.90 m
Altura escenari	0.70 m
Altura mínima	3.80 m
Altura màxima	7.50 m
Pendent butaques	0%
Superfície (S)	328 m ²
Superfície d'escenari (SE)	95 m ²
Superfície d'audiència(SA)	160 m ²
Volum (V)	2078 m ³
Llargària (centre de sala)	28.65 m
Amplada mitjana	11.56 m
Relació llargària/amplada	2.48
Forma en planta	Rectangular
Secció del sostre	Escalonada
Canvi de pendent sostre	11.62 m
Escenari separat	No
Amfiteatre	No
Paret del fons de sala	Inclinada
Altres	

MATERIALS

Sostre	sala	Ressonador de membrana Panells de cartró guix sobre bastidors
	esc.	Ressonador de membrana Panells de cartró guix sobre bastidors
Paviment	sala	Reflectant Paviment de fusta
	esc.	Reflectant Paviment de fusta
Parets	sala laterals	Ressonador de membrana Panells de cartró guix sobre bastidors
	fons	No hi han dades
escenari	lat.	Ressonador de membrana Panells cartró guix sobre bastidors
	fons	Ressonador de membrana Panells cartró guix sobre bastidors
Pati de butaques		No hi han butaques fixes

DADES ACÚSTIQUES

Nombre d'espectadors (N)	230
Relació V / N	9.04 m ³ / esp.
Ús de la sala	música

Valoració de la sala

Ens trobem davant d'una sala pensada com a espai polivalent d'un xicotet poble del sud d'Alacant. Aquest aspecte és el que caracteritza bàsicament aquesta sala plana, sense butaques fixes i amb una elevada polivalència.

Així, s'observen característiques derivades d'aquesta tipologia com puga ser la inclinació de la paret posterior per evitar la creació d'ecos, així com, una caiguda de la part posterior del sostre derivat de la distribució equipotencial i que es deu a la gran llongitud de la sala (fregant els 30 metres).

Dintre de la tipologia escalonada de parets i sostre, s'observa la creació de dos grans obertures al centre de la sala per col·locar dos grans finestres que caldria estudiar el seu comportament acústic. La repercussió dins de la superfície de les parets no és elevada però, tot i així, hi ha que tenir present que estableix dos plànols paral·lels altament reflectants i podrien suposar la creació d'ecos flotants en aquesta zona.

Auditori i Conservatori Municipal de Vila-Seca

Pau Pérez Acústica: Higiní Arau

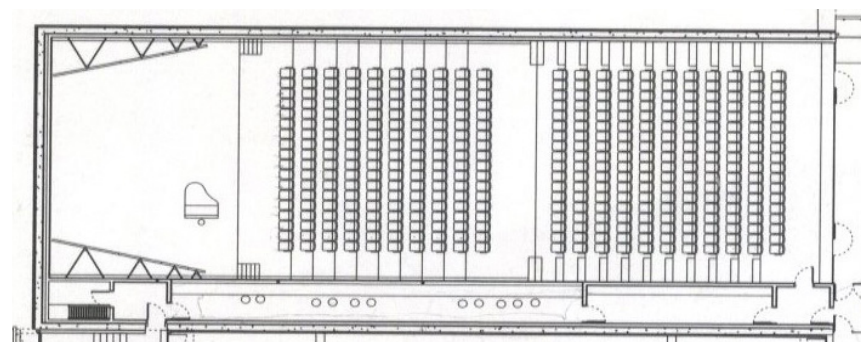
Vila-Seca, 2002



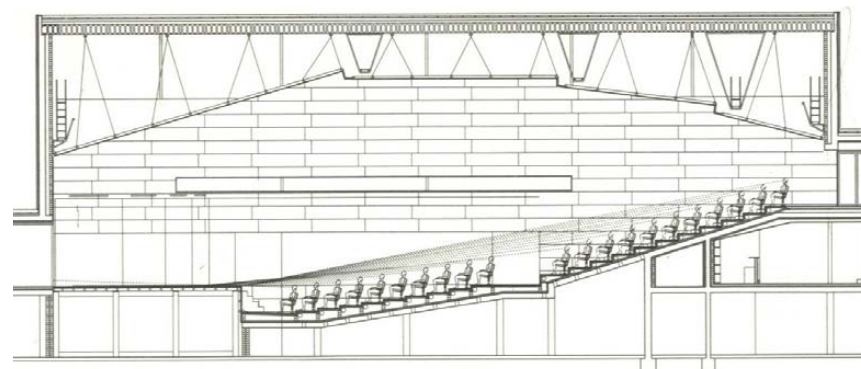
Imatge 63. Vista des de l'escenari



Imatge 64. Vista des del fons de la sala



Imatge 65. Planta de la sala



Imatge 66. Secció longitudinal de la sala

TEMPS DE REVERBERACIÓ MESURATS

Freqüència (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	T _{MID}	T _{LOW}	T _{HIGH}
RT mesurat	1.83	1.69	1.69	1.65	1.54	1.48	1.67	1.76	1.51

CARACTRÍSTIQUES PRINCIPALS

Nombre d'espectadors	378
Llargària (centre de sala)	34 m
Amplada mitjana	12 m
Volum (V)	3065 m ³

GEOMETRIA

Altura boca escenari	8.05 m
Altura fons d'escenari	5.07 m
Altura escenari	1.15 m
Altura mínima	2.85 m
Altura màxima	10.15 m
Pendent butaques	15% 31%
Superfície (S)	408 m ²
Superfície d'escenari (SE)	98 m ²
Superfície d'audiència(SA)	193 m ²
Volum (V)	3065 m ³
Llargària (centre de sala)	34.19 m
Amplada mitjana	11.95 m
Relació llargària/amplada	2.86
Forma en planta	Rectangular
Secció del sostre	Escalonada
Canvi de pendent sostre	17.83 m
Escenari separat	No
Amfiteatre	No
Paret del fons de sala	Plana
Altres	Conca lateral

MATERIALS

Sostre	sala	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors	
	esc.	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors	
Paviment	sala	Reflectant Paviment de fusta	
	esc.	Ressonador de membrana Tarima flotant de fusta	
Parets	sala	laterals	Ressonador de membrana 80% Panells de fusta sobre bastidors
		laterals	Reflectant 20% Vidre
	fons	fons	Absorbent mòbil Cortina de tela
		fons	Reflectant Vidre
escenari	lat.	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors	
	fons	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors	
Pati de butaques		Absorbent Tela	

DADES ACÚSTIQUES

Nombre d'espectadors (N)	378
Relació V / N	9.11 m ³ / esp.
Ús de la sala	m. càmera

Valoració de la sala

El primer que observem en analitzar la sala de Vila-Seca és la gran profunditat d'aquesta. Amb una proporció quasi d'1 a 3, la sala arriba quasi als 35 metres de llongitud, fet pel qual es pot observar la baixada del sostre des de l'inici de la segona part de la platea.

Un altre aspecte que crida l'atenció és la planesa de les parets laterals les quals formen dos plans perfectes i altament reflectants únicament interromputs per els forats de les entrades. A més l'accés de minusvàlids a l'escenari es troba recobert per vidre per evitar l'absorció que produïria l'obertura provocada degut, segurament, a la necessitat de no perdre nivell sonor per portarlo al fons de la sala.

Aquest aspecte de la planor de les parets és destacable perquè pot ser la font de l'aparició d'ecos flotants, com pot observar-se a l'escenari on aquesta característica és corregida amb dos panells inclinats. L'escenari és el lloc més crític per a la creació d'aquestes anomalies.

Per últim, observar l'existència d'una cortina mòbil a la paret de fons per controlar el grau d'absorció i disminuir el temps de reverberació ja que aquest és elevat.

Auditori Kursaal (sala de càmera)

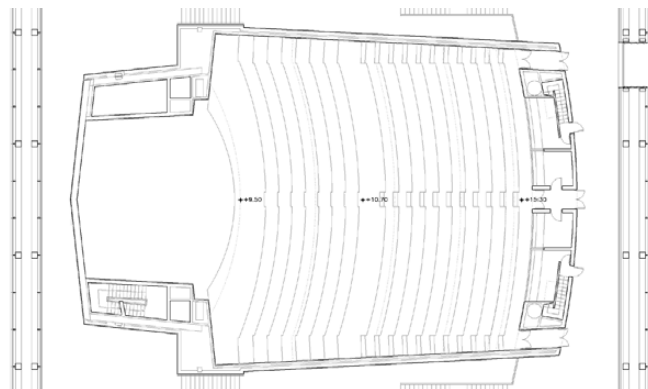
Rafael Moneo Acústica: Higini Arau Donostia, 1999



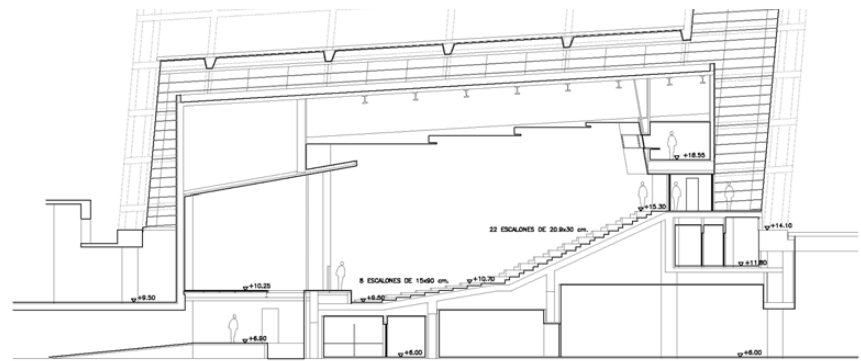
Imatge 67. Vista des del fons de la sala



Imatge 68. Vista des de l'escenari



Imatge 69. Planta de la sala



Imatge 70. Secció longitudinal de la sala

TEMPS DE REVERBERACIÓ MESURATS

Freqüència (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	T _{MID}	T _{LOW}	T _{HIGH}
RT mesurat	1.44	1.45	1.33	1.33	1.29	1.31	1.33	1.44	1.30

CARACTRÍSTIQUES PRINCIPALS

Nombre d'espectadors	624
Llargària (centre de sala)	29 m
Amplada mitjana	21 m
Volum (V)	4475 m ³

GEOMETRIA

Altura boca escenari	7.90 m
Altura fons d'escenari	6.00 m
Altura escenari	0.75 m
Altura mínima	6.05 m
Altura màxima	10.03 m
Pendent butaques	16.7% 46.5%
Superfície (S)	550 m ²
Superfície d'escenari (SE)	110 m ²
Superfície d'audiència(SA)	360 m ²
Volum (V)	4475 m ³
Llargària (centre de sala)	29.21 m
Amplada mitjana	21.35 m
Relació llargària/amplada	1.37

Forma en planta	Ventall invertit
Secció del sostre	Escalonada
Canvi de pendent sostre	
Escenari separat	Si
Amfiteatre	No
Paret del fons de sala	Inclinada
Altres	Closca sostre Corbata 2.6 m parets escalonades

MATERIALS

Sostre	sala	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors	
	esc.	Ressonador de membrana mòbil Panells de fusta sobre bastidors	
Paviment	sala	Reflectant Paviment de fusta	
	esc.	Ressonador de membrana Tarima flotant de fusta	
Parets	sala	laterals	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
		fons	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
	escenari	lat.	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
		fons	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
Pati de butaques		Absorbent Tela	

DADES ACÚSTIQUES

Nombre d'espectadors (N)	624
Relació V / N	7.17 m ³ / esp.
Ús de la sala	càmera i conf.

Valoració de la sala

Aquesta sala, encara que tímidament, respon a la forma de ventall invertit, una forma òptima per a la creació de primeres reflexions però amb l'inconvenient de la visibilitat dels extrems més propers a l'escenari. A més d'aquesta forma en planta, on inclinada les parets per evitar la creació de superfícies paral·leles, introdueix uns escalonaments horitzontals a les parets que trenquen la planor de les parets i creen reflexions sobre el pati de butaques. Aquest aspecte provocarà una elevada sonoritat i impressió espacial degut a la quantitat de primeres reflexions que rebrà el públic.

El sostre, ascendent cap al fons de la sala, s'escalona però de forma plana, és a dir, sense seguir una distribució equipotencial de les reflexions. Aquesta configuració provoca que la quantitat de primeres reflexions derivades dels sostre augmente amb la distància, aspecte que pot justificar-se per augmentar el nombre d'aquestes sobre el final de la sala i així augmentar la impressió espacial en aquesta zona. Però, s'ha de tenir en compte que pot donar lloc a focalitzacions si la quantitat de reflexions resulta excessiva.

La paret del fons de la sala s'inclina, fet característic quan la sala es plana però resulta estrany tractant-se d'una sala amb un pendent pronunciat. Un motiu pot ser l'utilització d'aquesta superfície per enviar les reflexions de la part final del sostre cap a la zona central de la platea.

Caixa Fòrum de Saragossa

Carme Pinós

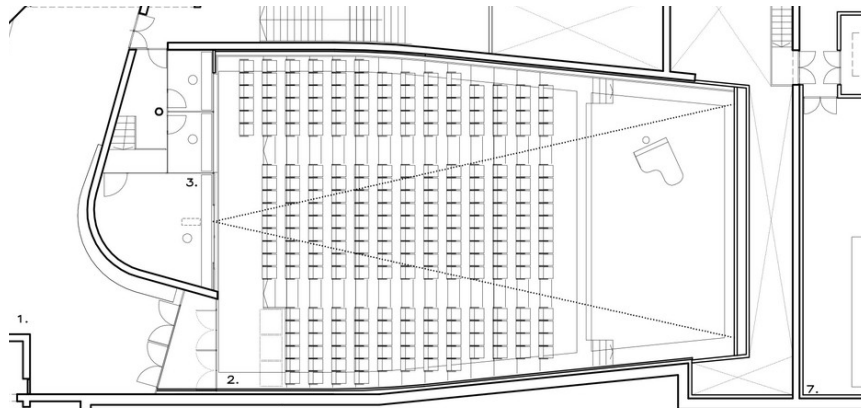
Saragossa, 2014



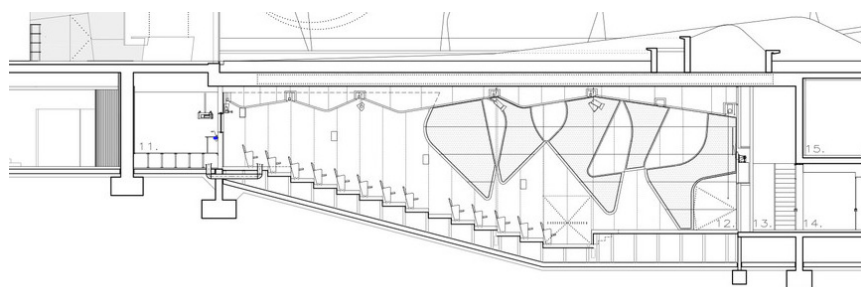
Imatge 71. Vista des del fons de la sala



Imatge 72. Vista laterla de la sala



Imatge 73. Planta de la sala



Imatge 74. Secció longitudinal de la sala

CARACTRÍSTIQUES PRINCIPALS

Nombre d'espectadors	252
Llargària (centre de sala)	22 m
Amplada mitjana	13 m
Volum (V)	1398 m ³

GEOMETRIA

Altura boca escenari	5.80 m
Altura fons d'escenari	4.90 m
Altura escenari	0.60 m
Altura mínima	2.50 m
Altura màxima	6.40 m
Pendent butaques	26%
Superfície (S)	304 m ²
Superfície d'escenari (SE)	75 m ²
Superfície d'audiència(SA)	141 m ²
Volum (V)	1398 m ³
Llargària (centre de sala)	22.45 m
Amplada mitjana	13.12 m
Relació llargària/amplada	1.71
Forma en planta	Ventall
Secció del sostre	Dent de serra
Canvi de pendent sostre	
Escenari separat	No
Amfiteatre	No
Paret del fons de sala	Plana
Altres	Ressonadors de cavitat

MATERIALS

Sostre	sala	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
	esc.	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
Paviment	sala	Ressonador de membrana Tarima flotant de fusta
	esc.	Ressonador de membrana Tarima flotant de fusta
Parets	sala	laterals Ressonador de membrana 52% Panells cartró guix sobre bastidors
		fons Ressonador múltiple cavitat 48% Panells de fusta perforats
escenari	lat.	Ressonador de membrana 36% Panells cartró guix sobre bastidors
	fons	Ressonador múltiple cavitat 64% Panells de fusta perforats
Pati de butaques		Absorbent Tela

DADES ACÚSTIQUES

Nombre d'espectadors (N)	252
Relació V / N	5.55 m ³ / esp.
Ús de la sala	càmera i conf.

Valoració de la sala

En pegar-li un cop d'ull a aquesta sala s'observa la seua característica principal, el baix volum que posseix. Fet que propiciarà un menor temps de reverberació i l'escassa necessitat d'absorció en la sala.

Les parets de la sala estàn formades per ressonadors de membrana però puntualment, en la zona de l'escenari i pròxim a ella, apareixen ressonadors múltiples de cavitat formats per parets de fusta perforats. El sostre, en forma de dent de serra provoca reflexions en diferents direccions sobre la platea.

Centre Cultural de Leioa

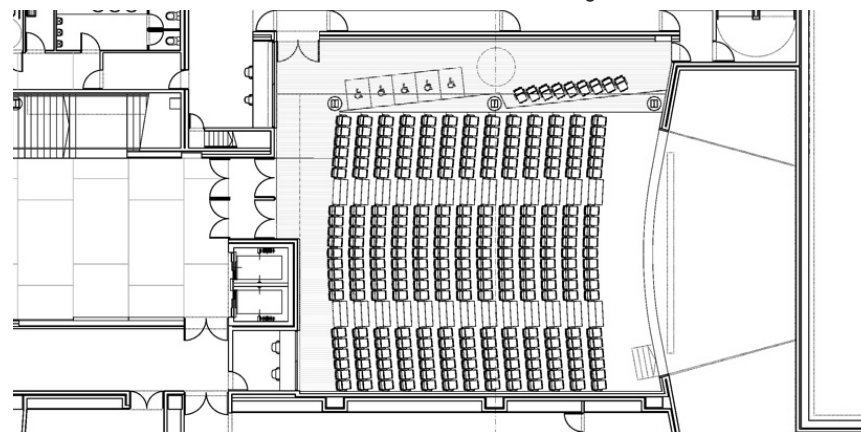
Artiques & Sanabria Acústica: Higini Arau Leioa, 2004



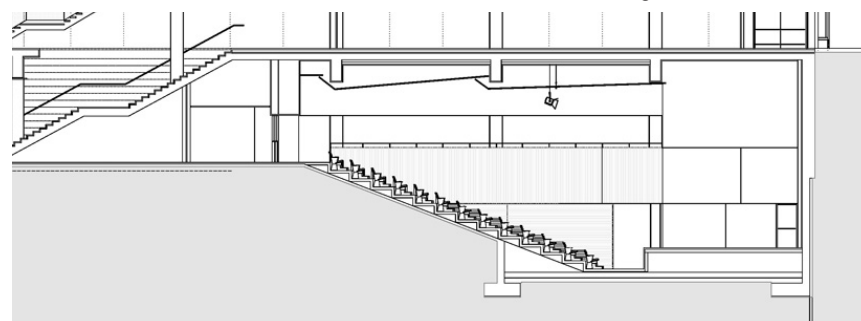
Imatge 75. Vista des del fons de la sala



Imatge 76. Vista des de l'escenari



Imatge 77. Planta de la sala



Imatge 78. Secció longitudinal de la sala

TEMPS DE REVERBERACIÓ MESURATS

Freqüència (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	T _{MID}	T _{LOW}	T _{HIGH}
RT mesurat	1.41	1.21	1.24	1.15	1.15	1.07	1.29	1.31	1.11

CARACTRÍSTIQUES PRINCIPALS

Nombre d'espectadors	288
Llargària (centre de sala)	23 m
Amplada mitjana	13 m
Volum (V)	1993 m ³

GEOMETRIA

Altura boca escenari	6.20 m
Altura fons d'escenari	4.60 m
Altura escenari	1.00 m
Altura mínima	3.62 m
Altura màxima	8.60 m
Pendent butaques	38%
Superfície (S)	364 m ²
Superfície d'escenari (SE)	67 m ²
Superfície d'audiència(SA)	202 m ²
Volum (V)	1993 m ³
Llargària (centre de sala)	23.09 m
Amplada mitjana	13.96 m
Relació llargària/amplada	1.78
Forma en planta	Rectangular
Secció del sostre	Escalonada
Canvi de pendent sostre	
Escenari separat	Si
Amfiteatre	Si
Paret del fons de sala	Plana
Altres	

MATERIALS

Sostre	sala	Ressonador de membrana Panells de cartró guix sobre bastidors
	esc.	Ressonador de membrana mòbil Panells de cartró guix sobre bastidors
Paviment	sala	Reflectant Paviment de fusta
	esc.	Ressonador de membrana Tarima flotant de fusta
Parets	sala	laterals Ressonador de membrana Panells de cartró guix sobre bastidors
		fons Ressonador de membrana Panells de cartró guix sobre bastidors
	escenari	lat. Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
		fons Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
Pati de butaques		Absorbent Tela

DADES ACÚSTIQUES

Nombre d'espectadors (N)	288
Relació V / N	6.90 m ³ / esp.
Ús de la sala	música

Valoració de la sala

Aquesta sala té varies peculiaritats. Una d'elles és l'existència d'un balcó lateral, bastant profund, de dubtosa visibilitat. Un altre és el marc perimetral en el qual es col·loca l'escenari, el qual, de forma semblant al Kursaal, intenta tenir una certa polivalència, la qual es veu complementada per el sostre mòbil a forma de closca acústica.

Per últim, la disposició del sostre en dent de serra quasi horitzontal i ascendent cap a l'escenari, és un aspecte poc comú però que possiblement redueix la possibilitat de focalitzacions al fons de la sala comparant-lo amb la disposició del sostre del Kursaal.

Conservatori de Cant Coral de Bondy

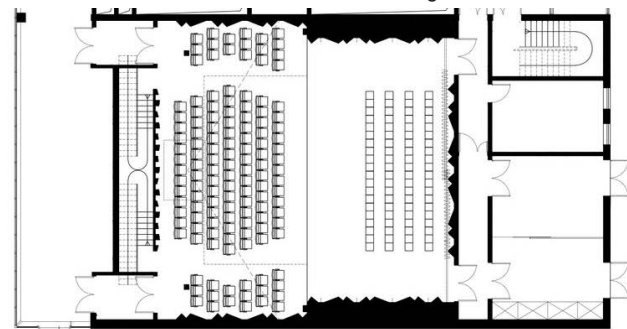
PARC Architectes Acústica: PEUTZ & Associés França, 2013



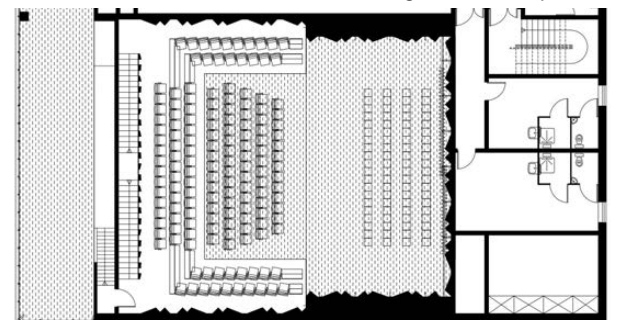
Imatge 79. Vista lateral de la sala



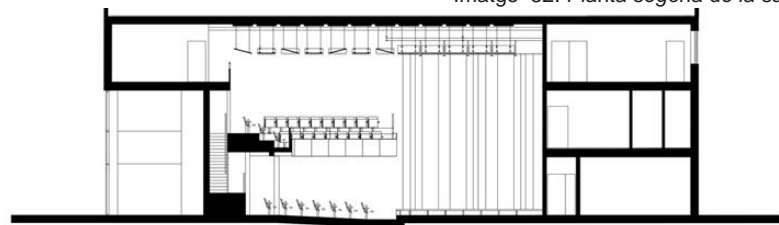
Imatge 80. Vista des de l'escenari



Imatge 81. Planta primera de la sala



Imatge 82. Planta segona de la sala



Imatge 83. Secció longitudinal de la sala

CARACTRÍSTIQUES PRINCIPALS

Nombre d'espectadors	220
Llargària (centre de sala)	18 m
Amplada mitjana	15 m
Volum (V)	2630 m ³

GEOMETRIA

Altura boca escenari	9.85 m
Altura fons d'escenari	9.85 m
Altura escenari	0.58 m
Altura mínima	3.20 m
Altura màxima	10.43 m
Pendent butaques	5% 48%
Superfície (S)	337 m ²
Superfície d'escenari (SE)	109 m ²
Superfície d'audiència(SA)	124 m ²
Volum (V)	2630 m ³
Llargària (centre de sala)	17.88 m
Amplada mitjana	14.76 m
Relació llargària/amplada	1.21

Forma en planta	Rectangular
Secció del sostre	Plana
Canvi de pendent sostre	
Escenari separat	No
Amfiteatre	Si
Paret del fons de sala	Plana
Altres	Panells sostre difusors parets escenari cortina

MATERIALS

Sostre	sala	Reflectant Panells acústics penjats
	esc.	Reflectant Panells acústics penjats
Paviment	sala	Reflectant Formigó
	esc.	Ressonador de membrana Tarima flotant de fusta
Parets	sala	laterals Reflectant Formigó
		fons Ressonador de membrana Panells de fusta de bedoll plegats
	escenari	lat. Reflectant Formigó
		fons Ressonador de membrana Panells de fusta de bedoll separats
Pati de butaques		Absorbent Tela

DADES ACÚSTIQUES

Nombre d'espectadors (N)	220
Relació V / N	11.95 m ³ / esp.
Ús de la sala	cant i càmera

Valoració de la sala

Aquesta sala té unes particularitats molt significatives. En primer lloc, trobem la planta quasi quadrada i l'existència d'uns balcons que contenen gran part de l'audiència, fet que provoca la creació d'una atmosfera molt propera entre l'espectador i l'interpret ja que la distància entre aquests és reduïda.

Un altre aspecte, i potser el més característic de la sala, és l'alt grau de difusió de les seues parets. Amb la utilització de ressonadors de membrana sobre parets de formigó que, situats en diferents direccions, dimensions i profunditats, aconseguix crear un ambient difós que possiblement vinga condicionat per la proximitat entre oient i músic abans comentada. És probable que existeixca la necessitat d'un elevat grau de difusió, sobretot a l'escenari, per facilitar la propagació dels sons de la part posterior de l'escenari i evitar que s'escolte únicament a les primeres files de músics.

La tècnica utilitzada per als ampits del balcó i per al sostre és la col·locació de panells acústics reflectants en diferents direccions per contribuir a l'ambient difós abans citat. Cal anomenar que la sala conta amb una altura elevada i un volum per espectador també elevats. Per últim, trobem en la paret del fons de la sala més elements orientats en diferents direccions però en menor densitat que a les parets.

Conservatori de Música al Districte 17 de Paris

Basalt Architects

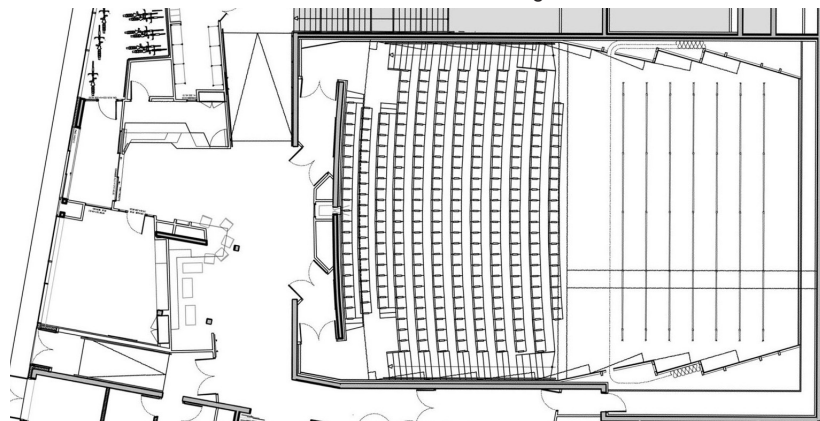
França, 2013



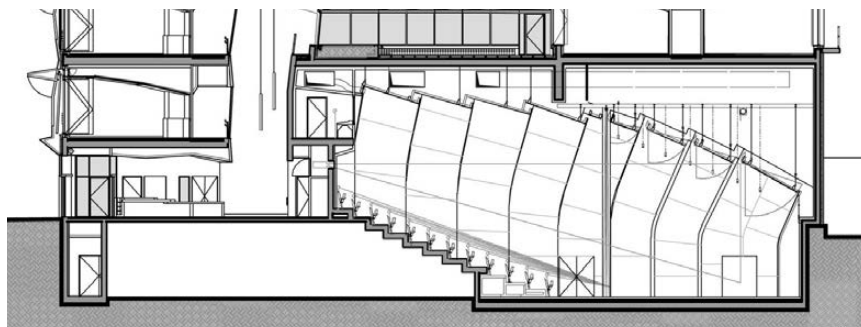
Imatge 84. Vista des de l'escenari



Imatge 85. Vista des del fons de la sala



Imatge 86. Planta de la sala



Imatge 87. Secció longitudinal de la sala

CARACTRÍSTIQUES PRINCIPALS

Nombre d'espectadors	285
Llargària (centre de sala)	22 m
Amplada mitjana	15 m
Volum (V)	2479 m ³

GEOMETRIA

Altura boca escenari	8.70 m
Altura fons d'escenari	5.70 m
Altura escenari	0 m
Altura mínima	5.70 m
Altura màxima	9.20 m
Pendent butaques	42%
Superfície (S)	334 m ²
Superfície d'escenari (SE)	127 m ²
Superfície d'audiència(SA)	136 m ²
Volum (V)	2479 m ³
Llargària (centre de sala)	21.92 m
Amplada mitjana	15.03 m
Relació llargària/amplada	1.46
Forma en planta	Rectangular
Secció del sostre	Escalonada
Canvi de pendent sostre	
Escenari separat	No
Amfiteatre	No
Paret del fons de sala	Inclinada
Altres	Ressonadors de cavitat 3 files mòbils

MATERIALS

Sostre	sala	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors	
	esc.	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors	
Paviment	sala	Reflectant Paviment de fusta	
	esc.	Reflectant Paviment de fusta	
Parets	sala	laterals	Ressonador de membrana 54% Panells de fusta sobre bastidors
		laterals	Ressonador múltiple cavitat 44% Panells de fusta perforats
	fons	fons	Absorbent 50% Panell acústic
		fons	Ressonador múltiple cavitat 50% Panells de fusta perforats
escenari	lat.	Ressonador de membrana 82% Panells de fusta sobre bastidors	
	fons	Ressonador múltiple cavitat 18% Panells de fusta perforats	
Pati de butaques		Absorbent Tela	

DADES ACÚSTIQUES

Nombre d'espectadors (N)	285
Relació V / N	8.70 m ³ / esp.
Ús de la sala	cant i càmera

Valoració de la sala

Pel que fa a aquesta sala trobem una sala que entra dins dels paràmetres normals de disseny, amb unes proporcions adequades i un escenari suficientment gran per acollir una banda simfònica de fins a 75 músics. La disposició de les parets respon al patró típic d'escalonament per evitar el paral·lelisme i millorar les reflexions cap a la platea. Una característica d'aquesta sala és l'existència d'una gran superfície de ressonadors múltiples de cavitat a les parets.

D'altra banda, existeix un fet qüestionable, segurament condicionat per l'aprofitament del màxim espai de la sala, que és el fet que els escalonaments de la sala es situen a la mitat superior de les parets i no a la franja inferior on es relacionen directament amb el pati de butaques. En aquesta franja es col·loquen els resonadors múltiples però es col·loquen de forma paral·lela a la paret d'enfront. Aquest és un fet a estudiar degut a que la franja realment important pel que fa a la generació de primeres reflexions i la possible creació d'ecos flotants és la inferior, que interacciona directament amb la platea.

La paret del fons de la sala respon a un tractament absorbent fet raonable degut a les reduïdes dimensions de la sala. Així, sols queda comentar la existència d'un sostre mòbil a l'escenari, el qual possibilita la polivalència.

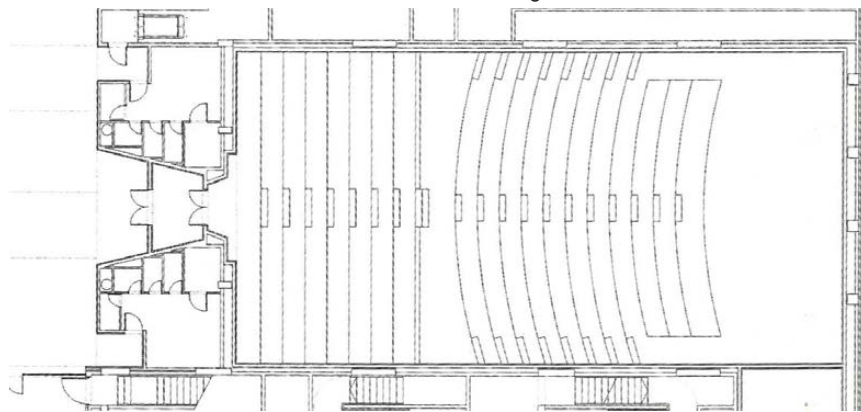
Escola de Música i Conservatori de Terrassa
Artigues & Sanabria Terrassa, 2003



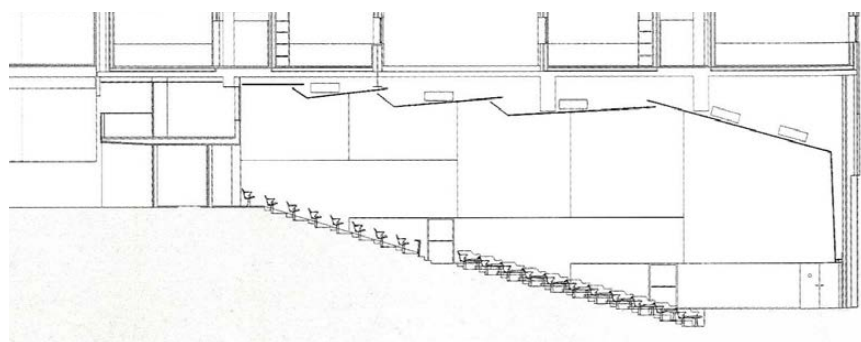
Imatge 88. Vista lateral de la sala



Imatge 89. Vista des del fons de la sala



Imatge 90. Planta de la sala



Imatge 91. Secció longitudinal de la sala

TEMPS DE REVERBERACIÓ MESURATS

Freqüència (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	T _{MID}	T _{LOW}	T _{HIGH}
RT mesurat	1.38	1.40	1.57	1.49	1.48	1.30	1.53	1.39	1.39

CARACTRÍSTIQUES PRINCIPALS

Nombre d'espectadors	400
Llargària (centre de sala)	28 m
Amplada mitjana	15 m
Volum (V)	2785 m ³

GEOMETRIA

Altura boca escenari	9.05 m
Altura fons d'escenari	7.37 m
Altura escenari	0.80 m
Altura mínima	5.65 m
Altura màxima	10.15 m
Pendent butaques	26% 30%
Superfície (S)	412 m ²
Superfície d'escenari (SE)	89 m ²
Superfície d'audiència(SA)	280 m ²
Volum (V)	2785 m ³
Llargària (centre de sala)	28.39 m
Amplada mitjana	14.52 m
Relació llargària/amplada	1.96
Forma en planta	Rectangular
Secció del sostre	Escalonada
Canvi de pendent sostre	
Escenari separat	No
Amfiteatre	No
Paret del fons de sala	Plana
Altres	

MATERIALS

Sostre	sala	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors	
	esc.	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors	
Paviment	sala	Reflectant Paviment de fusta	
	esc.	Reflectant Paviment de fusta	
Parets	sala	laterals	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
		laterals	Ressonador de membrana Panells cartró guix sobre bastidors
	fons	fons	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
		fons	Ressonador de membrana Panells cartró guix sobre bastidors
escenari	lat.	Ressonador de membrana Panells de fusta i cartró guix	
	fons	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors	
Pati de butaques		Absorbent Tela	

DADES ACÚSTIQUES

Nombre d'espectadors (N)	400
Relació V / N	6.96 m ³ / esp.
Ús de la sala	música

Valoració de la sala

Aquesta sala respon a unes mesures i proporcions dins dels patrons tot i que la relació V / N és justa situant-se al voltant dels 7 m³ per espectador. Això es deu a que la sala té un aprofitament elevat i un escenari relativament menut per a les dimensions de la sala. que permetria acollir una agrupació d'uns 50 músics.

Pel que fa al tractament de les parets, utilitza ressonadors de membrana dividint-ho en dos franjes, la inferior de fusta i la superior de cartró guix pintat. Un aspecte important és el paral·lelisme de les parets i al seu alt grau de reflexió que pot donar lloc a ecos flotants. Les parets de l'escenari també són paral·leles, fet que pot provocar anomalies molt importants per als músics a l'escenari.

Pel que fa al sostre la distribució escalonada i ascendent segueix patrons d'equipotencialitat amb la peculiaritat que el final de la sala és pla. El sostre de l'escenari és una continuació del de la sala però es resol amb un gran panell a mode de reflector que pot tenir dimensions excessives i crear coloracions sobre les primeres files de la platea.

M - Auditori en Bombai

Planet 3 Studio Architecture

India, 2002



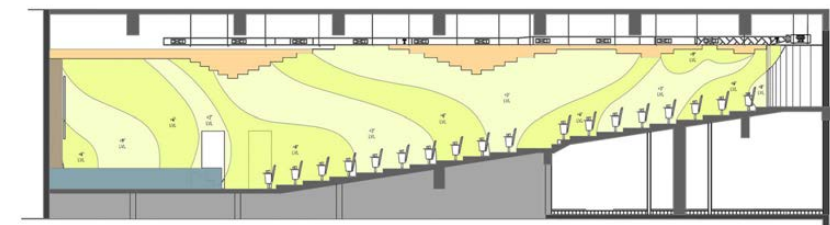
Imatge 92. Vista des del fons de la sala



Imatge 93. Vista des de l'escenari



Imatge 94. Planta de la sala



Imatge 95. Secció longitudinal de la sala

CARACTRÍSTIQUES PRINCIPALS

Nombre d'espectadors	246
Llargària (centre de sala)	31 m
Amplada mitjana	12 m
Volum (V)	1387 m ³

GEOMETRIA

Altura boca escenari	3.70 m
Altura fons d'escenari	4.30 m
Altura escenari	0.85 m
Altura mínima	2.30 m
Altura màxima	5.25 m
Pendent butaques	15%
Superfície (S)	360 m ²
Superfície d'escenari (SE)	66 m ²
Superfície d'audiència(SA)	158 m ²
Volum (V)	1387 m ³
Llargària (centre de sala)	31.10 m
Amplada mitjana	11.70 m
Relació llargària/amplada	2.66
Forma en planta	Rectangular
Secció del sostre	Escalonada
Canvi de pendent sostre	
Escenari separat	No
Amfiteatre	No
Paret del fons de sala	Plana convexa
Altres parets	escalonades

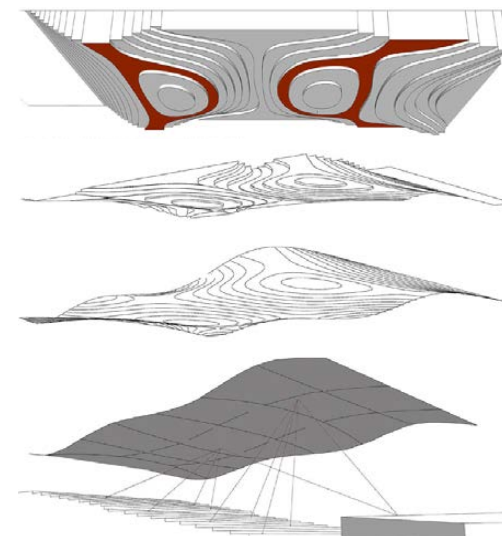
MATERIALS

Sostre	sala	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
	esc.	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
Paviment	sala	Absorbent Moqueta
	esc.	Ressonador de membrana Tarima flotant de fusta
Parets	sala laterals	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
	fons	Absorbent Panells acústic
escenari	lat.	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
	fons	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
Pati de butaques		Absorbent Tela

DADES ACÚSTIQUES

Nombre d'espectadors (N)	246
Relació V / N	5.64 m ³ / esp.
Ús de la sala	(baix T)

Valoració de la sala



Imatge 96. Processos per a la creació del sostre

L'elecció d'aquesta sala es deu a les peculiaritats de disseny en que s'ha desenvolupat. Així s'ha dissenyat amb ferramentes de disseny paramètric i computacionals a base de realitzar diferents iteracions i proves de forma. D'aquesta manera, s'ha arribat a una sol·lució basada en la creació d'escalonaments que dirigeix les reflexions en diferents direccions. Cal destacar que l'estudi sembla haver-se realitzat únicament per al sostre, no per a les parets.

D'aquesta manera, ens trobem amb un sostre que reflexa en unes direccions determinades que no segueixen cap patró clàssic i que es baixa en una superfície amb doble curvatura. Aquest model s'ha construït a base d'escalonaments i la superposició de làmines de fusta. S'ha de ser conscient que, acústicament, aquest escalonament no té cap efecte sobre el comportament de la sala, el que realment influeix és la doble corbatura expressada en la *Imatge 96*.

Pel que fa a les parets s'observa un lleu escalonament a les parets però que, des del punt de vista acústic respon assimilant-se a la seua línia generadora, igualment que en el sostre. La diferència recau en que en el sostre les diferències de profunditat són prou pronunciades per a eliminar la planor de la superfície però en les parets no. Així, no està clar que aquesta sol·lució realment resolga els problemes deguts al paral·lelisme entre superfícies reflectants. La paret del fons, per contra, té una forma ondulada que elimina la creació de possibles anomalies.

Un altre aspecte a remarcar és el reduït volum i per tant la reduïda relació V / N en relació al baix temps de reverberació que s'ha aconseguit.

Teatre Serrano (sala secundària)

Horacio Fernández del Castillo

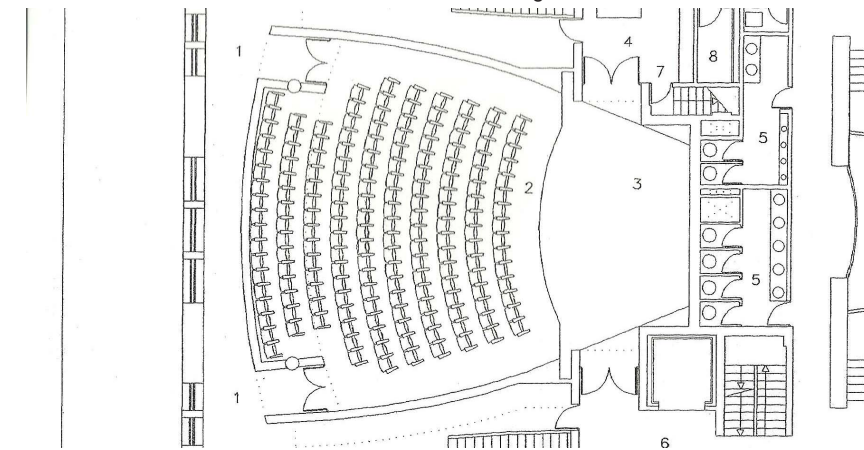
Gandia, 2006



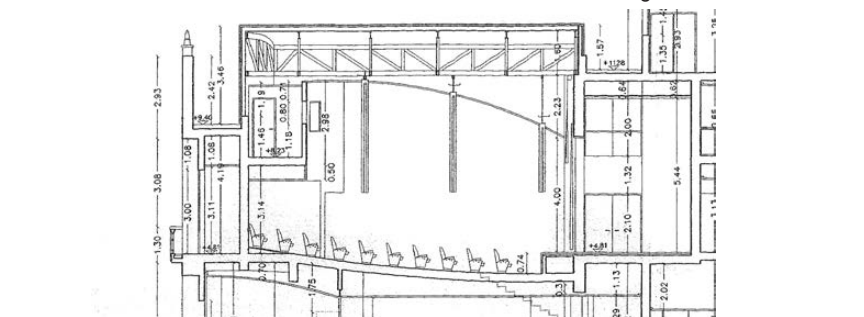
Imatge 97. Vista des de l'escenari



Imatge 98. Vista des del fons de la sala



Imatge 99. Planta de la sala



Imatge 100. Secció longitudinal de la sala

CARACTRÍSTIQUES PRINCIPALS

Nombre d'espectadors	171
Llargària (centre de sala)	16 m
Amplada mitjana	10 m
Volum (V)	872 m ³

GEOMETRIA

Altura boca escenari	4.00 m
Altura fons d'escenari	5.44 m
Altura escenari	0.74 m
Altura mínima	2.35 m
Altura màxima	6.45 m
Pendent butaques	13%
Superfície (S)	160 m ²
Superfície d'escenari (SE)	42 m ²
Superfície d'audiència(SA)	88 m ²
Volum (V)	872 m ³
Llargària (centre de sala)	15.64 m
Amplada mitjana	10.19 m
Relació llargària/amplada	1.53

Forma en planta	Ventall còncau
Secció del sostre	Escalonada
Canvi de pendent sostre	
Escenari separat	Si
Amfiteatre	No
Paret del fons de sala	Plana
Altres	escenari
	cortina
	difusors

MATERIALS

Sostre	sala	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
	esc.	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
Paviment	sala	Absorbent Moqueta
	esc.	Reflectant Paviment de fusta
Parets	sala laterals	Ressonador de membrana 65% Panells de fusta sobre bastidors Difusors 35% Caixes piramidals de fusta
	sala fons	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
escenari	lat.	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
	fons	Absorbent Cortina
Pati de butaques		Absorbent Tela

DADES ACÚSTIQUES

Nombre d'espectadors (N)	171
Relació V / N	5.10 m ³ / esp.
Ús de la sala	m. càmera

Valoració de la sala

Aquesta sala de reduïdes dimensions té unes característiques a considerar. En primer lloc està la forma en planta, de ventall invertit però amb la peculiaritat que les parets són còncaues. Aquest tipus de superfícies reflectants tendeixen a concentrar molt la energia i poden produir focalitzacions no desitjades. S'ha de dir, que el radi de corbatura és molt gran, fet que redueix la concentració d'energia i, a més a més, trobem unes caixes piramidals a mode de difusors situades sobre aquestes.

La sala, de molt poca profunditat, té un sostre continu i reflexant ascendent cap al fons de la sala. Però, en arribar a l'escenari, tot i que la situació podria assimilar-se a sales abans analitzades com poden ser el Kursaal o el centre cultural en Leioa, no existeix closca acústica. No s'ha pogut averiguar el motiu d'aquest fet, si és intencionat o per falta de presupost però segurament no beneficiarà la qualitat acústica de la sala.

Potser, degut a les reduïdes dimensions de la sala, la xicoteta relació V/N, i les parets reflectants, l'absència de closca acústica no és important. Aquests aspectes, lligats al fet que l'escenari té unes dimensions molt reduïdes i l'ús de la sala és actualment música de càmera, pot obtenir temps de reverberació acceptables per a l'ús.

3.3. Comparació i valoració dels anàlisi

A la Taula excel s'extrauen els valors mitjans o característics del conjunt de sales referits pel que fa a la geometria i a les dades acústiques (tenint en compte la limitació de resultats obtesos de l'anàlisi).

Cal anomenar que en la taula excel es presenten algunes característiques especials que presenten algunes referències (Apartat *Altres*) les quals depenen de la configuració característica de la sala. D'aquesta manera, sols basant-se en els coneixements teòrics coneguts, considerarem que únicament ens interessin els aspectes següents:

- Paret del fons plana, la qual cosa indica que, com que les sales tenen de mitjana una pendent elevada (del 19 al 38 %), no es produeixen reflexions perjudicials cap a l'escenari. Així i tot, s'ha de tenir en compte que, com s'ha dit en apartats anteriors, eliminar els paral·lelismes reduirà la possible aparició d'ecos i reflexions perjudicials per a la millora de la qualitat acústica de la sala.
- Parets escalonades i/o amb elevada difusió, aspecte característic per eliminar o reduir els paral·lelismes entre parets i augmentar la difusió.
- Ressonadors múltiples de cavitat col·locats ocupant el 45 % aproximadament de la superfície de les parets. Aquest aspecte sols apareix en dos sales però s'ha de tenir en compte que pot ser degut a les dificultats de disseny que comporten aquests elements, així com la difícil predicció de com actuaran realment a la sala arribant a variar substancialment la freqüència de càlcul.

D'altra banda, pel que fa als materials, al marge es presenta una taula on s'expressen els valors característics del conjunt. Dintre dels materials existeixen alguns aspectes que s'extrauen de l'anàlisi i que cal puntualitzar-los:

- L'existència d'absorció està present en moltes sales, tot i que no segueixen un patró de posició comú, es troba que en quatre sales existeix algun tipus de superfície absorbent adicional al pati de butaques. Tres sales l'apliquen al paviment de la sala utilitzant una moqueta, dos el col·loquen en forma de cortines al fons de l'escenari, i sols dos el situen al fons de la sala, situació teòricament més apropiada en el cas de sales menudes.
- Dues sales presenten panells de fusta perforats a mode de ressonadors múltiples de cavitat.
- Un aspecte que apareix únicament al Kursaal és el sostre com a closca acústica, destacant que està dividit en tres trossos inferiors als 3 m per facilitar el muntatge i desmuntatge. S'observa que possiblement la sala secundària del Serrano també requeria aquesta solució però possiblement per falta de pressupost no s'haja instal·lat.
- Pel que fa a les butaques, la totalitat dels referents, que instal·len seients fixos opten per butaques de tela absorbents.

MATERIALS

Sostre	sala	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
	esc.	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
Paviment	sala	Reflectant Paviment de fusta
	esc.	Ressonador de membrana Tarima flotant de fusta
Parets	sala	laterals Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
		fons Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
	escenari	lat. Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
		fons Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
Pati de butaques		Absorbent Tela

	2	3	4	5	6	7	8	9	
	Alguenya	Vila-Seca	Kursaal	Caixa Fòrum	Leioa	Cant Coral	Districte 17	Terrassa	M-auditori
Altura boca escenari	5,3	8,05	7,9	5,8	6,2	9,85	8,7	9,05	3,7
Altura fons de l'escenari	3,9	5,7	6	4,9	4,6	9,85	5,7	7,37	4,3
Altura escenari	0,7	1,15	0,75	0,6	1	0,58	0	0,8	0,85
Altura mínima	3,8	2,85	6,05	2,5	3,62	3,20	5,7	5,65	2,3
Altura màxima	7,5	10,15	10,03	6,4	8,6	10,43	9,2	10,15	5,25
Pendent butaques (1r pati)	0	15	16,7	26	38	5	42	26	
(2r pati)		30	46,5			48		30	
Superfície	328	408,62	550,86	303,9	364,43	337,28	334,15	412,3	360,4
Superfície de l'escenari (S.E.)	95,25	98,22	110,58	75,43	67,39	108,57	127	89,06	66,11
Superfície d'audiència (S.A.)	160	193,4	359,84	141,7	202	124,32	136,22	280	158,24
Volum (V.)	2078	3065	4474,52	1398,49	1993	2629,90	2478,78	2785	1387
Llargària al centre de sala	28,65	34,19	29,21	22,45	23,09	17,88	21,92	28,39	31,10
Amplada mitjana	11,56	11,95	21,35	13,12	12,96	14,76	15,03	14,52	11,70
Relació llargària/amplada	2,48	2,86	1,37	1,71	1,78	1,21	1,46	1,96	2,66
Forma aproximada en planta	rectangular	rectangular	ventall invertit	trapezoidal	rectangular	rectangular	rectangular	rectangular	rectangular
Forma de la secció del sostre	esc i còncau	esc i còncau	esc. l asc.	dent de serra	esc.	plana (panells)	esc. l asc	esc. l asc	esc. Patró
canvi de pendent del sostre	11,62	17,83							
Escenari separat	no	no	si	no	si	no	no	no	
Amfiteatre	no	no	no	no	si	si	no	no	
Altres		cloasca lateral	cloasca sostre						
sostre						panells sostre			
Escenari			corbata 2,6 m			cortina escenari			
paret final	inclinada	plana	inclinada	plana	plana	plana	inclinada	plana	cóncava
parets			parets esc.	res. Cavitat		difusors parets	esc. l res.Cavitat		
ressonadors de cavitat				46,00%			44,00%		
cadires							3 files mòbils		
Nombre d'espectadors (N.)	230	378	624	252	288	220	285	400	246
Relació V/N	9,04	8,11	7,17	5,55	6,9	11,95	8,7	6,96	5,64
Relació V/SA	12,99	15,85	12,43	9,87	9,9	21,15	18,19	10	8,77
Ús de la sala	música	música	càmera i conf	càmera i conf	musica	cant i càmera	cant i càmera	música	(baix T)
T _{mid} mesurat		1,67	1,33		1,29			1,53	
T _{low} mesurat		1,76	1,44		1,31			1,39	
T _{high} mesurat		1,51	1,3		1,11			1,39	

	10	13				
	M-auditori	Serrano	mínim	màxim	Mitjana	Mitjana condicionada
Altura boca escenari	3,7	4,00	3,70	9,85	6,86	6,88
Altura escenari	4,3	5,44	3,90	9,85	5,78	5,50
Altura mínima	0,85	0,74	0,00	1,15	0,72	0,75
Altura màxima	2,3	2,35	2,30	6,05	3,80	3,71
Pendent butaques	5,25	6,45	5	10	8,42	8,56
	15	13	0	42	20	19
			30	48	39	38
Superfície	360,4	160,3	160,30	550,86	356	356
Superfície de l'escenari (S.E.)	66,11	41,5	41,50	127,00	88	89
Superfície d'audiència (S.A.)	158,24	88	88,00	359,84	184	174
Volum (V.)	1387	872	871,65	4474,52	2316	2227
Llargària al centre de sala	31,10	15,64	15,64	34,19	25,25	25,34
Amplada mitjana	11,70	10,19	10,19	21,35	13,71	13,20
Relació llargària/amplada	2,66	1,53	1,21	2,86	1,90	1,87
Forma aproximada en planta	rectangular	ventall còncau			rectangular	rectangular
Forma de la secció del sostre	esc. Patró	còncau i asc			escalonat	escalonat
Canvi de pendent del sostre					14,73	14,73
Escenari separat	no	si			no	no
Amfiteatre	no	no			no	no
Altres					cloasca lateral	cloasca lateral
sostre					panells sostre	panells sostre
Escenari		cortina escenari			cortina escenari	cortina escenari
paret final	cóncava	plana			plana	plana
parets	parets esc.	difusors			parets esc. / res.cavitat	parets esc. / res.cavitat
ressonadors de cavitat					45,00%	45,00%
cadires					3 files mòbils	3 files mòbils
Nombre d'espectadors (N.)	246	171	171	624	309,40	287
Relació V/N	5,64	5,10	5,10	11,95	7,51	7,26
Relació V/SA	8,77	9,91	8,77	21,15	12,91	12,39
Ús de la sala	(baix T)	càmera			càmera	càmera
T _{mid} mesurat			1,29	1,67	1,46	1,43
T _{low} mesurat			1,31	1,76	1,48	1,42
T _{high} mesurat			1,11	1,51	1,33	1,35

3.4. Prototip de sala ideal

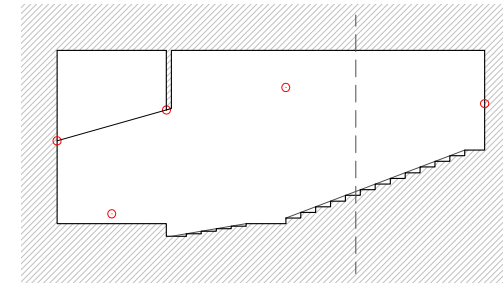


Figura 1

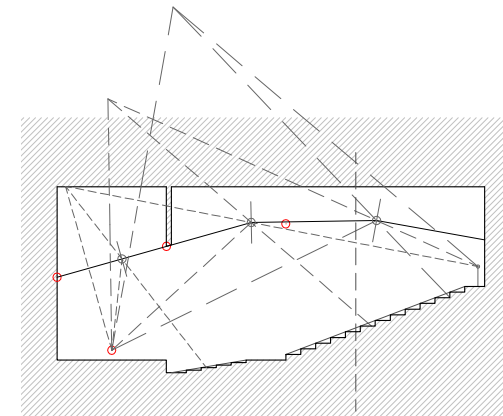


Figura 2

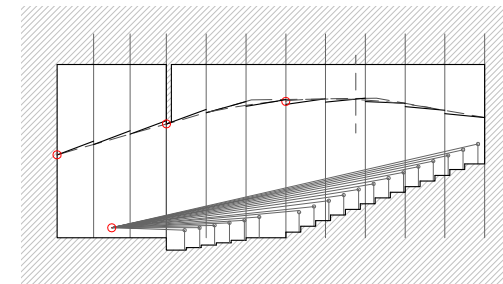


Figura 3

Per a la creació del prototip de sala ideal s'han fet servir els valors mitjans extrems de l'anàlisi, tant geomètrics com materials.

En primer lloc s'ha buscat els paràmetres numèrics que es poden considerar fixos com són les dimensions en planta, el pendent del pati de butaques, i les diferents altures característiques com poden ser: la de l'escenari, la de la paret del fons de l'escenari, la de boca d'escenari, la màxima en sala i la mínima en sala. Un altre aspecte numèric que també s'ha tingut en compte és la superfície mitjana de l'escenari. Pel que fa a la forma, s'han predefinit els següents criteris: forma en planta rectangular, forma de la paret del fons plana i forma del sostre escalonat.

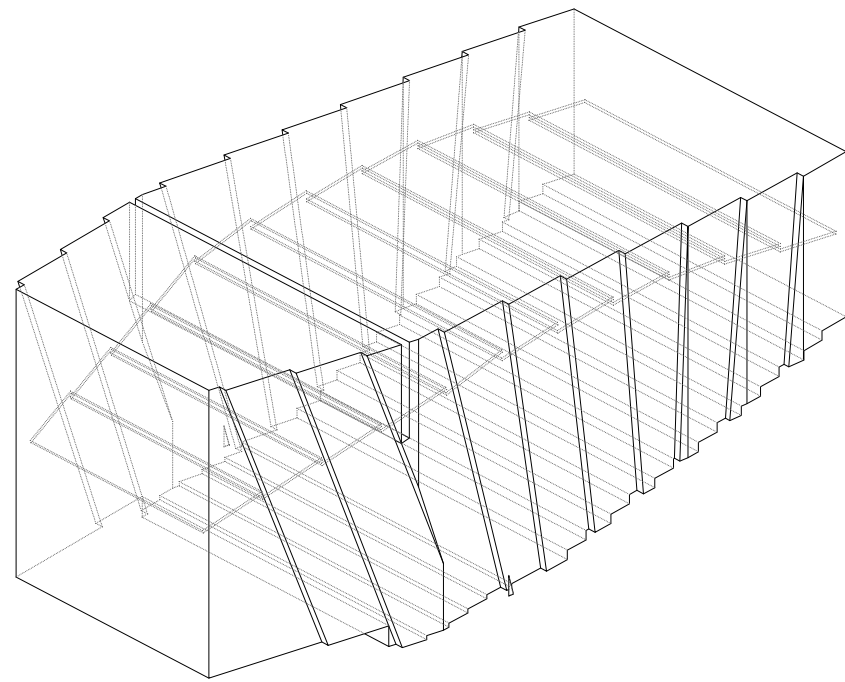
Amb aquestes premisses i afegint-hi la línia que marca la distància a partir de la qual es produeix el canvi de secció dels sostres, obtenim una figura (fig. 1) on les característiques i punts principals estan situats. Així, s'inicia el disseny del sostre realitzant una distribució equipotencial i obtenint un perfil que s'utilitzarà com a base per a la creació del sostre (fig. 2). Seguidament, amb aquesta base i una modulació de 2.2 metres es creen els distints panells que formaran el sostre (fig. 3).

Amb el sostre creat, sols queda el disseny de les parets que, atenent a l'anàlisi i als conceptes d'acústica coneguts, s'estableix que realitzar les parets planes com la majoria de les referències tenen no és una bona sol·lució. D'aquesta manera s'optà per la creació d'un escalonament per eliminar els ecos i fomentar la difusió. Aquest escalonament es realitzarà seguint un arc amb centre obtés a partir de les perpendiculars als panells extrems.

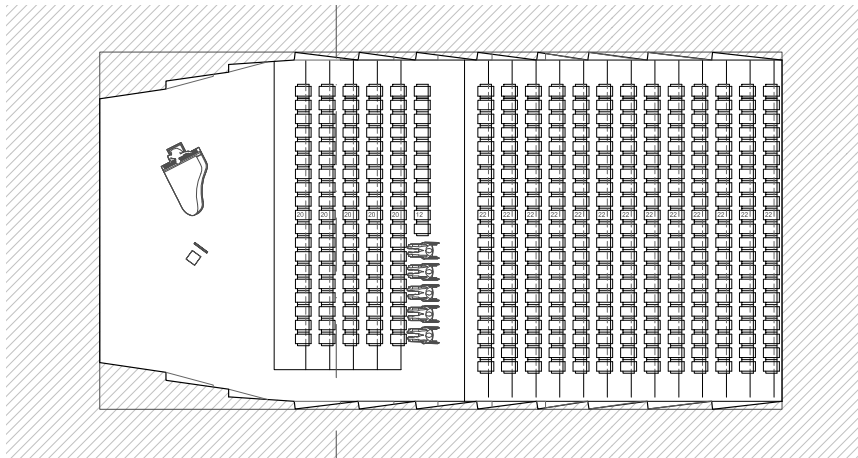
Aquest aspecte es dissenya així pensant en la difusió, que no es centrarà en cap freqüència concreta degut a la varietat de dimensions, tant entre les diferents franjes, com en la mateixa franja segons l'altura. Finalment dir que l'escalonament s'eleva fins el sostre però, la part més efectiva és la franja d'audiència, és a dir, la zona delimitada pel paviment i la paral·lela uns dos metres cap amunt.

Pel que fa a la distribució de materials, es col·loquen els més emprats en les referències.

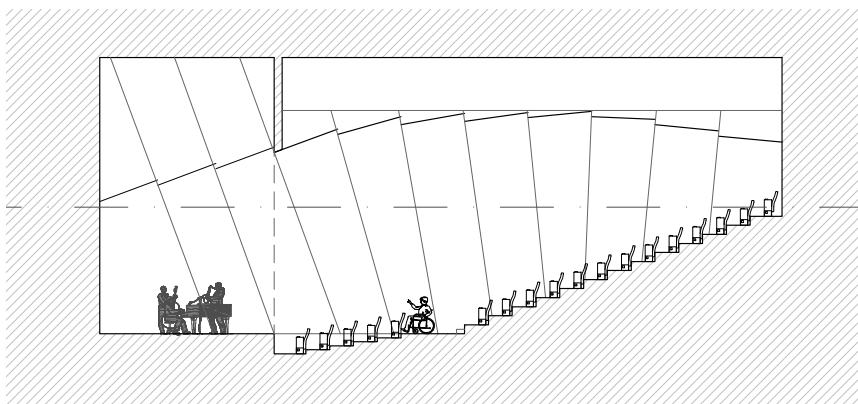
També s'ha realitzat un anàlisi dels aspectes geomètrics, materials i acústics de la sala, tenint en compte els mateixos paràmetres que en les referències.



Axonometria de la sala prototip



Planta de la sala prototip



Secció longitudinal de la sala prototip

CARACTRÍSTIQUES PRINCIPALS

Nombre d'espectadors	386
Llargària (centre de sala)	26 m
Amplada mitjana	13 m
Volum (V)	2204 m ³

GEOMETRIA

Altura boca escenari	6.86 m
Altura fons d'escenari	5.00 m
Altura escenari	0.75 m
Altura mínima	3.71 m
Altura màxima	7.81 m
Pendent butaques	19% 38%
Superfície (S)	344 m ²
Superfície d'escenari (SE)	98 m ²
Superfície d'audiència(SA)	183 m ²
Volum (V)	2204 m ³
Llargària (centre de sala)	25.80 m
Amplada mitjana	13.50 m
Relació llargària/amplada	1.88
Forma en planta	Rectangular
Secció del sostre	Escalonada
Canvi de pendent sostre	14.73 m
Escenari separat	No
Amfiteatre	No
Paret del fons de sala	Plana
Altres	parets escalonades Ressonadors de cavitat

MATERIALS

Sostre	sala	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
	esc.	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
Paviment	sala	Reflectant Paviment de fusta
	esc.	Ressonador de membrana Tarima flotant de fusta
Parets	sala	laterals Ressonador de membrana 55% Panells de fusta sobre bastidors
		laterals Ressonador múltiple cavitat 45% Panells de fusta sobre bastidors
	fons	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
escenari	lat.	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
	fons	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
Pati de butaques		Absorbent Tela

DADES ACÚSTIQUES

Nombre d'espectadors (N)	386
Relació V / N	6.89 m ³ / esp.
Ús de la sala	m. càmera

Valoració de la sala

Pel que fa a la sala que obtenim com a prototip de les referències analitzades tenim diferents característiques a remarcar. Una relació V / N que no arriba als 7 m³/ espectador, un poc per baix de la mitjana extreta de l'anàlisi situada en els 7.5 m³/ espectador.

Un altre aspecte destacat és l'elevat nombre d'espectadors responenent a les dimensions extretes de l'anàlisi. Per a l'anàlisi la mitjana d'espectadors es situava quasi 100 espectadors per baix dels obtesos amb el prototip. Tenint en compte que, a més a més, es deixa un espai reservat per al pas de minusvàlids cap a l'escenari, la diferència encara és major.

Pel que fa als materials, cal destacar que es situa ressonador de membrana a la paret de fons, així, no existeix cap superfície absorbent a la sala llevat de les butaques.

4. Disseny de la sala

En aquest apartat realitzarem el disseny de la sala auditori. En primer lloc realitzarem un anàlisi de les característiques de la sala abans de començar el seu estudi acústic. Així, es realitzarà un anàlisi de les principals característiques al mateix nivell que s'ha realitzat per a les referències, i a més a més, s'introduirà en un programa informàtic per extraure els valors dels principals paràmetres acústics i analitzar-los. Per dur a terme aquest anàlisi s'utilitzarà el mètode dels factors de mèrit definit per Arau.

4.1. Descripció del projecte base

Ens trobem davant d'una parcel·la situada al barri de Benimaclet i delimitada pels carrers C/ de Masquefa a l'est, C/ del Rector Saragossa al sud, i C/ Miracle dels Peixets a l'oest. La parcel·la, de dimensions quasi quadrades està dominada per l'existència d'un edifici de planta baixa més quatre al nord d'aquesta.

Pel que fa al programa, es tracta d'una escola de música per al barri de Benimaclet i compta amb:

- Aules, tant individuals com de grup, com una de percussió.
- Aula d'assaig
- Biblioteca
- Xicotet auditori d'unes 200 places
- Sala d'exposicions temporals
- Cafeteria amb possibilitat d'independitzar-se.

Així, ens trobem amb una tipologia en altura on bàsicament, l'edifici s'estructura en tres bandes clarament diferenciades: l'escola, el nucli de serveis i l'auditori. Les bandes que més pugen en altura, com són els serveis i l'escola, s'adapten a l'edifici preexistent i l'auditori és el que es dona al sud, acomodant-se en altures cap al centre històric de Benimaclet. Per millorar la il·luminació i afavorir la ventilació de les zones públiques de l'edifici es situa un atri entre la caixa de l'auditori i el nucli de serveis i comunicacions. Aquest fet crea un espai de relació entre tots els nivells de l'edifici i dignifica les escales de comunicació.

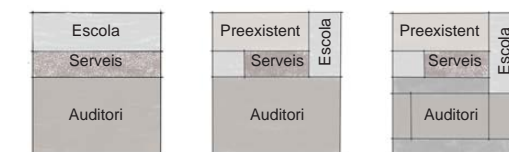
L'accés es realitza per planta baixa, creant una porxada al carrer Masquefa, el qual comunica l'auditori amb la plaça de Benimaclet. Així, es produeix un accés a cobert des d'on s'entra al gran vestíbul principal situat sota la sala. Des d'ací, existeixen dos recorreguts per arribar al foyer de planta primera situat sobre la porxada d'accés. Un aspecte a tenir en compte per entendre les grans dimensions de les peces d'accés i foyer és que la sala d'exposicions absorbeix tot aquest espai, amb la idea que l'usuari de l'edifici tinga l'exposició al seu abast en tot moment.

En pujar a planta primera, trobem el foyer abans anomenat que presenta la possibilitat d'unir-se amb la sala s'assaig per crear un gran espai polivalent. Les plantes superiors corresponen amb l'aulari de l'escola de música fins arribar a l'última planta on es situa la biblioteca que gaudeix d'unes vistes privilegiades cap a l'horta. Per finalitzar, l'aula de percussió es situa al soterrani.

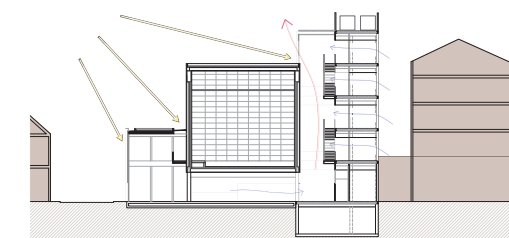


Escala: 1 / 3000

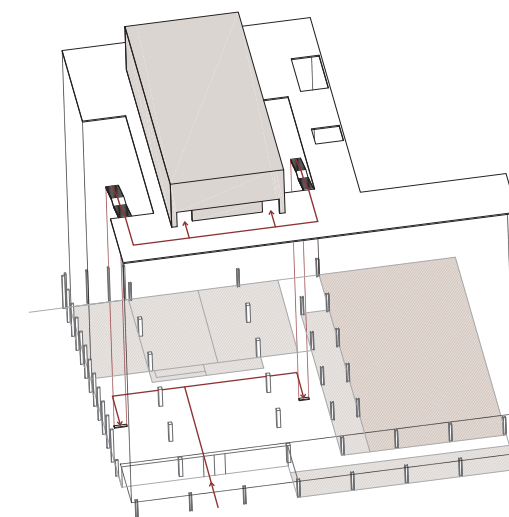
Implantació



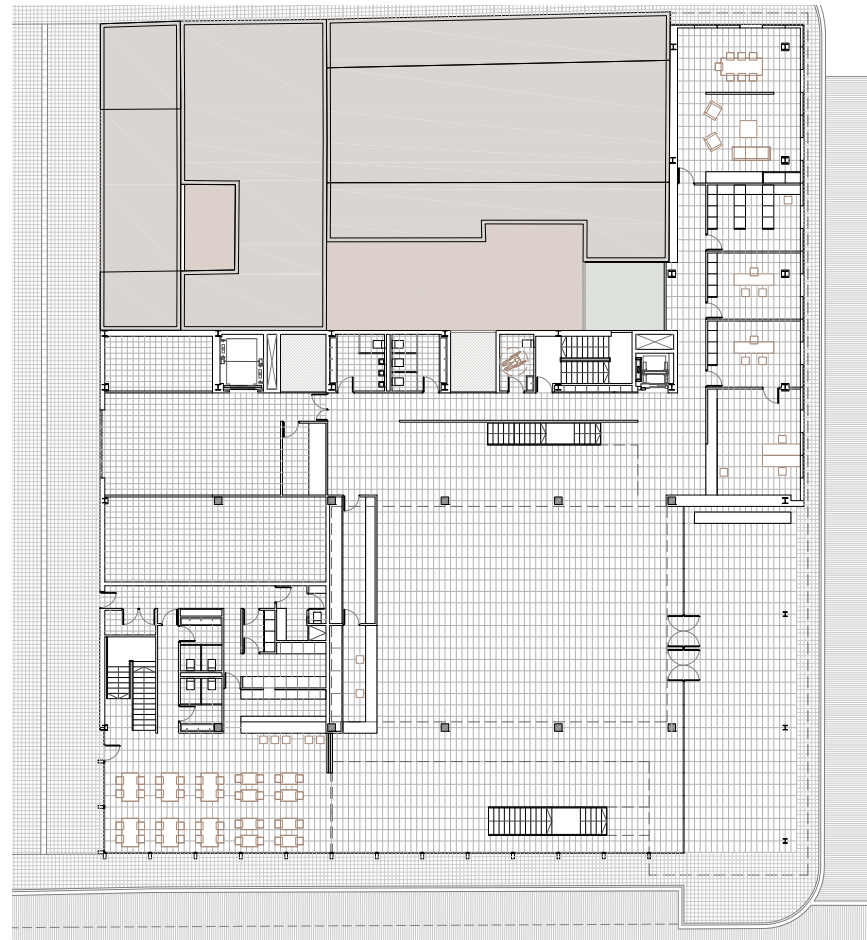
Composició del projecte



Secció transversal

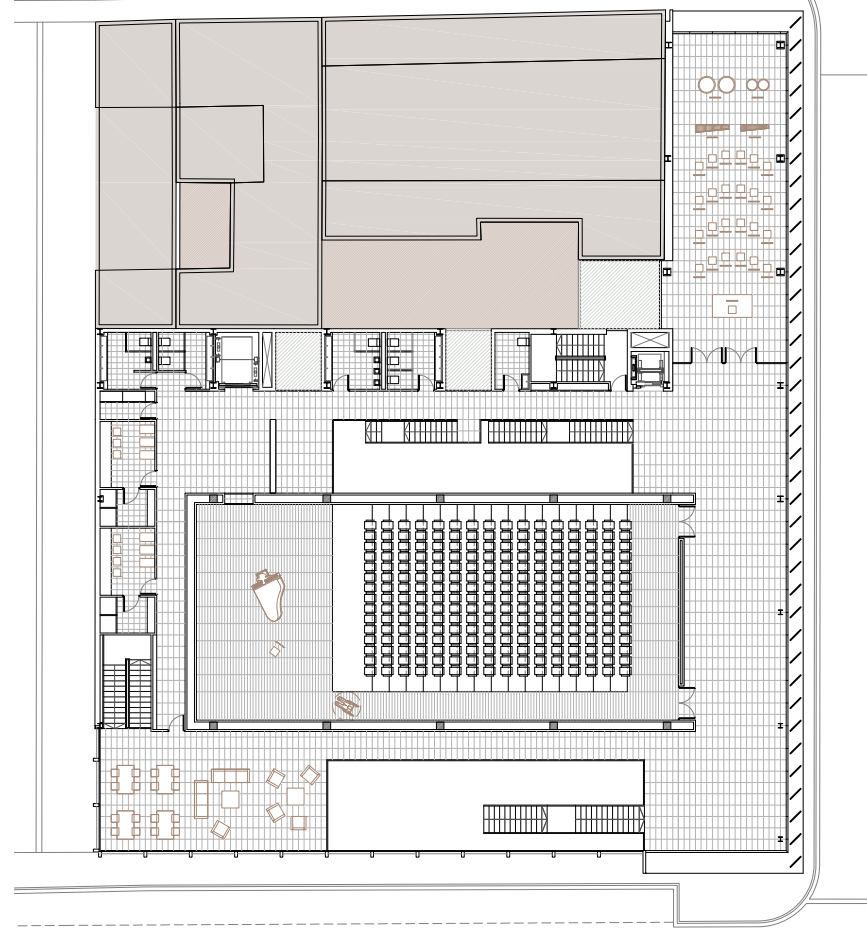


Accés a la sala auditori

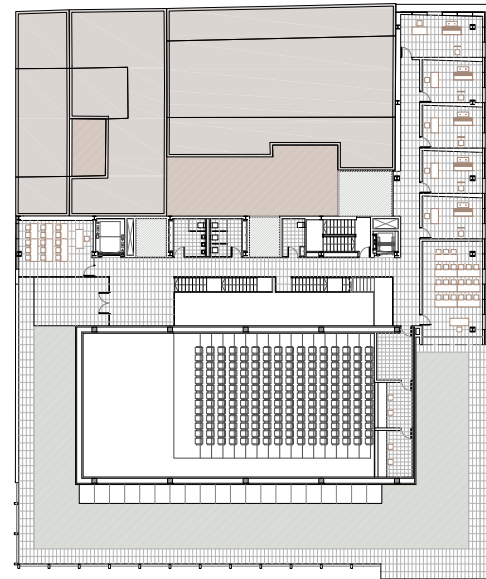


Escala: 1 / 400

Planta baixa

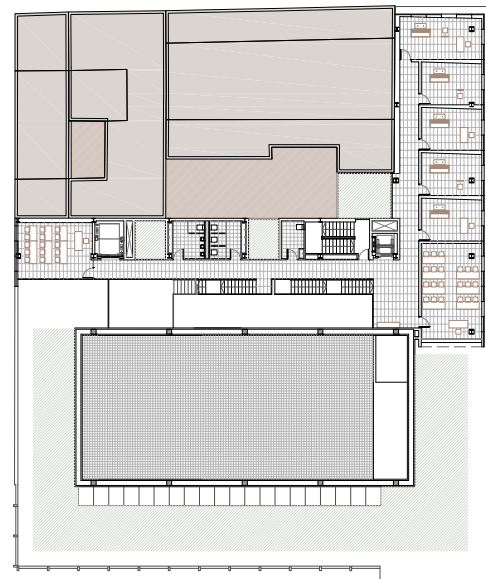


Planta primera



Escala: 1 / 600

Planta segona



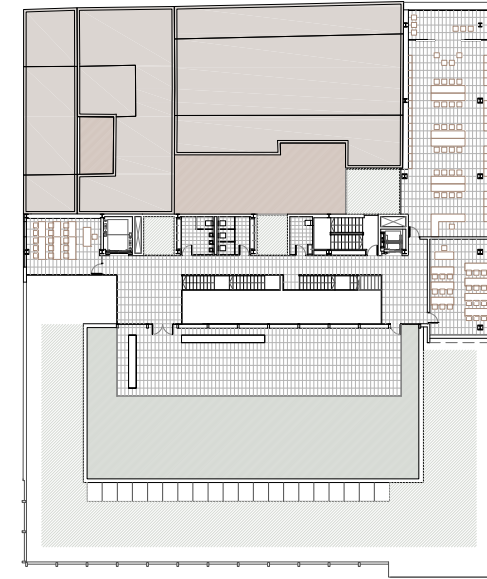
Planta tercera



Axonometria 1

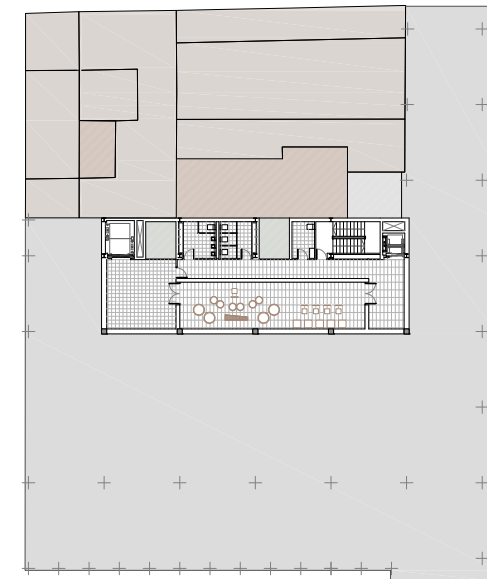


Axonometria 2

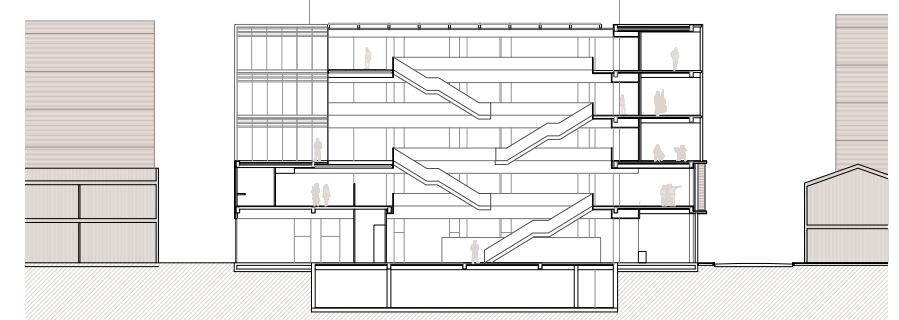


Escala: 1 / 600

Planta quarta

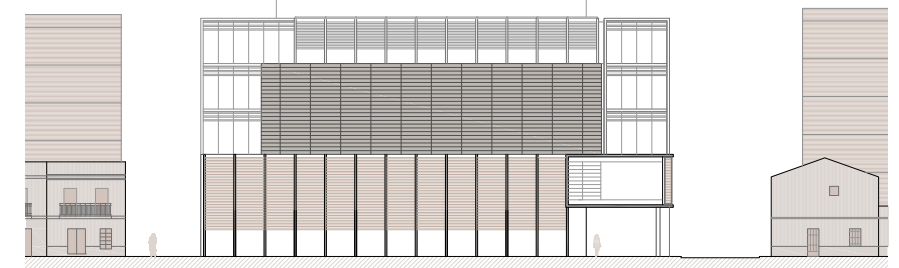


Planta soterrani



Escala: 1 / 600

Secció longitudinal per l'atri



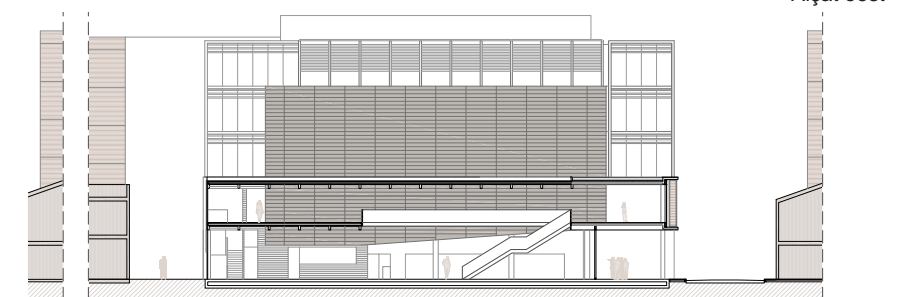
Alçat sud



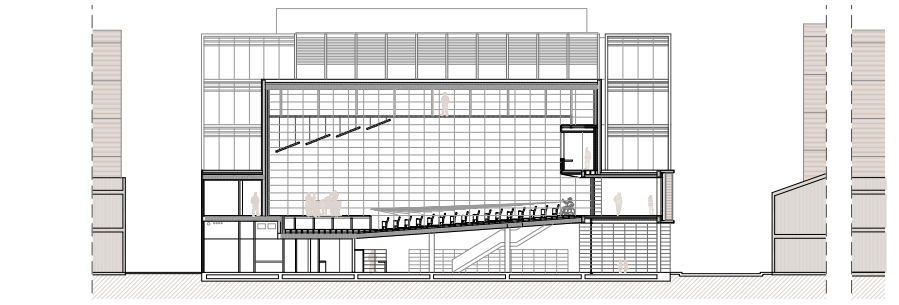
Alçat est



Alçat oest



Secció transversal per la cafeteria



Secció transversal per l'auditori



Vista des de la porxada d'accés



Vista del vestíbul



Vista del foyer i l'accés de la sala

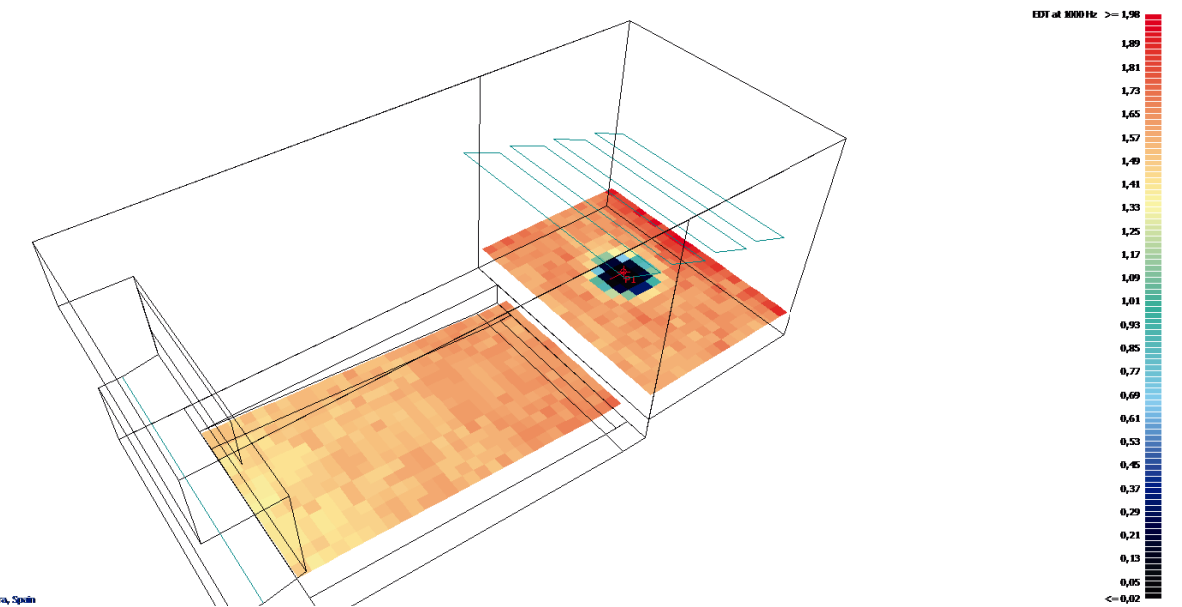


Vista des del carrer Masquefa

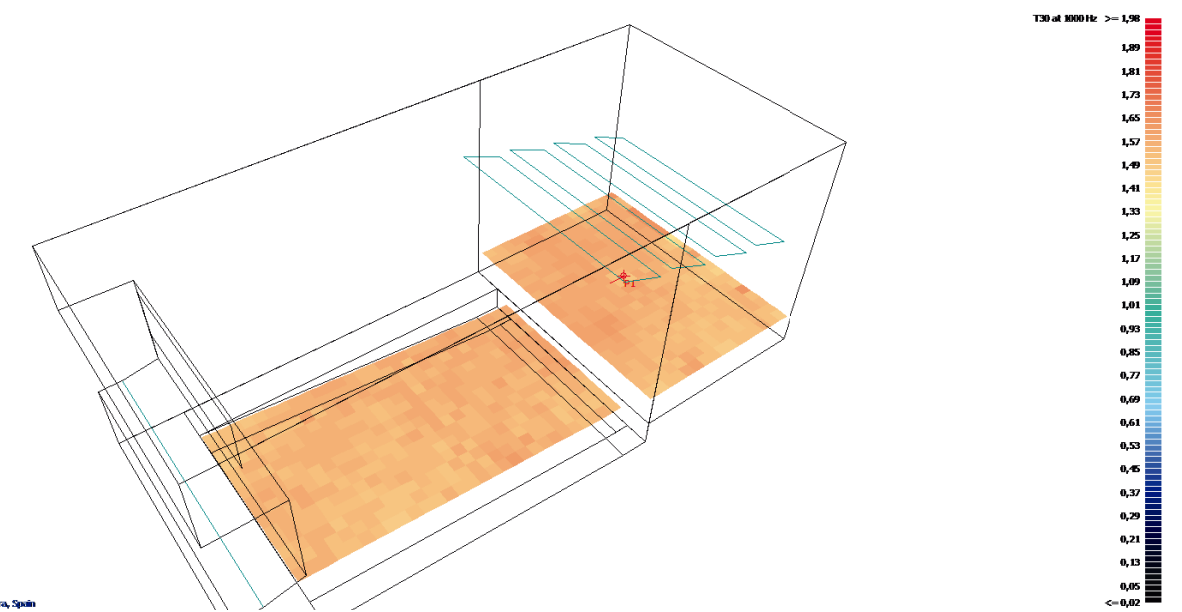
4.2. Avaluació de la sala existent

Per a realitzar l'avaluació de la sala existent s'ha modelitzat aquesta en tres dimensions per introduir-la en un programari de simulació i càlcul d'acústica. En concret s'ha utilitzat el programari *Odeon, Room Acoustics software* ©.

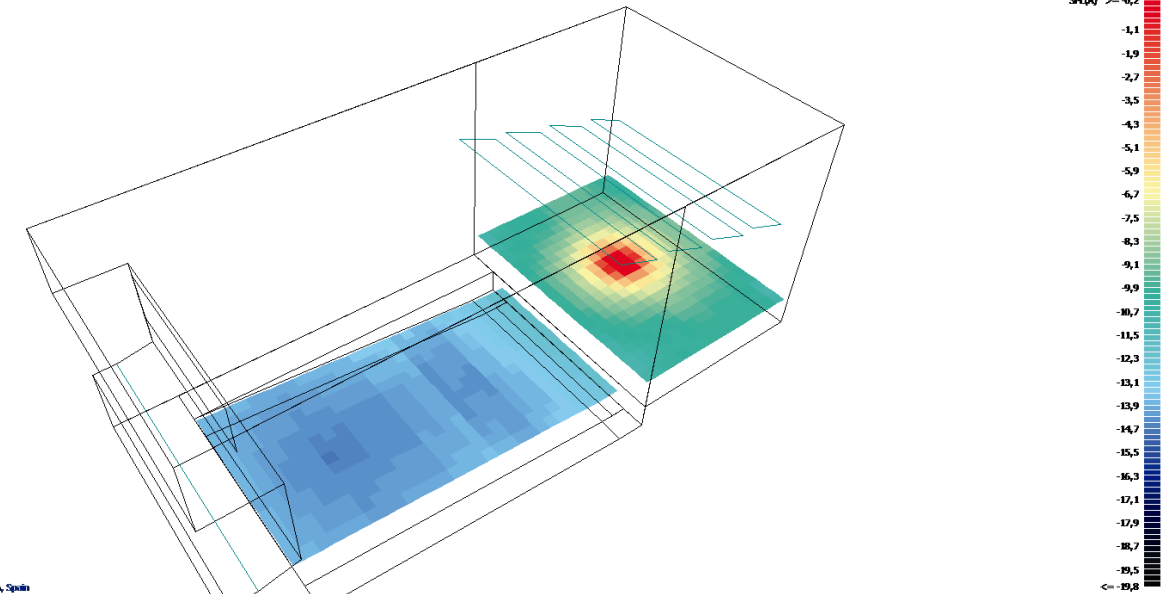
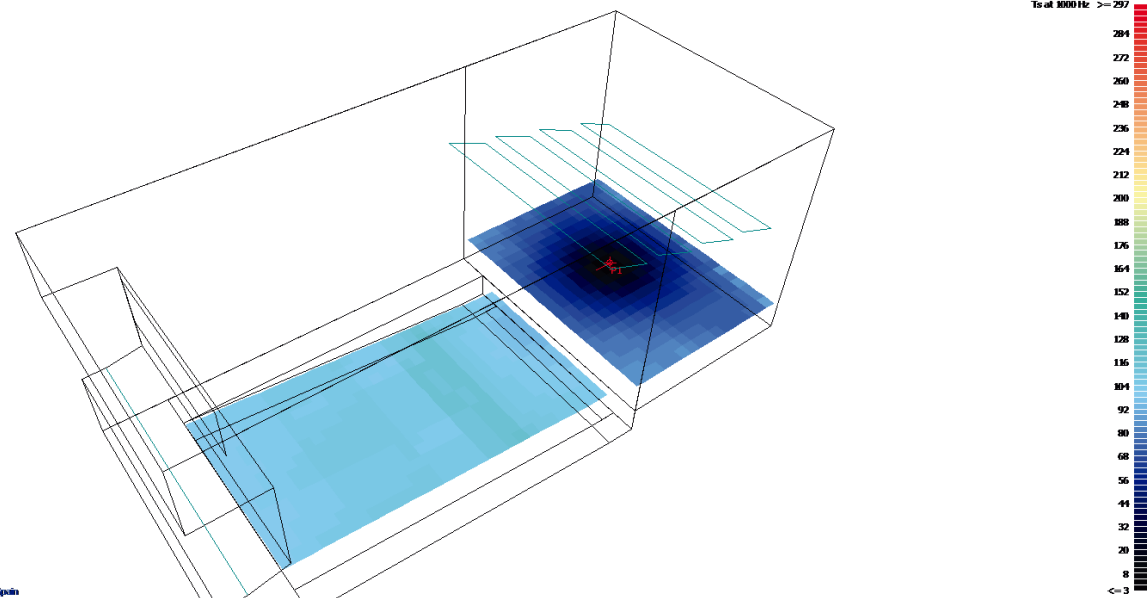
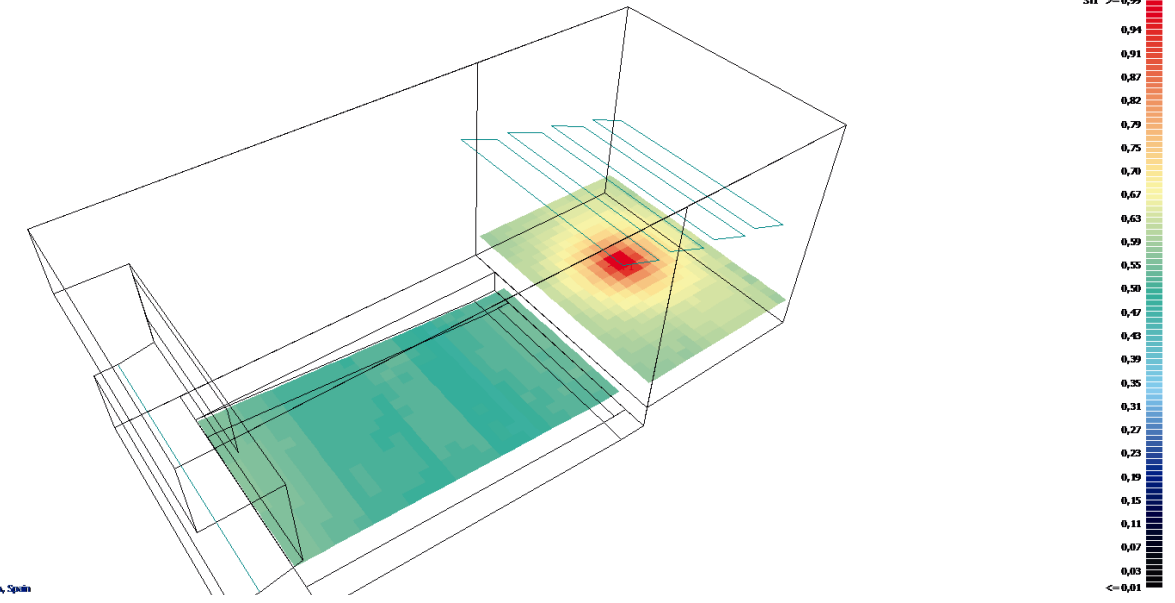
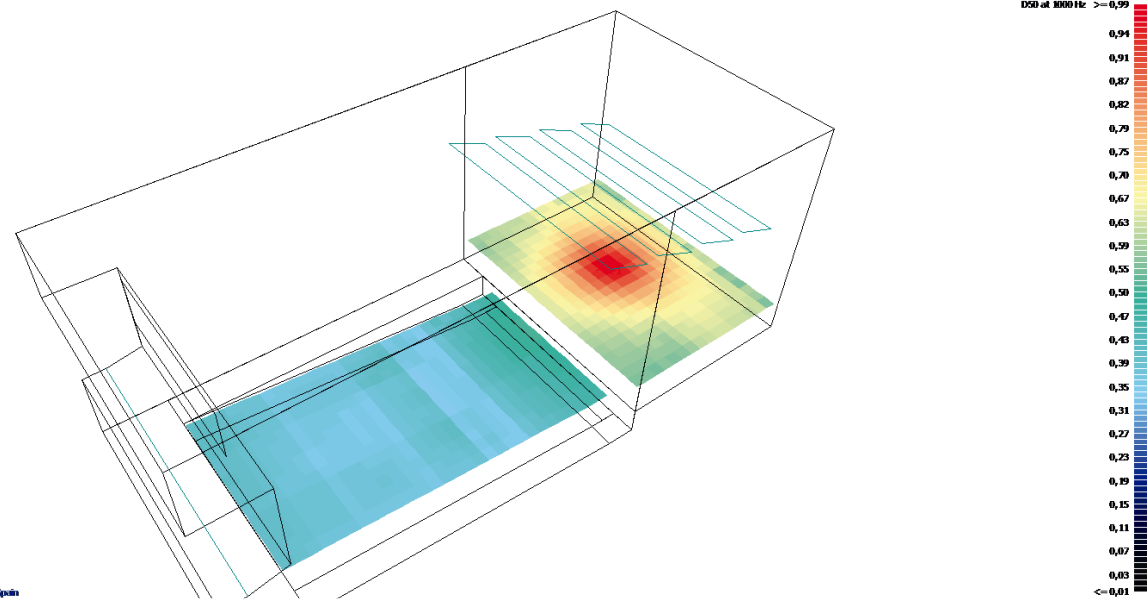
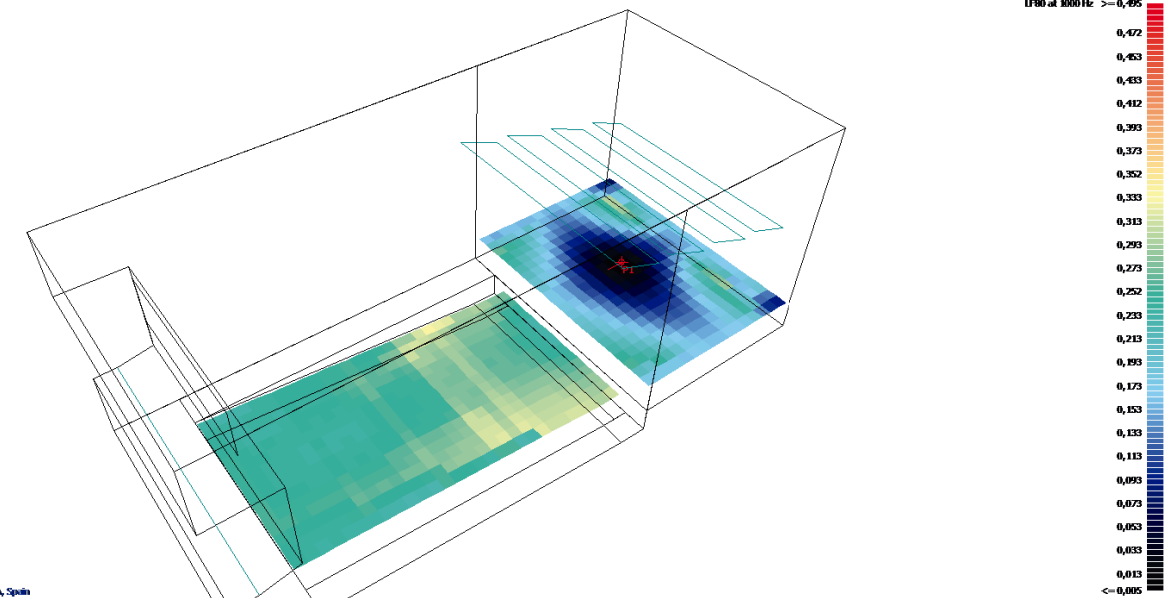
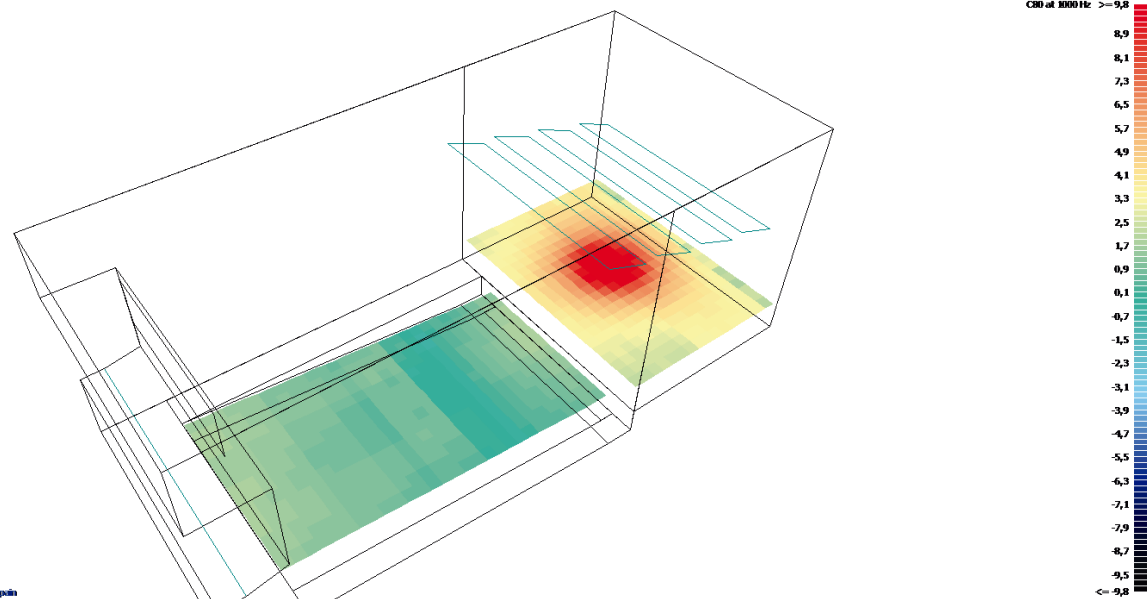
De la simulació se n'han obtinguts els valors d'alguns dels paràmetres característics de la sala amb els quals s'ha realitzat la valoració amb els factors de mèrit d'Arau. Els resultats de la simulació són els següents:

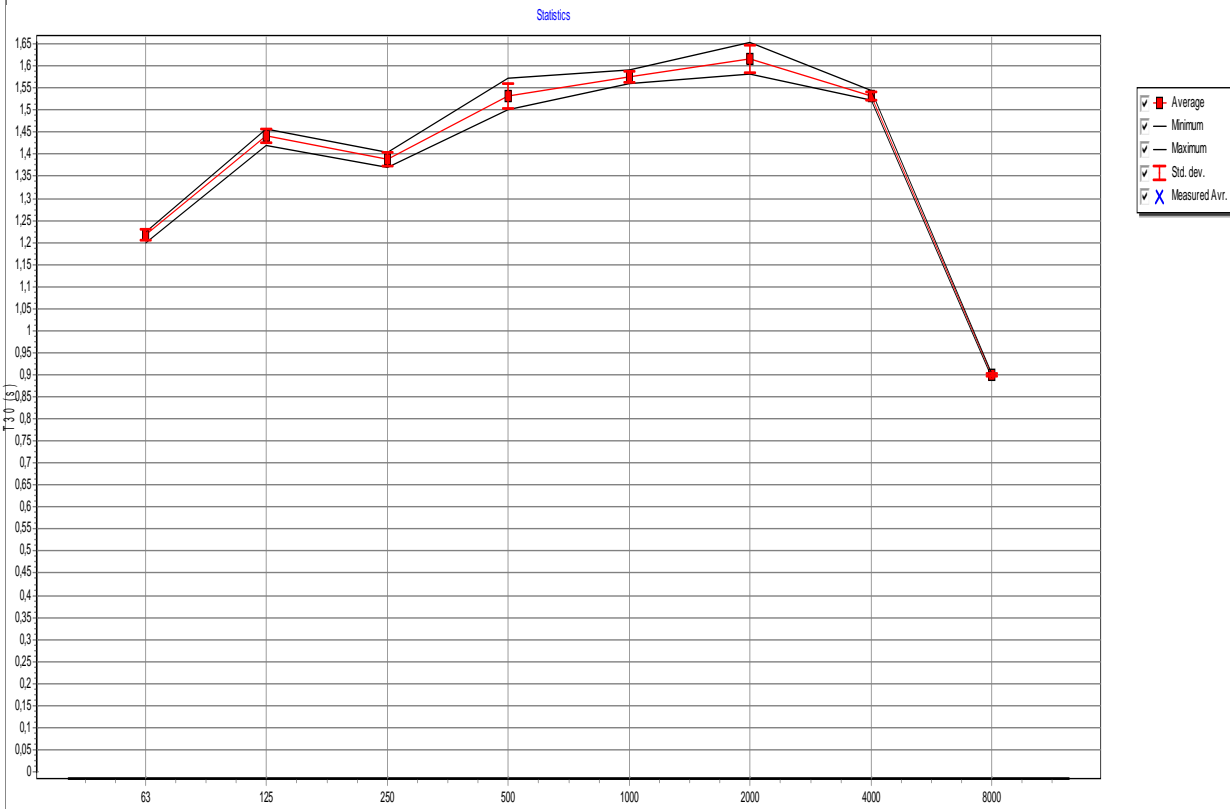


Odeon©ERS-2009. Licensed to: IUPV-EIS Arquitectura, Spain



Odeon©ERS-2009. Licensed to: IUPV-EIS Arquitectura, Spain





Receiver Number: 1 R1 (x,y,z) = (10,00, 49,00, 1,00)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,32	1,58	1,44	1,56	1,56	1,60	1,56	0,88
T30 (s)	1,22	1,45	1,40	1,53	1,59	1,65	1,53	0,90
SPL (dB)	-21,2	-20,3	-20,4	-19,9	-20,0	-19,9	-20,1	-22,5
C80 (dB)	2,9	1,5	2,0	1,4	1,5	1,3	1,6	5,7
D50	0,58	0,51	0,53	0,49	0,50	0,48	0,50	0,69
Ts (ms)	73	93	86	96	96	99	94	48
LF80	0,242	0,247	0,244	0,255	0,252	0,247	0,247	0,220

SPL(A) = -13,3(dB)
 LG80* = -29,1(dB)
 STI = 0,55 (Theoretical based on T30, STI = 0,51)

Receiver Number: 2 R2 (x,y,z) = (16,00, 49,00, 1,50)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,23	1,50	1,35	1,53	1,48	1,57	1,52	0,87
T30 (s)	1,22	1,46	1,39	1,50	1,56	1,61	1,54	0,90
SPL (dB)	-21,7	-20,6	-20,9	-20,5	-20,8	-20,6	-20,9	-24,2
C80 (dB)	2,4	1,2	1,5	0,8	0,8	0,6	0,8	4,4
D50	0,46	0,41	0,42	0,37	0,38	0,36	0,37	0,54
Ts (ms)	83	101	95	107	107	111	106	62
LF80	0,238	0,245	0,241	0,245	0,248	0,255	0,261	0,254

SPL(A) = -14,1(dB)
 LG80* = -29,3(dB)
 STI = 0,52 (Theoretical based on T30, STI = 0,51)

Continued...Energy parameters

Receiver Number: 3 R3 (x,y,z) = (22,00, 49,00, 2,00)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,13	1,37	1,33	1,38	1,41	1,53	1,48	0,73
T30 (s)	1,22	1,45	1,38	1,53	1,58	1,58	1,52	0,90
SPL (dB)	-22,1	-20,9	-21,0	-20,5	-20,6	-20,5	-21,0	-24,7
C80 (dB)	3,6	2,4	2,4	1,7	1,6	1,3	1,7	5,2
D50	0,50	0,44	0,44	0,40	0,39	0,38	0,39	0,55
Ts (ms)	77	93	91	102	104	107	102	62
LF80	0,254	0,255	0,247	0,253	0,252	0,258	0,260	0,250

SPL(A) = -14,1(dB)
 LG80* = -29,8(dB)
 STI = 0,55 (Theoretical based on T30, STI = 0,51)

Receiver Number: 4 R4 (x,y,z) = (16,00, 45,50, 1,50)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,24	1,49	1,45	1,62	1,64	1,62	1,58	0,80
T30 (s)	1,20	1,42	1,37	1,57	1,57	1,62	1,53	0,90
SPL (dB)	-21,0	-19,9	-19,9	-19,3	-19,5	-19,5	-20,0	-23,4
C80 (dB)	2,7	1,5	1,6	0,8	0,8	0,5	0,8	4,4
D50	0,49	0,43	0,43	0,38	0,38	0,36	0,37	0,54
Ts (ms)	80	97	94	106	108	112	107	61
LF80	0,222	0,228	0,225	0,238	0,239	0,242	0,251	0,243

SPL(A) = -13,1(dB)
 LG80* = -28,8(dB)
 STI = 0,51 (Theoretical based on T30, STI = 0,51)

EDT (s)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	1,13	1,37	1,33	1,38	1,41	1,53	1,48	0,73
Maximum	1,32	1,58	1,45	1,62	1,64	1,62	1,58	0,88
Average	1,23	1,48	1,39	1,52	1,52	1,58	1,54	0,82

T30 (s)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	1,20	1,42	1,37	1,50	1,56	1,58	1,52	0,90
Maximum	1,22	1,46	1,40	1,57	1,59	1,65	1,54	0,90
Average	1,22	1,44	1,39	1,53	1,58	1,61	1,53	0,90

SPL (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-22,1	-20,9	-21,0	-20,5	-20,8	-20,6	-21,0	-24,7
Maximum	-21,0	-19,9	-19,9	-19,3	-19,5	-19,5	-20,0	-22,5
Average	-21,5	-20,4	-20,5	-20,1	-20,2	-20,1	-20,5	-23,7

C80 (dB)


Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	2,4	1,2	1,5	0,8	0,8	0,5	0,8	4,4
Maximum	3,6	2,4	2,4	1,7	1,6	1,3	1,7	5,7
Average	2,9	1,6	1,9	1,2	1,2	0,9	1,2	4,9

D50

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,46	0,41	0,42	0,37	0,38	0,36	0,37	0,54
Maximum	0,58	0,51	0,53	0,49	0,50	0,48	0,50	0,69
Average	0,51	0,45	0,46	0,41	0,41	0,40	0,41	0,58

Ts (ms)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	73	93	86	96	96	99	94	48
Maximum	83	101	95	107	108	112	107	62
Average	78	96	92	103	104	107	102	58



ODEON 10.1Combined
Licensed to: UPV- ETS Arquitectura, Spain
User id: 2229, dongle no:102497

Printed: 21/07/2015 11:06:23
Room: X:\...\Modelo Inicial 01
Geometry/Material/Source version: 1/1/2
Job number: 1 No description

LF80

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,222	0,228	0,225	0,238	0,239	0,242	0,247	0,220
Maximum	0,254	0,255	0,247	0,255	0,252	0,258	0,261	0,254
Average	0,239	0,244	0,239	0,248	0,248	0,251	0,255	0,242

SPL(A), minimum = -14,1(dB)
SPL(A), maximum = -13,1(dB)
SPL(A), Average = -13,7(dB)

LG80*, minimum = -29,8(dB)
LG80*, maximum = -28,8(dB)
LG80*, Average = -29,3(dB)

STI, minimum = 0,51STI
STI, maximum = 0,55STI
STI, Average = 0,53STI

DL2 parameters

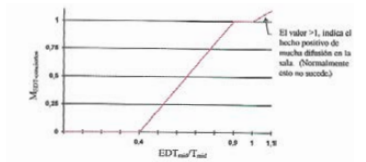
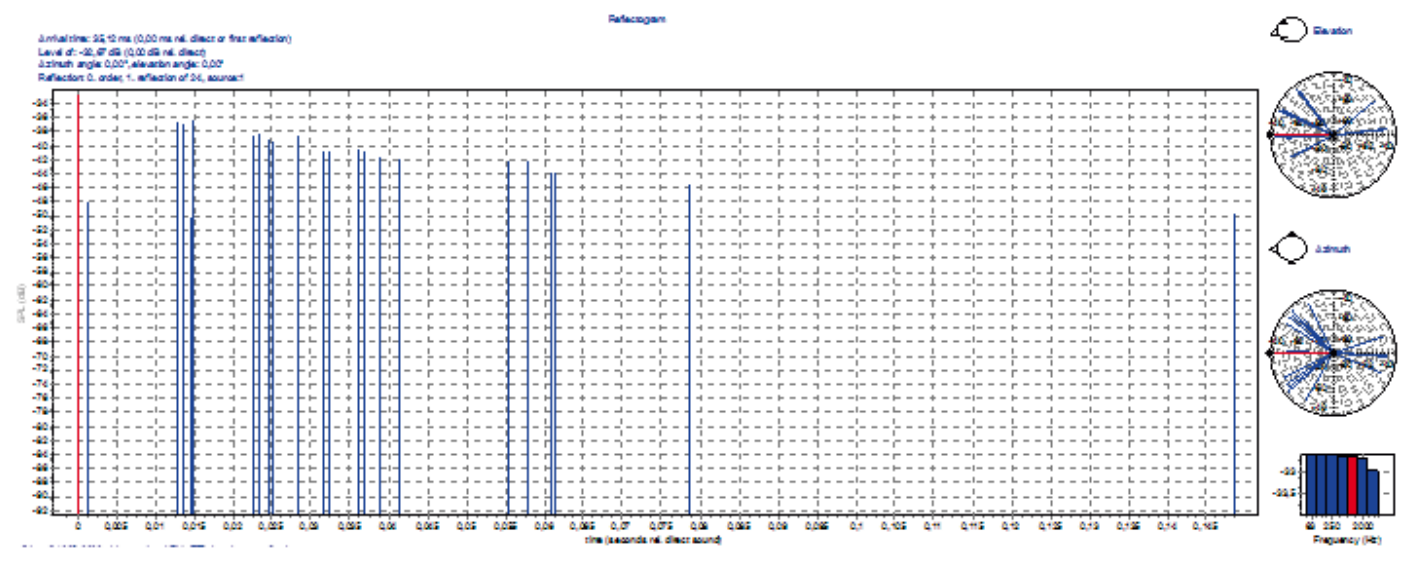
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
DL2 (dB)	0,47	0,30	0,31	0,26	0,33	0,36	0,52	1,37
correlation	0,61	0,45	0,38	0,31	0,36	0,42	0,65	0,92

DL2,Co (125 - 4000 Hz) = 0,38 dB (Correllation: 0,45)

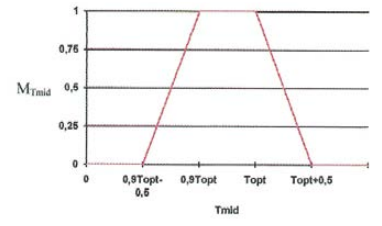
(Rmin; Rmax) = (6,20 m; 18,01 m)

Odeon A/S, Denmark, ©1985-2009.

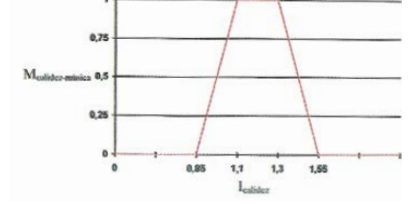
Page 3



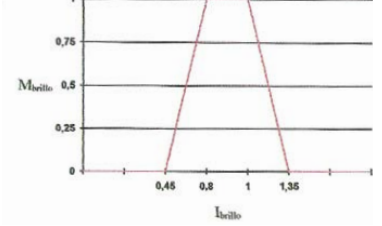
Imatge 101. Factor de mèrit donat per a un valor donat de EDT_{mid} / T_{mid}



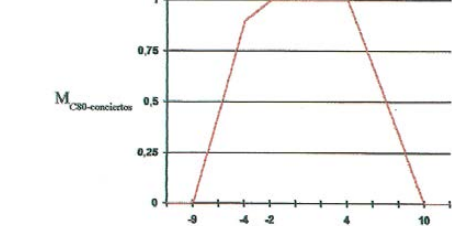
Imatge 102. Factor de mèrit per a un valor de T_{mid} donat en funció de T_{opt}



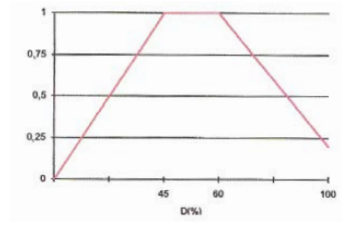
Imatge 103. Factor de mèrit donat per a un valor de $I_{calidez}$



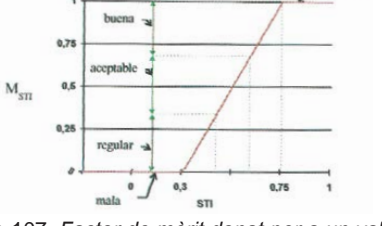
Imatge 104. Factor de mèrit donat per a un valor de I_{brillo}



Imatge 105. Factor de mèrit donat per a un valor donat de C_{80}



Imatge 106. Factor de mèrit donat per a un valor donat de D_{50}



Imatge 107. Factor de mèrit donat per a un valor donat de STI

D'aquesta manera, amb el càlcul dels factors de mèrit obtenim els següents resultats:

EDT (s)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Mitjana	1,23	1,48	1,39	1,52	1,52	1,58	1,54	0,82

EDT _{mid}	T _{mid}	M _{EDT}
1,52	1,56	1,00

T30 (s)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Mitjana	1,22	1,44	1,39	1,53	1,58	1,61	1,53	0,9

T _{opt min}	T _{opt max}	T _{mid opt}	T _{mid}	T _{opt cam}	M _{T mid cam}
0,78	1,22	1,00	1,56	0,89	0
				T _{opt sim}	M _{T mid sim}
				1,11	0,11

T _{low}	T _{mid}	I _{calidez}	M _{Br}
1,415	1,555	0,91	0,24

T _{high}	T _{mid}	I _{brillo}	M _{Br}
1,57	1,555	1,01	0,97

C80 (dB)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Mitjana	2,9	1,6	1,9	1,2	1,2	0,9	1,2	4,9

C80 _{mid}	M _{C80}
0,41	1,00

D50	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Mitjana	0,51	0,45	0,46	0,41	0,41	0,4	0,41	0,58

D50 _{mid}	M _{D50}
0,41	0,90

SPL (A), mitjana= -13,7 (dB) Volum = 2800 m³

LG80*, mitjana= -29,3 (dB)

STI, mitjana= 0,53 STI (dB)

M_{STI}
0,51

FACTOR DE MÈRIT GLOBAL MÚSICA DE CÀMERA
M=0,66

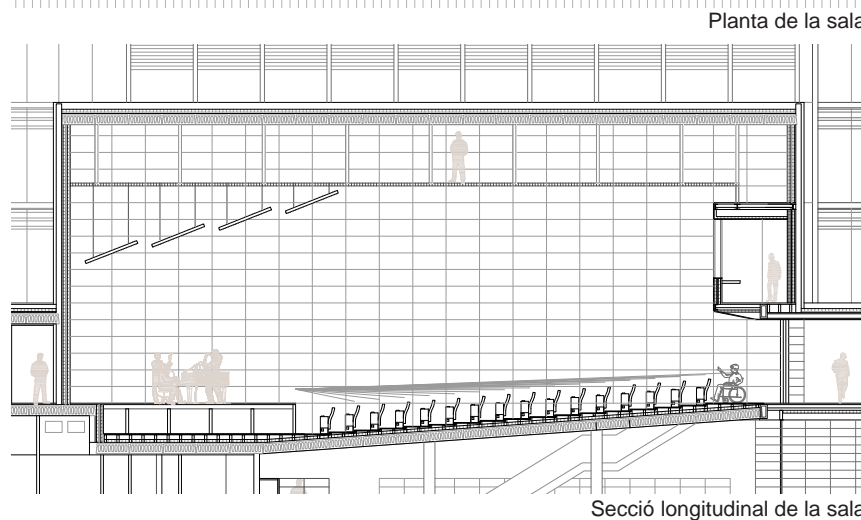
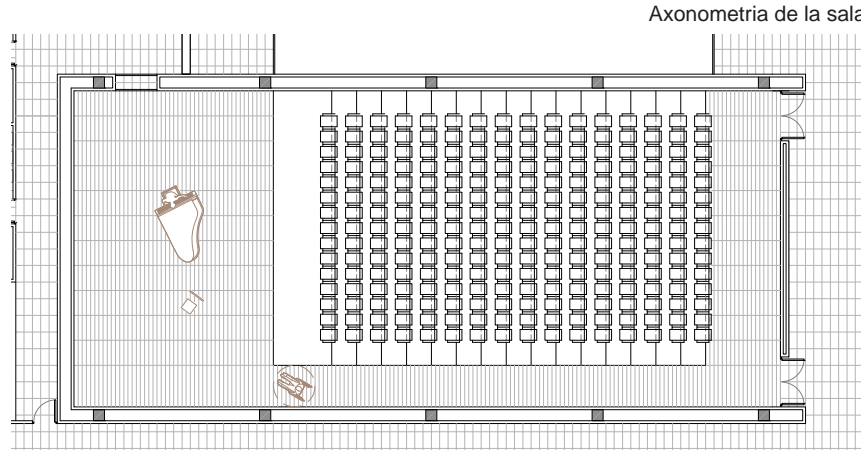
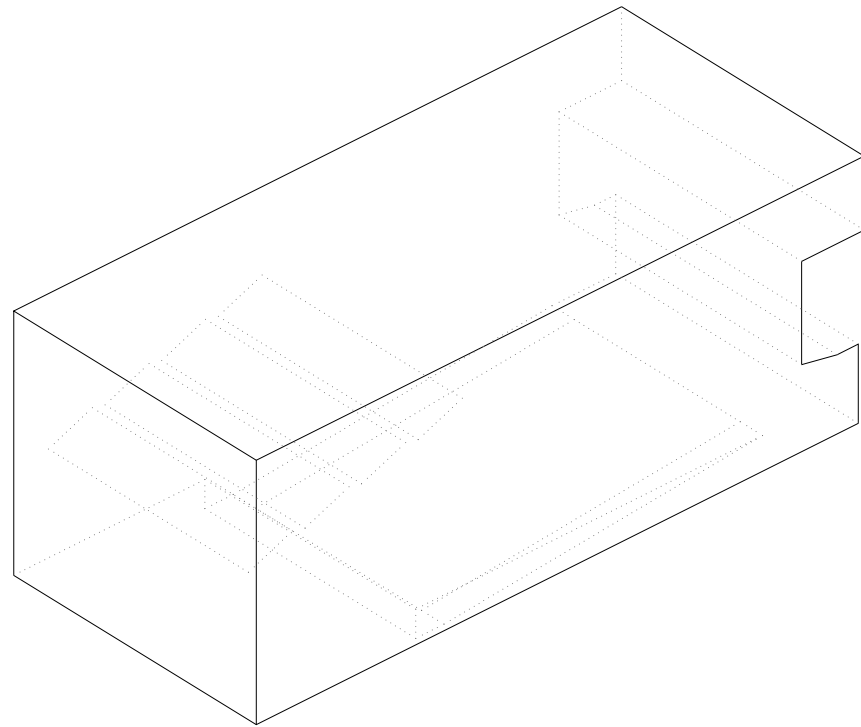
FACTOR DE MÈRIT GLOBAL MÚSICA SIMFÒNICA
M=0,68

Així, obtenim uns valors molt irregulars, on alguns es situen prop de l'1 i hi ha d'altres propers al 0. El disseny de la sala consistirà en la millora d'aquest aspecte cap a una regularitat i una millora del factor global situant-lo per sobre el 0,8.

Tenint en compte la necessitat de polivalència de la sala, el factor de referència serà el de música de càmera, situat a mitat camí entre la música simfònica i l'ús per a la paraula. Un factor que s'analitzarà per separat també amb molta importància és l'índex d'intel·ligibilitat STI, que també es pretén situar per sobre del 0,8.

Per últim, de l'ecograma s'extrau que existeixen una gran eco flotant degut a la proximitat de les reflexions i la magnitud d'aquestes, les quals quasi no perden energia amb el temps.

També s'ha realitzat un anàlisi dels aspectes geomètrics, materials i acústics de la sala, tenint en compte els mateixos paràmetre que en les referències.



CARACTRÍSTIQUES PRINCIPALS

Nombre d'espectadors	256
Llargària (centre de sala)	25 m
Amplada mitjana	11 m
Volum (V)	2902 m ³

GEOMETRIA

Altura boca escenari	10.00 m
Altura fons d'escenari	10.00 m
Altura escenari	1.10 m
Altura mínima	3.00 m
Altura màxima	11.10 m
Pendent butaques	7 %
Superfície (S)	291 m ²
Superfície d'escenari (SE)	82 m ²
Superfície d'audiència(SA)	128 m ²
Volum (V)	2902 m ³
Llargària (centre de sala)	25.50 m
Amplada mitjana	11.40 m
Relació llargària/amplada	2.23

Forma en planta	Rectangular
Secció del sostre	Plana
Canvi de pendent sostre	
Escenari separat	No
Amfiteatre	No
Paret del fons de sala	Plana
Altres	escenari reflectors

MATERIALS

Sostre	sala	Reflectant Formigó
	esc.	Reflectant Formigó
Paviment	sala	Reflectant Paviment de fusta
	esc.	Ressonador de membrana Tarima flotant de fusta
Parets	sala laterals	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
	sala fons	Absorbent Panells acústics
escenari	lat.	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
	fons	Ressonador de membrana Panells de fusta sobre bastidors
Pati de butaques		Absorbent Tela

DADES ACÚSTIQUES

Nombre d'espectadors (N)	256
Relació V / N	11.36 m ³ / esp.
Ús de la sala	m. càmera

Valoració de la sala

En primer lloc, ens trobem davant d'una sala de dimensions molt elevades per al nombre d'espectadors que té. D'aquesta manera, la relació V/N obté un valor superior als 11 m³/espectador, fet lligat a l'alt temps de reverberació de la sala obtés amb la simulació que indica que és una sala molt viva. Aquest aspecte està lligat a la gran quantitat de reflexió de la sala.

Un altre aspecte molt característic és la planor de les parets laterals, fet que provoca una gran quantitat d'ecos flotants a la sala com bé podem comprovar en veure l'ecograma extret de la simulació.

Pel que fa al sostre trobem un sostre plà, reflectant i sense cap tipus de tractament, únicament existeixen quatre reflectors plans a la zona de l'escenari per produir primeres reflexions cap a la zona de platea.

El pendent de la platea és molt reduït, aspecte que, limitarà la visió completa de l'escenari i empitjorarà la qualitat acústica de les files posteriors degut a la reducció del so directe provocat per l'efecte *seat dip*.

D'altra banda, els valors obtesos en la simulació caracteritzen una sala amb un elevat temps de reverberació i amb problemes importants d'eco. L'EDT presenta uns valors una mica inferiors al T30, aspecte pel qual, tot i l'elevat T30, produïra l'efecte d'una sala lleugerament apagada.

D'acord amb el ITDG (T₃₀), s'ens presenta una sala amb valors molt elevats, fet que propicia una intimitat acústica molt reduïda. Aspecte lligat al baix valor de STI (M = 0.51) relacionat amb la difusió de la sala. En el referent a la impressió acústica cal nomenar que el nombre de reflexions laterals a la zona de la platea més propera a l'escenari es redueix respecte de la zona posterior.

Així, amb els factors de mèrit d'Arau obtenim un resultat prou desaconsellable per a una sala (M = 0.66) a més de tenir en compte, que alguns dels factors de mèrit inclosos són molt propers al valor 0, com són el temps de reverberació i la calidesa, aspectes a millorar notablement.

4.3. Aplicació del prototip al model

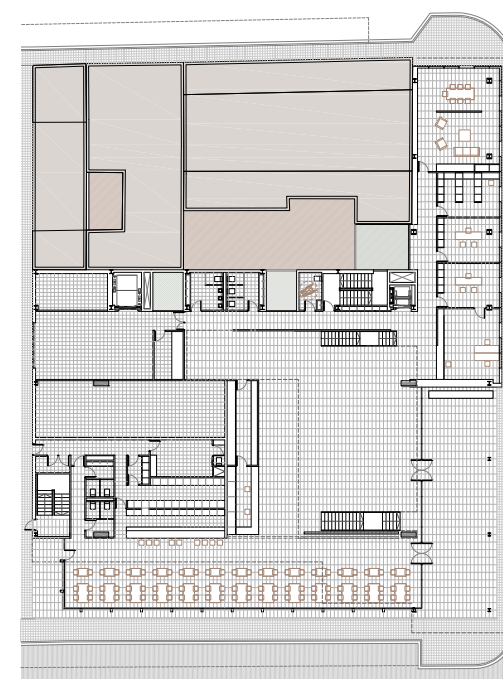
En el moment en el que s'inicia l'aplicació del prototip a la sala, el factor que més influeix en l'edifici és el canvi de pendent del pati de butaques. Així passa de tenir l'última fila al primer nivell per situar-se en la segona planta. Aquest fet fa replantejar-se l'edifici i, degut a l'existència del foyer en planta primera, l'accés a la sala.

L'accés a la sala continua realitzant-se per planta primera, però passa a realitzar-se lateralment pel costat sud, on es situa la doble altura que dona a la cafeteria. Així, el foyer-sala d'exposicions anterior que ocupava la zona est de l'edifici passa a quedar-se més fragmentat funcionalment, amb una zona sud més típicament de foyer i la zona est com a zona d'exposicions. També es crea un accés secundari per segona planta pensant en l'ús docent ja que es troba més proper a la zona d'escola.

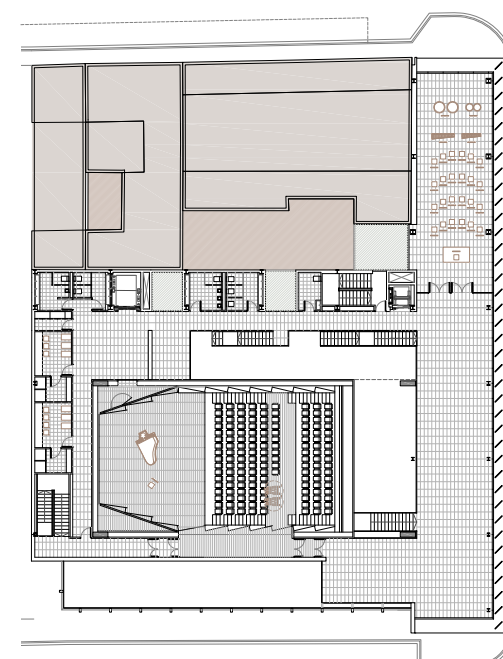
Un altre fet important és el canvi d'aspecte del vestíbul principal de l'edifici. Aquest es redueix de dimensions i s'acota amb la posició de l'escala d'accés al foyer juntament amb un mur baix que únicament separa visualment la cafeteria del vestíbul i ofereix la possibilitat d'independitzar-se amb una gran porta deslliçant.

Pel que fa a l'espai del vestíbul, aquest canvia convertint-se en un espai a doble altura, delimitat per el pendent del forjat de l'auditori, i on es relacionen el vestíbul principal amb el foyer d'accés a la sala. Aquest fet, que s'observa en la secció longitudinal de l'edifici, mitiga el fet que l'accés de la sala estiga situat en primera planta ja que s'entén com un mateix espai on l'usuari percep les dos plantes com si fossin una.

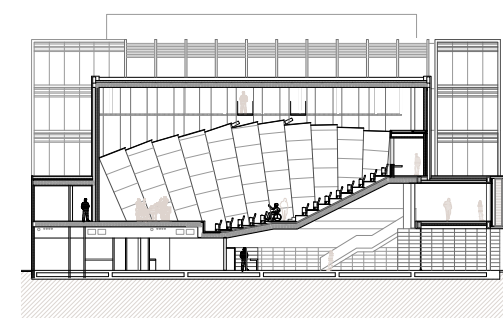
Quan entrem a la sala, observem dues diferències amb la sala inicial. Una és que l'accés ja no es produeix pel fons de la sala, sinò pel centre, i l'altra és que l'accés es realitza per un corredor adosat al volum principal de la sala. D'aquesta manera es soluciona també l'accés dels minusvàlids i la seua evacuació. El motiu d'aquest accés radica en el màxim aprofitament de la sala pel que fa al nombre d'espectadors dins del volum estructural predefinit en el disseny de l'edifici.



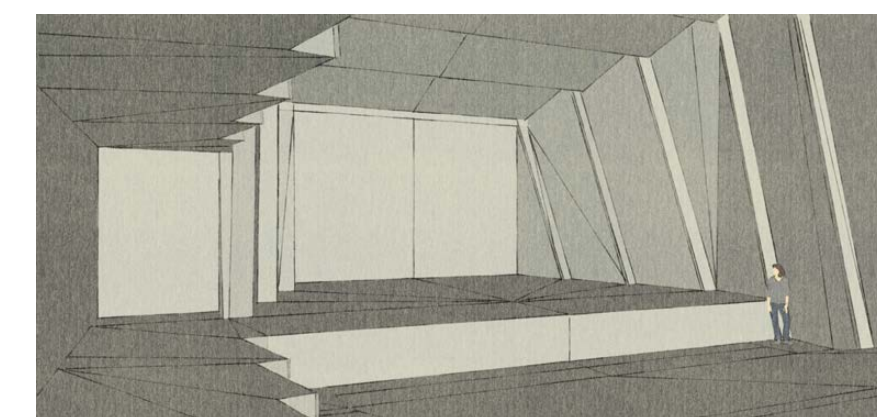
Planta baixa



Planta primera



Secció longitudinal de l'edifici



Vista des de l'accés

El disseny de la sala s'ha basat en la creació d'un sostre i unes parets escalonades atenent a les mesures característiques extretes de l'anàlisi i utilitzades en el prototip. Com a base s'utilitza el recinte inicial i les noves pendents explicades anteriorment.

Per a la creació del sostre, igualment que en el prototip, es segeixen unes pautes:

1. Es fixen uns punts de referència i un primer tram de secció del sostre situat a l'escenari (fig. 1).
2. Es traça un perfil equipotencial del sostre intentant respondre a aquests punts de referència (fig. 2).
3. Seguint aquest perfil equipotencial es creen diferents mòduls de sostre modulats a 2.1 metres (fig. 3).

Seguidament, es realitza l'escalonament de les parets seguint un arc amb centre oberts a partir de les perpendiculars als panells extrems. D'aquesta manera s'obté una distribució de les parets amb dimensions diferents tant entre les diferents franjes com en la mateixa franja segons l'altura. Aquest aspecte es dissenya així pensant en la difusió, que no es centrarà en cap freqüència concreta degut a la varietat de dimensions.

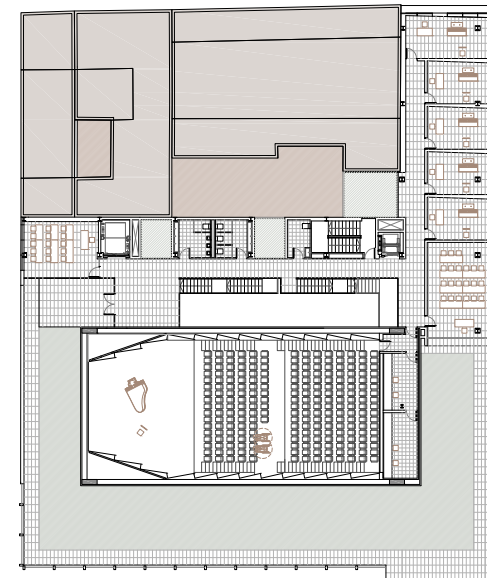
Per tenir en compte l'aspecte de la polivalència de la sala, amb la distribució dels materials es buscarà assolir uns valors del temps de reverberació baixos, assimilables a la música de càmera i així permetrà tant l'ús de la sala per a la música com per a la paraula. Aquest factor condicionarà la introducció de superfícies absorbents a la sala.

Així, s'utilitzen ressonadors de membrana en les parets i sostre, materialitzats amb un panell de fusta de 10 mm col·locat sobre rastrells, amb llana de roca entre ells i separat 5 cm de la paret. El paviment de la sala es materialitza amb un parquet directament sobre el formigó i pel que fa a l'escenari es col·loca un ressonador de membrana format per una tarima sobre una gran cavitat d'aire.

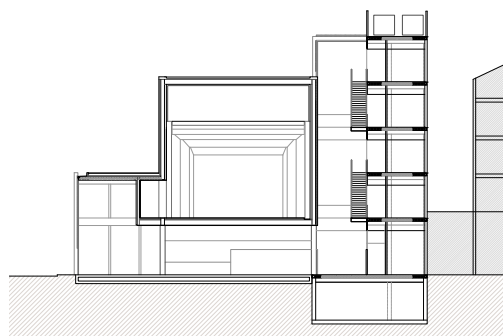
Les superfícies absorbents que es projecten, en un primer moment són la paret del fons de la sala i les parets i sostre del corredor d'accés. Aquestes es materialitzen amb la disposició del panell comercial recobert de tela acústicament transparent *Vibrasto* ©, fixat sobre una placa de cartró guix, i aquesta sobre rastrells a 5 cm de la paret rígida i amb llana de roca entre aquests. La caixa superior de la sala, situada per damunt dels panells del sostre, també es projecta amb absorbent, recobrint-la de llana de roca de 6 cm. La marca comercial de la llana de roca emprada és *Rockwool*.

Amb aquesta distribució de materials, es realitza una primera simulació amb el programa *Odeon, Room Acoustics software* ©, de la qual s'extrauen uns valors del temps de reverberació prou desfavorables. Amb una exagerada absorció en baixes freqüències, i amb un temps de reverberació mitjà encara elevat.

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	0,49	0,56	0,86	0,87	0,87	0,92	0,85	0,65
T30 (s)	0,65	0,73	0,89	1,20	1,26	1,25	1,07	0,68
SPL (dB)	-24,0	-22,6	-20,9	-20,6	-20,6	-20,5	-20,8	-23,3
C80 (dB)	9,2	7,2	4,6	4,2	4,3	4,2	4,7	7,6
D50	0,71	0,65	0,55	0,54	0,55	0,54	0,56	0,68
Ts (ms)	38	46	61	66	66	67	61	43
LF80	0,295	0,308	0,316	0,292	0,283	0,274	0,266	0,248



Planta segona



Secció transversal de l'edifici

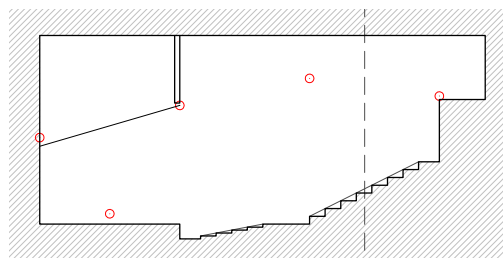


Figura 1

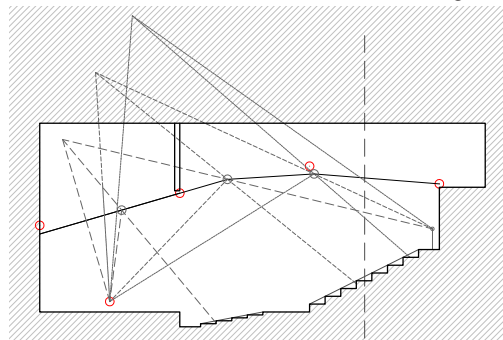


Figura 2

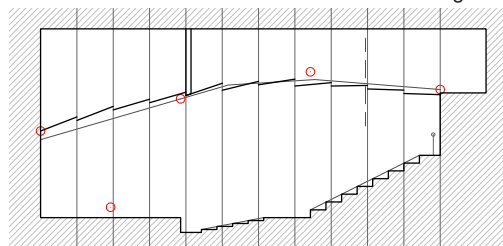


Figura 3

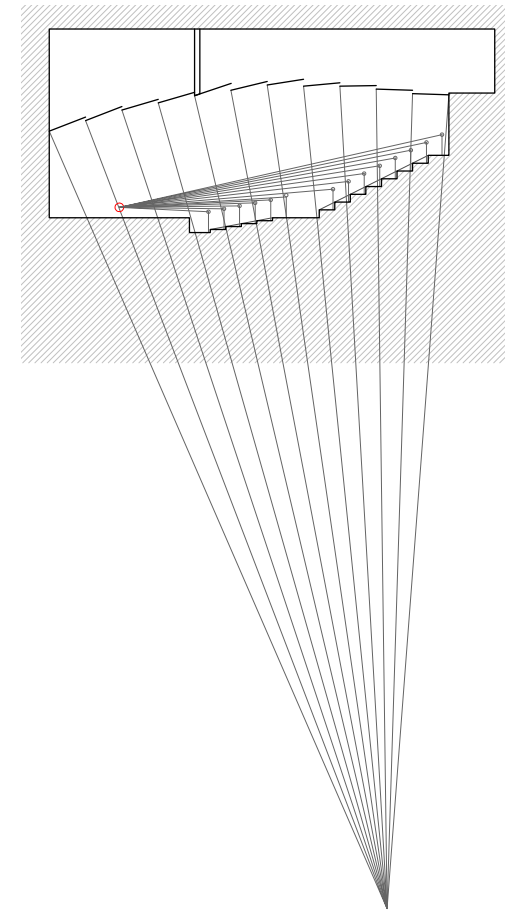


Figura 4

S'opta per modificar la distribució de materials en dos aspectes principals. En primer lloc s'introdueix absorció al fons de la sala, substituïnt els tres últims mòduls de parets i sostre pel material absorbent del fons de la sala. En segon lloc, es modifiquen els ressonadors de membrana per reduir l'absorció a baixes freqüències.

Així, es substitueixen els panells de les parets i sostre de 10 mm de fusta per uns de 20 mm. A l'escenari, s'elimina la gran cavitat d'aire del paviment i es col·loca el parquet sobre rastrells i aquests sobre el forjat de formigó. Per últim, el *Vibrasto* © utilitzat com absorbent, es materialitza clavant-lo directament sobre rastrells, eliminant així l'absorció a baixes freqüències produïda per la placa de cartró guix.

D'aquesta manera s'obté una nova distribució dels paràmetres acústics de la sala que es comenten a continuació.

CARACTRÍSTIQUES PRINCIPALS

Nombre d'espectadors	236
Llargària (centre de sala)	23 m
Amplada mitjana	11 m
Volum (V)	1500 m ³

GEOMETRIA

Altura boca escenari	7.05 m
Altura fons d'escenari	5.00 m
Altura escenari	0.85 m
Altura mínima	3.50 m
Altura màxima	8.30 m
Pendent butaques	19% 50%
Superfície (S)	247 m ²
Superfície d'escenari (SE)	80 m ²
Superfície d'audiència(SA)	112 m ²
Volum (V)	1501 m ³
Llargària (centre de sala)	23.10 m
Amplada mitjana	11.20 m
Relació llargària/amplada	2.06
Forma en planta	Rectangular
Secció del sostre	Escalonada
Canvi de pendent sostre	14.70 m
Escenari separat	No
Amfiteatre	No
Paret del fons de sala	Plana
Altres	parets escalonades

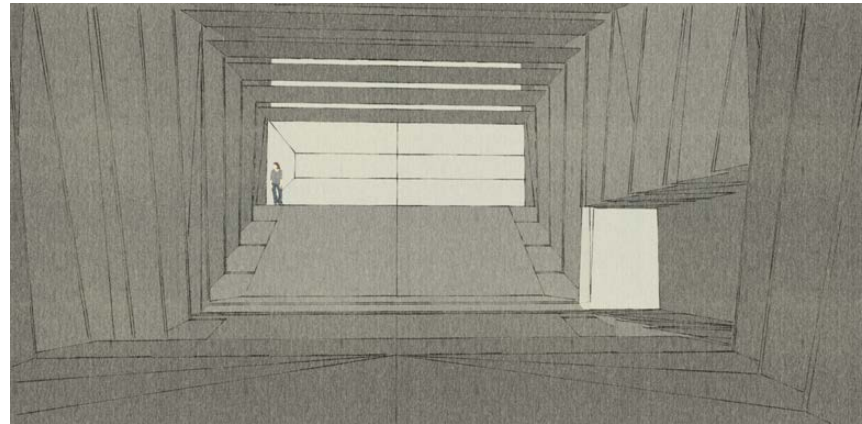
MATERIALS

Sostre	sala	Ressonador de membrana	60%	
		Panells de fusta sobre bastidors		
esc.	esc.	Absorbent	40%	
		Vibrasto sobre rastrells		
Paviment	sala	Reflectant		
	esc.	Parquet sobre formigó		
Parets	sala	laterals	Ressonador de membrana	70%
			Panells de fusta sobre bastidors	
	fons	Absorbent	30%	
		Vibrasto sobre rastrells		
	escenari	lat.	Absorbent	70%
			Vibrasto sobre rastrells	
caixa	escenari	fons	Reflectant	30%
			Vidre	
Pati de butaques	caixa	Absorbent		
		Llana de roca <i>Rockwool</i>		
butaques	caixa	Absorbent		
		Tela		

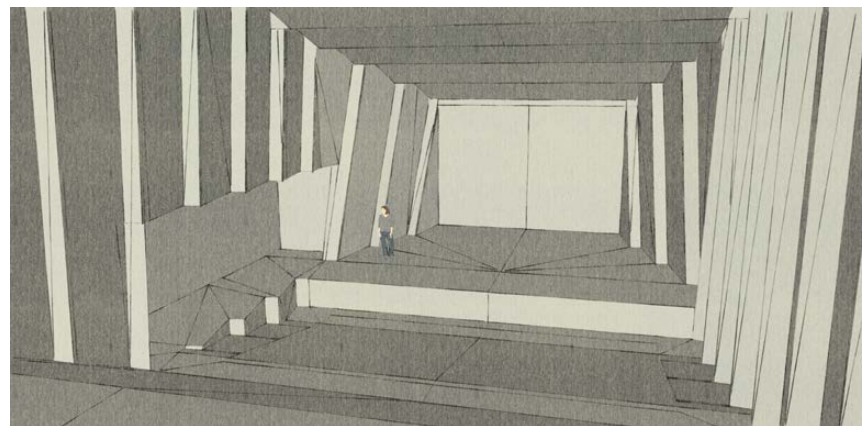
DADES ACÚSTIQUES

Nombre d'espectadors (N)	236
Relació V / N	6.36 m ³ / esp.
Ús de la sala	m. càmera

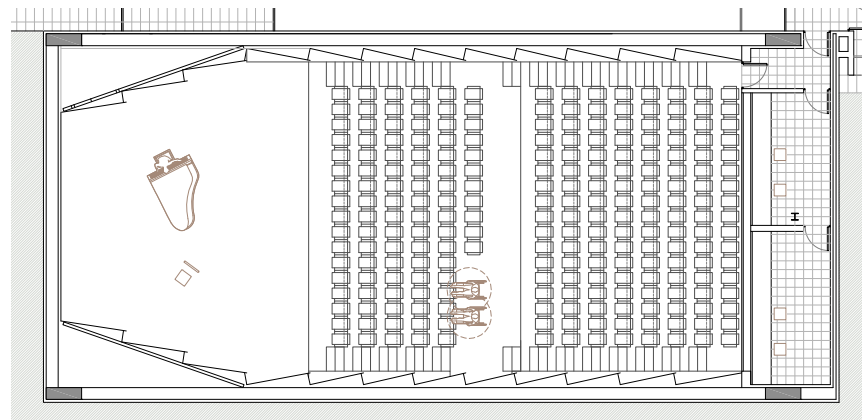
També s'ha realitzat un anàlisi dels aspectes geomètrics, materials i acústics de la sala, tenint en compte els mateixos paràmetres que en les referències.



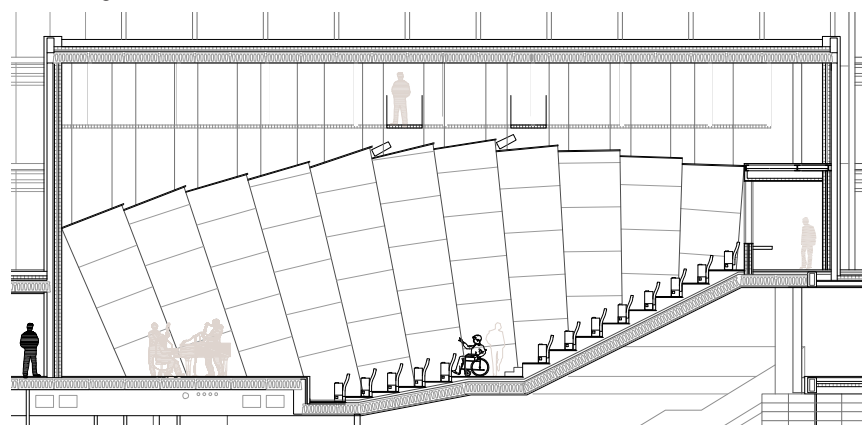
Vista des de l'escenari



Vista des del fons de la sala



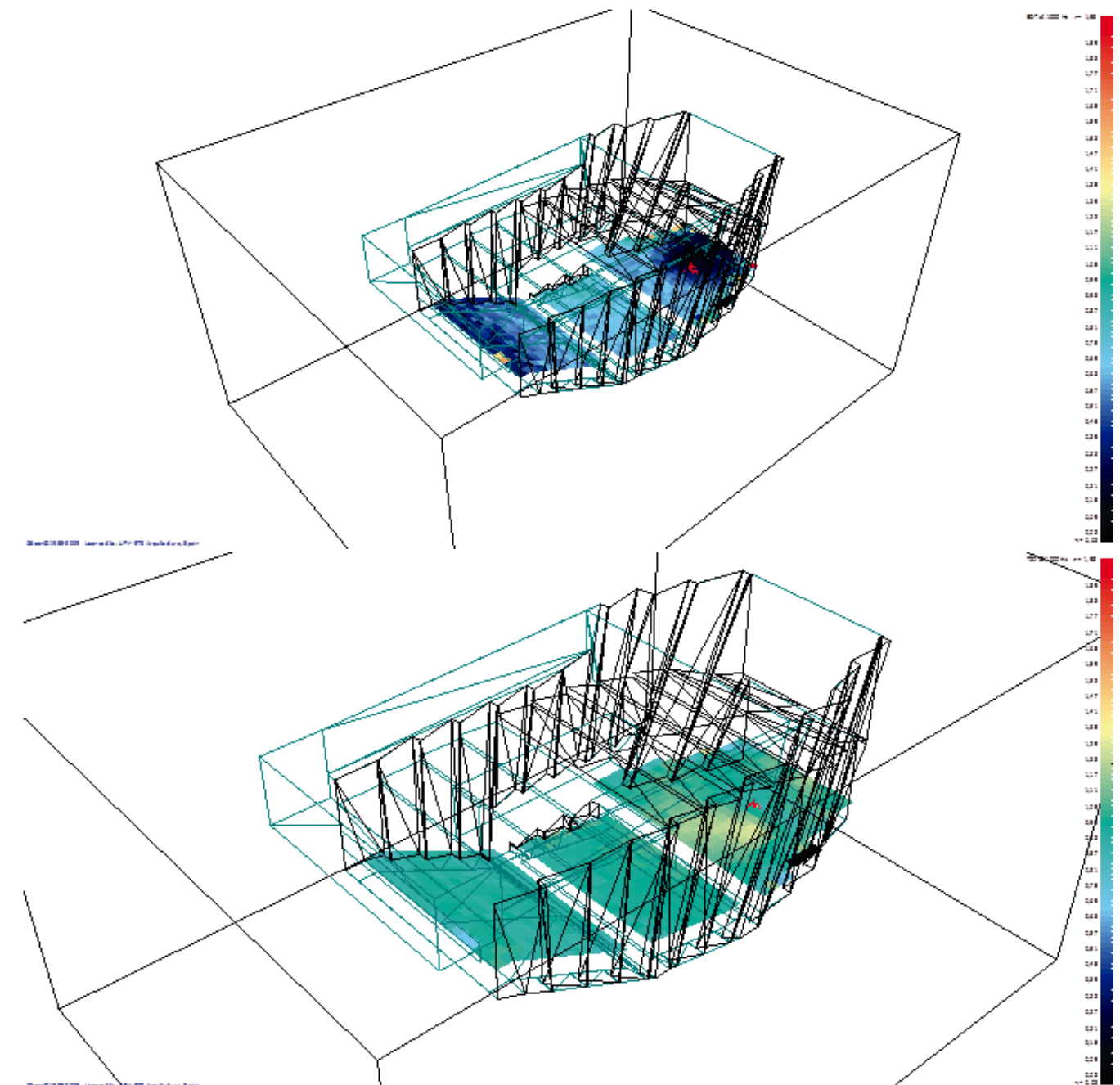
Planta segona de la sala

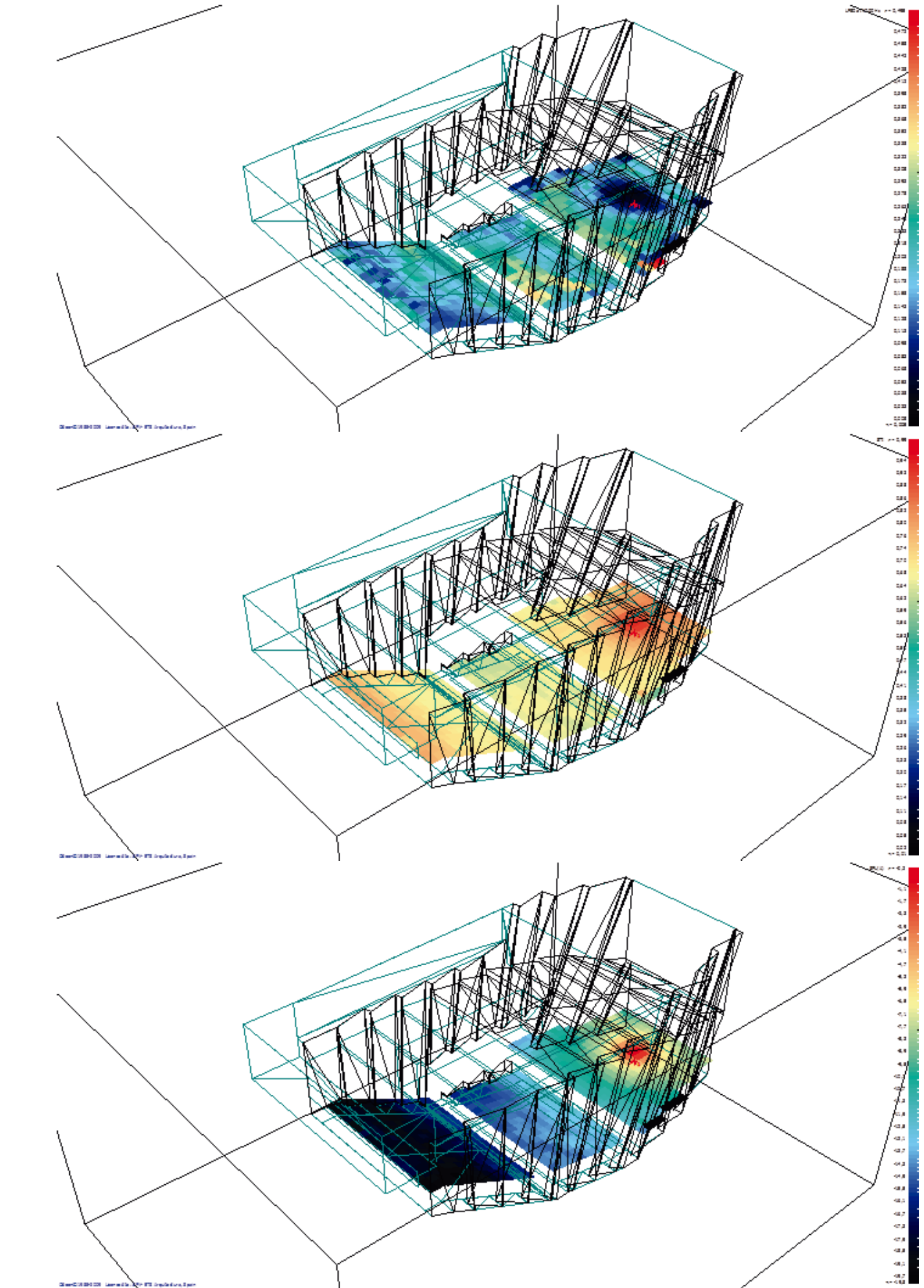
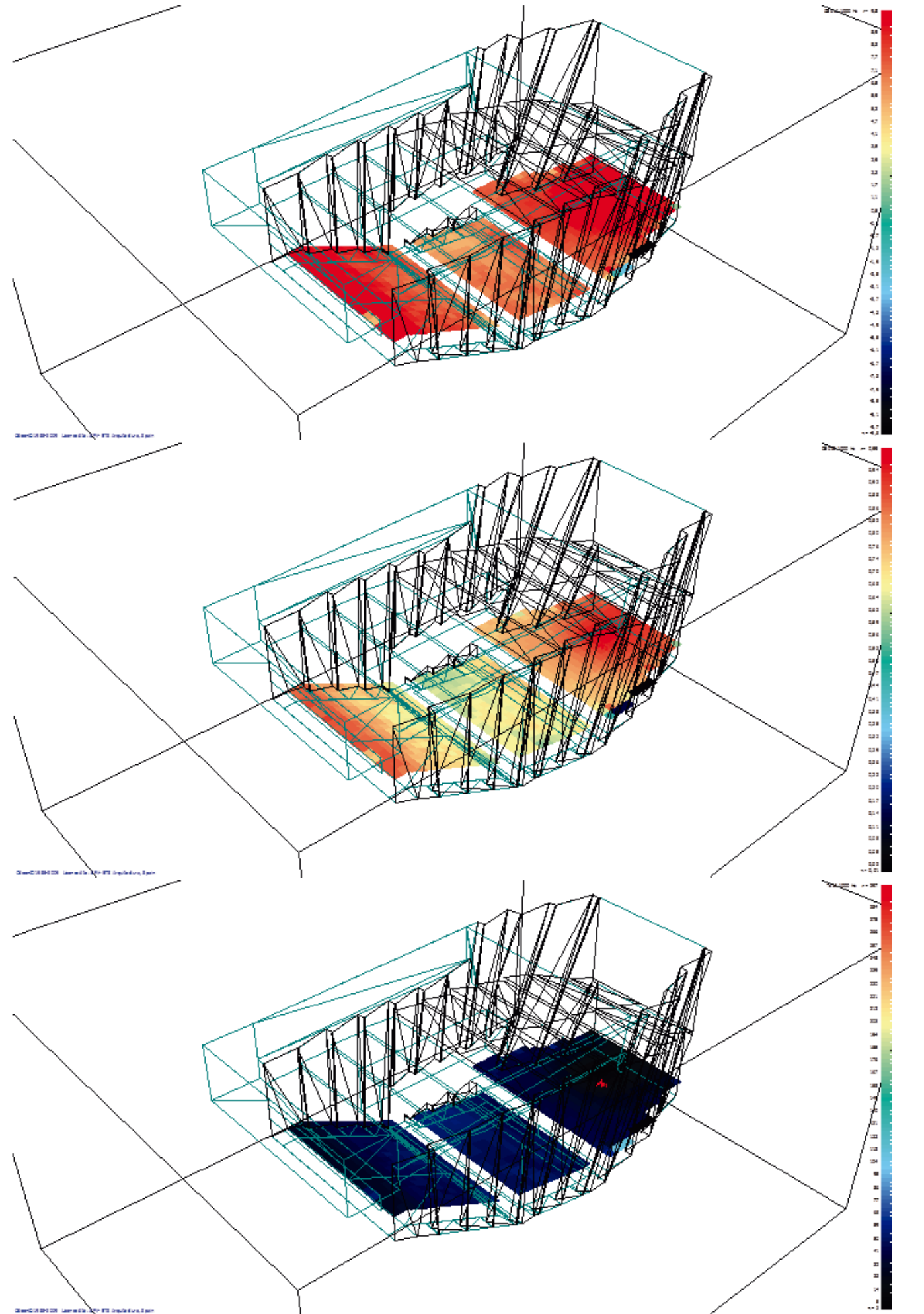


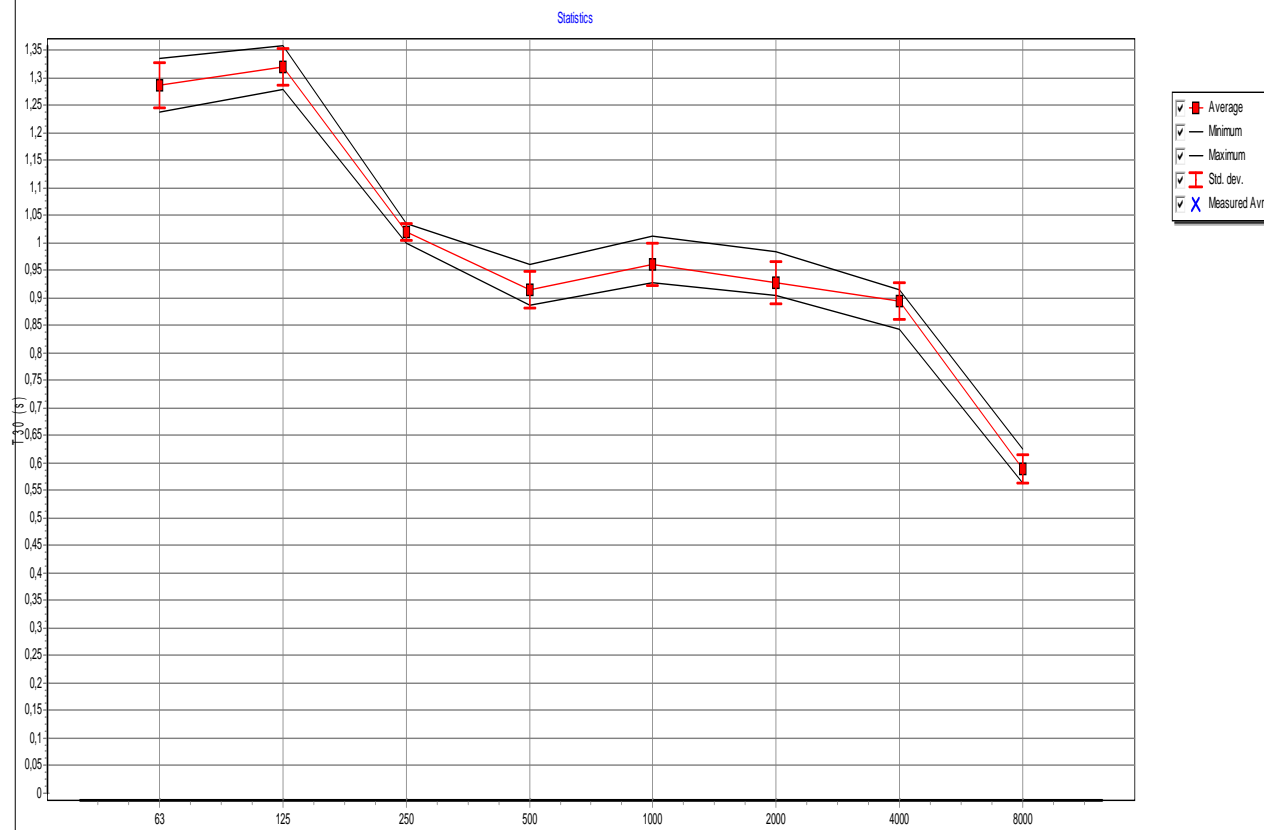
Secció longitudinal de la sala

4.4. Comprovació del nou model

Finalment es realitza la simulació de la sala final i s'obtenen els següents resultats:







Receiver Number: 1 R central (x,y,z) = (0,00, 0,00, 5,50)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,32	1,29	0,88	0,64	0,61	0,59	0,62	0,50
T30 (s)	1,29	1,28	1,02	0,89	0,96	0,91	0,91	0,56
SPL (dB)	-19,1	-18,7	-20,3	-21,8	-21,7	-21,8	-22,3	-24,5
C80 (dB)	2,0	1,5	4,2	6,7	6,7	6,9	7,3	9,9
D50	0,42	0,40	0,52	0,63	0,63	0,63	0,65	0,74
Ts (ms)	91	96	68	50	51	50	47	35
LF80	0,365	0,354	0,328	0,286	0,276	0,266	0,267	0,251

SPL(A) = -15,2(dB)
 LG80* = -29,8(dB)
 STI = 0,65 (Theoretical based on T30, STI = 0,61)

Receiver Number: 2 Primera Fila (x,y,z) = (-6,00, 0,00, 5,00)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,32	1,36	0,97	0,61	0,61	0,55	0,57	0,33
T30 (s)	1,29	1,33	1,04	0,96	1,01	0,99	0,91	0,59
SPL (dB)	-17,3	-17,0	-17,7	-18,1	-18,1	-18,3	-18,8	-20,2
C80 (dB)	3,0	2,6	5,3	8,2	8,0	8,1	8,6	11,6
D50	0,56	0,55	0,68	0,78	0,78	0,78	0,79	0,87
Ts (ms)	77	82	54	38	39	38	36	26
LF80	0,345	0,338	0,317	0,303	0,305	0,299	0,298	0,280

SPL(A) = -11,6(dB)
 LG80* = -28,2(dB)
 STI = 0,69 (Theoretical based on T30, STI = 0,60)

Continued...Energy parameters

Receiver Number: 3 No Ultima Fila (x,y,z) = (6,00, 0,00, 9,00)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,07	1,10	0,69	0,37	0,40	0,42	0,53	0,34
T30 (s)	1,24	1,31	1,00	0,90	0,93	0,90	0,84	0,58
SPL (dB)	-20,2	-19,7	-21,9	-24,3	-24,7	-24,9	-25,6	-28,1
C80 (dB)	4,7	4,2	7,4	10,4	10,0	10,0	10,3	13,3
D50	0,59	0,57	0,72	0,83	0,82	0,82	0,83	0,89
Ts (ms)	69	73	49	34	35	35	33	26
LF80	0,316	0,304	0,252	0,176	0,162	0,162	0,165	0,154

SPL(A) = -18,2(dB)
 LG80* = -34,4(dB)
 STI = 0,74 (Theoretical based on T30, STI = 0,61)

Warning: Reflection density is less than 50 reflections per millisecond

Receiver Number: 4 Lateral (x,y,z) = (0,00, -5,00, 5,50)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,23	1,33	0,90	0,62	0,73	0,58	0,65	0,51
T30 (s)	1,34	1,36	1,02	0,92	0,95	0,91	0,92	0,63
SPL (dB)	-18,6	-18,3	-20,3	-22,7	-22,8	-22,8	-23,4	-25,7
C80 (dB)	1,9	1,5	4,0	6,5	6,2	6,6	6,9	9,5
D50	0,44	0,42	0,53	0,62	0,62	0,63	0,65	0,75
Ts (ms)	90	95	68	52	53	50	48	36
LF80	0,355	0,357	0,313	0,198	0,175	0,171	0,175	0,162

SPL(A) = -16,2(dB)
 LG80* = -30,7(dB)
 STI = 0,65 (Theoretical based on T30, STI = 0,60)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,07	1,10	0,69	0,37	0,40	0,42	0,53	0,33
Minimum	1,07	1,10	0,69	0,37	0,40	0,42	0,53	0,33
Maximum	1,32	1,36	0,97	0,64	0,73	0,59	0,65	0,51
Average	1,23	1,27	0,86	0,56	0,58	0,54	0,59	0,42

T30 (s)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	1,24	1,28	1,00	0,89	0,93	0,90	0,84	0,56
Maximum	1,34	1,36	1,04	0,96	1,01	0,99	0,92	0,63
Average	1,29	1,32	1,02	0,92	0,96	0,93	0,89	0,59

SPL (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-20,2	-19,7	-21,9	-24,3	-24,7	-24,9	-25,6	-28,1
Maximum	-17,3	-17,0	-17,7	-18,1	-18,1	-18,3	-18,8	-20,2
Average	-18,8	-18,5	-20,0	-21,8	-21,8	-22,0	-22,6	-24,6

C80 (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	1,9	1,5	4,0	6,5	6,2	6,6	6,9	9,5
Maximum	4,7	4,2	7,4	10,4	10,0	10,0	10,3	13,3
Average	2,9	2,5	5,2	8,0	7,7	7,9	8,3	11,1

D50

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,42	0,40	0,52	0,62	0,62	0,63	0,65	0,74
Maximum	0,59	0,57	0,72	0,83	0,82	0,82	0,83	0,89
Average	0,50	0,48	0,61	0,72	0,71	0,72	0,73	0,81

ODEON 10.1 Combined
 Licensed to: UPV- ETS Arquitectura, Spain
 User id: 2229, dongle no:102497

Printed: 09/11/2015 9:10:40
 Room: D:\Rooms\TFG Arq 01\modelo_06
 Geometry/Material/Source version: 2/7/4
 Job number: 2 No description

Ts (ms)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	69	73	49	34	35	35	33	26
Maximum	91	96	68	52	53	50	48	36
Average	82	86	60	43	44	43	41	31

LF80	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,316	0,304	0,252	0,176	0,162	0,162	0,165	0,154
Maximum	0,365	0,357	0,328	0,303	0,305	0,299	0,298	0,280
Average	0,345	0,338	0,302	0,241	0,230	0,225	0,226	0,212

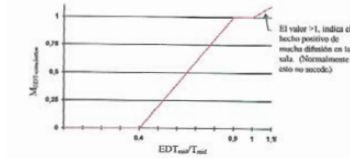
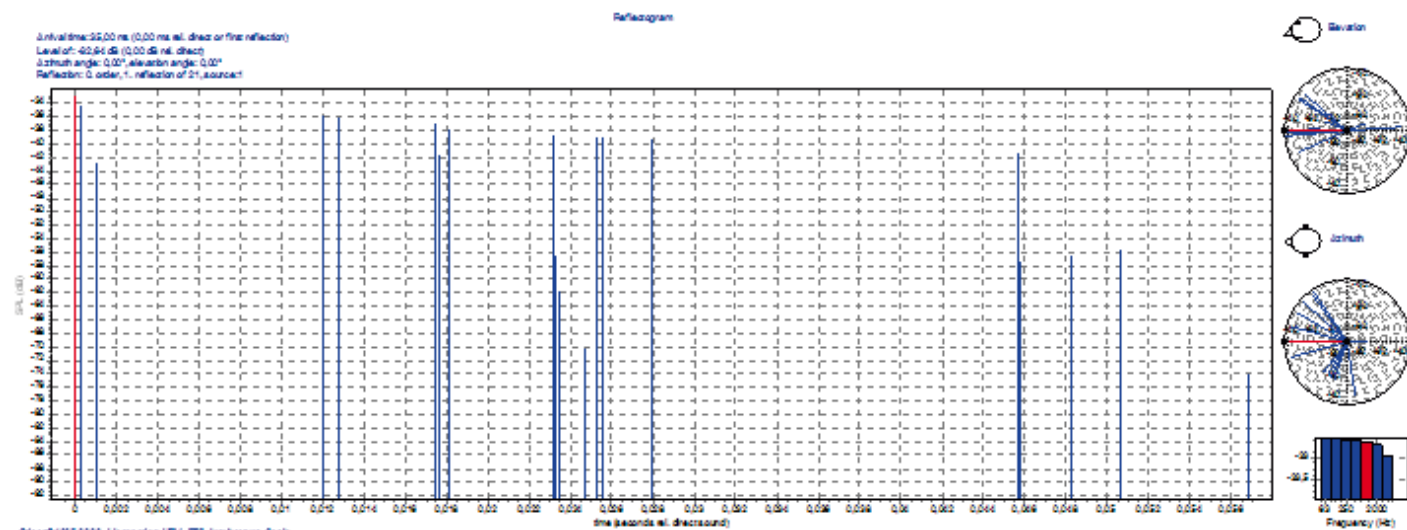
SPL(A), minimum = -18,2(dB)
 SPL(A), maximum = -11,6(dB)
 SPL(A), Average = -15,3(dB)

LG80*, minimum = -34,4(dB)
 LG80*, maximum = -28,2(dB)
 LG80*, Average = -30,8(dB)

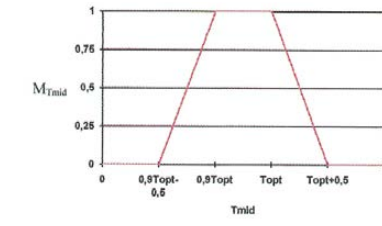
STI, minimum = 0,65STI
 STI, maximum = 0,74STI
 STI, Average = 0,68STI

DL2 parameters

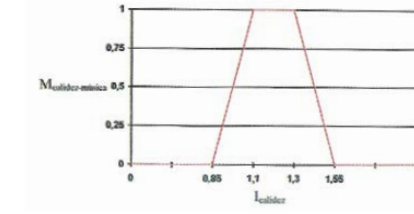
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
DL2 (dB)	1,74	1,58	2,55	3,86	4,03	4,04	4,14	4,79
correlation	0,96	0,97	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00



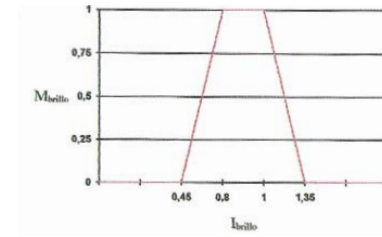
Imatge 108. Factor de mèrit donat per a un valor donat de EDT_{mid} / T_{mid}



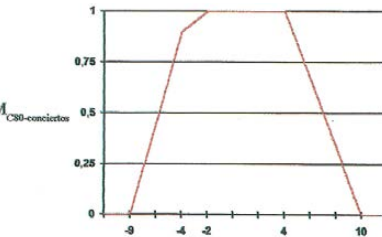
Imatge 109. Factor de mèrit per a un valor de T_{mid} donat en funció de T_{opt}



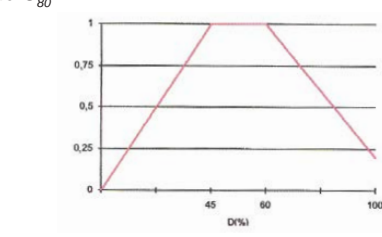
Imatge 110. Factor de mèrit donat per a un valor de $I_{calidez}$



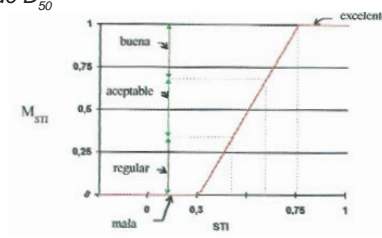
Imatge 111. Factor de mèrit donat per a un valor de I_{brillo}



Imatge 112. Factor de mèrit donat per a un valor donat de C_{80}



Imatge 113. Factor de mèrit donat per a un valor donat de D_{50}



Imatge 114. Factor de mèrit donat per a un valor donat de STI

D'aquesta manera, amb el càlcul dels factors de mèrit obtenim els següents resultats:

EDT (s)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Mitjana	1,19	1,27	0,79	0,59	0,57	0,54	0,55	0,41

EDT_{mid}	T_{mid}	M_{EDT}
0,58	0,95	0,43

T30 (s)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Mitjana	1,29	1,34	1,05	0,92	0,97	0,94	0,88	0,6

$T_{opt min}$	$T_{opt max}$	$T_{mid opt}$	T_{mid}	$T_{opt cam}$	$M_{T mid cam}$
0,76	1,12	0,94	0,95	0,85	0,81
				$T_{opt simf}$	$M_{T mid sim}$
				1,03	1,00

T_{low}	T_{mid}	$I_{calidez}$	M_{GR}
1,195	0,945	1,26	1,00

T_{high}	T_{mid}	I_{brillo}	M_{Br}
0,91	0,945	0,96	1,00

C80 (dB)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Mitjana	3	2,5	5,4	8,1	7,9	8	8,4	11,3

$C80_{mid}$	M_{C80}
3,00	1,00

D50	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Mitjana	0,51	0,49	0,62	0,72	0,72	0,72	0,74	0,82

$D50_{mid}$	M_{D50}
0,73	0,75

SPL (A), mitjana= -15,2 (dB) Volum = 1501 m³

LG80*, mitjana= -30,8 (dB)

STI, mitjana= 0,69 STI (dB)

M_{STI}
0,86

FACTOR DE MÈRIT GLOBAL MÚSICA DE CÀMERA
M=0,84

FACTOR DE MÈRIT GLOBAL MÚSICA SIMFÒNICA
M=0,86

Així, observem una millora en quasi tots els aspectes respecte de la sala inicial. El factor global supera el 80 % donant lloc a una sala acceptable tant per a la música de càmera com per a la simfònica. A més a més, obtenim un índex d'intel·ligibilitat STI també superior al 80 %, fet que possibilitarà la polivalència de la sala per a realitzar activitats on la parla estiga present. De l'ecograma extraiem la disminució de l'eco flotant, un dels aspectes perjudicials de la sala inicial.

D'aquesta manera, s'extrau que la sala dissenyada resulta acceptable tant per al seu ús principal que, tractant-se d'una escola de música serà la música, com per a la realització d'activitats més centrades en l'ús de la paraula.

5. Conclusions

En primer lloc, s'ha que tenir present que s'ha realitzat el disseny d'una xicoteta sala polivalent, on hi ha que aconseguir uns valors adequats per al seu ús però, no es necessària l'excel·lència en un ús determinat. Aquest aspecte reduiria la capacitat d'albergar altres usos, sense tenir que recórrer a solucions més complexes o a la incorporació d'acústica variable, fet que presenta controvèrsies amb l'objectiu del treball.

Aquesta polivalència s'ha obtés des de l'estudi acústic de factors com el temps de reverberació o la intel·ligibilitat. Així, amb el control i ajustament d'aquests paràmetres cap a uns valors adequats per als diferents usos previstos de la sala, s'obté la citada polivalència. Paràmetres que es situen en valors acceptables tant per a l'ús de música simfònica com per a l'ús de la paraula.

D'altra banda, el desenvolupament del treball ens ha presentat la realitat de les sales de música actuals, on existeixen molts patrons positius que es repeteixen, però on també hi han defectes en el seu disseny, que produeixen problemes molt generalitzats i coneguts com poden ser els ecos. Aquest és un dels aspectes a destacar, degut a que està present en moltes de les sales actuals, on la imatge típica amb parets planes i llises n'és característica.

Un altre aspecte característic extret de les sales analitzades, que s'enfronta amb els criteris definits per Arau en els quals es basa el treball, és l'alt temps de reverberació amb que es dissenyen les sales de música actuals. Existeix una tendència a crear sales molt reverberants, aspecte que deriva de l'anàlisi de les grans sales clàssiques on el temps de reverberació es elevat. Però, s'ha de tenir en compte que, per al disseny de sales de dimensions més reduïdes on el so directe té més pes en el balanç energètic total que a les sales grans, és necessari un control i una disminució d'aquest per obtenir una adequada acústica a la sala.

Resumint, s'ha realitzat un disseny adequat d'una sala per una societat musical, dotant-la de la suficient polivalència i qualitats acústiques que requeria, i tenint en compte tant, aspectes de la teoria acústica, com conclusions extretes de l'anàlisi d'una sèrie de referències assimilables a la sala objecte del treball.

6. Bibliografia i fonts

Fonts:

- Base de dades del Departament d'Urbanisme de l'Ajuntament de Gandia
- Base de dades de l'arxiu projectual de l'estudi 3POL Arquitectes

Bibliografía general:

— Llibres:

- ARAU, H.: *ABC de la acústica arquitectónica*, Barcelona: CEAC, 1999
- BERANEK, L.: *Concert Halls and opera houses: music, acoustics, and architecture*, 2a ed., New York, NY: Springer, 2004
- CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003

— Revistes:

- "Auditorio y conservatorio municipal de Vila-Seca" en *Tectónica: monografías de arquitectura, tecnología y construcción: Acústica*, 14, Madrid: ATC Ediciones, 2002
- "Escuela municipal de música y auditorio en Terrassa. Barcelona" en *On Diseño*, 249, Barcelona: On Diseño, 2004

— Pàgines web:

- BARBA, J.J. "Casa de la Música y Auditorio en Algueña. MUCA" [en línia]. Metalocus: 7 de novembre, 2011. <<http://www.metalocus.es/content/es/blog/casa-de-la-m%C3%BAsica-y-auditorio-en-algue%C3%B1a-muca>> [Consulta: 26 d'agost, 2015].
- CZERWINSKI, Natacha. "Nouvel auditorium de Bondy : la voix aux usagers... et aux riverains" [en línia]. Ile de France: 29 de Gener, 2014. <<http://www.iledefrance.fr/nouvel-auditorium-bondy-voix-aux-usagers-aux-riverains>> [Consulta: 28 d'agost, 2015].
- GRAZIA, Sergio. "Music Conservatory" [en línia]. Editoriale Domus Spa: 7 de Març, 2014. <http://www.domusweb.it/en/architecture/2014/03/07/music_conservatory.html> [Consulta: 29 d'agost, 2015].
- MESTRE, Anna. "Presentació de la Temporada de Música a l'Auditori, del febrer al juny del 2015" [en línia]. Terrassa informa: 18 de febrer, 2015 <<http://terrassainforma.com/2015/02/presentacio-de-la-temporada-de-musica-lauditori-del-febrer-al-juny-del-2015/>> [Consulta: 24 d'agost, 2015].
- *Acustiart: by Acustica Integral* [en línia]. <<http://www.acustiart.com/technical-data/>> [Consulta: 5 de Novembre, 2015].
- *Arau acústica* [en línia]. <<https://arauacustica.com/>> [Consulta: 1 d'agost, 2015].
- *Obra Social La Caixa*. Agenda. Activitats generals. Concerts i Conferències [en línia]. <<http://agenda.obrasocial.lacaixa.es/ca/busca-dor>> [Consulta: 27 d'agost, 2015].
- *Ajuntament de Terrassa*. Activitats Musicals [en línia]. <<http://www.terrassa.cat/activitats-musicals>> [Consulta: 24 d'agost, 2015].
- *Auditori Kursaal*. Agenda [en línia]. <<http://www.kursaal.eus/es/tipo/>>

- quincena-musical/> [Consulta: 17 d'agost, 2015].
- *Auditori Kursaal*. Organiza un evento. Salas. Sala de cámara [en línia]. < <http://www.kursaal.eus/es/organiza-tu-evento/salas/sala-de-camara/>> [Consulta: 17 d'agost, 2015].
- *Ayuntamiento de Algueña*. Categoría: Cultura [en línia]. <<http://www.alguenya.es/category/cultura/>> [Consulta: 26 d'agost, 2015].
- *COR Asociados* [en línia]. <<http://www.cor.cc>> [Consulta: 14 de setembre, 2015].
- *Facebook*. Conservatoire Claude Debussy - Paris 17e [en línia]. < <https://www.facebook.com/Conservatoire-Claude-Debussy-Paris-17e-372953849501834/timeline/>> [Consulta: 29 d'agost, 2015].
- *Facebook*. Conservatori de Terrassa [en línia]. < <https://www.facebook.com/conservatorideterassa>> [Consulta: 24 d'agost, 2015].
- *Patronat Municipal de Música de Vila-Seca* [en línia]. <<http://www.vila-secamusica.cat/eo/>> [Consulta: 27 d'agost, 2015].
- *Planet 3 studios*. M Auditorium [en línia]. <<http://www.planet3studios.com/audivsb.php?Pimg=1>> [Consulta: 1 d'agost, 2015].
- *RSanabria*, Arquitectes associats. [en línia] <<http://www.ramonsanabria.com/CATALA/HOME/WS%20HOME02%20cat.html>> [Consulta: 27 d'agost, 2015].
- *Texaa: Acoustic panels* [en línia]. <<http://www.texaa.com/products/vibrasto/stretch-install/acoustics/>> [Consulta: 5 de Novembre, 2015].
- "Auditorio del Conservatorio de Canto Coral Bondy & Radio France / PARC Architectes" [en línia] Plataforma Arquitectura: 23 de juliol, 2014. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/624380/auditorio-del-conservatorio-de-canto-coral-bondy-and-radio-france-parc-architectes>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- "Auditorio en Algueña de Estudio COR, Premio Cerámica ASCER" [en línia]. Arquitectura Viva: 22 de novembre, 2011. <<http://www.arquitecturaviva.com/Info/News/Details/3118>> [Consulta: 14 de setembre, 2015].
- "Auditorium de Bondy Angèle et Roger Tribouilloy & Conservatoire d'enseignement du chant choral sous maîtrise. Radio France" [en línia]. Parc Architectes: Desembre, 2013. <http://parc-architectes.eu/files/BSC_Dossier%20de%20presse_web_low.pdf> [Consulta: 28 d'agost, 2015].
- "CaixaForum Zaragoza / Estudio Carme Pinos" [en línia]. Plataforma Arquitectura: 2 de juliol, 2014. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/623336/caixaforum-zaragoza-estudio-carme-pinos>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- "CaixaForum Saragossa. Coneix el centre" [en línia]. Obra Social La Caixa <http://obrasocial.lacaixa.es/nuestroscentros/caixaforumzaragoza/conoceelcentro_ca.html> [Consulta: 27 d'agost, 2015].
- "Centre Cultural a Leioa" [en línia]. Gina Barcelona Architects. <<http://www.ginabarcelona.com/ca/project/centre-cultural-a-leioa>> [Consulta: 27 d'agost, 2015].
- "Conservatoire Claude Debussy" [en línia]. <http://www.mairie17.paris.fr/mairie17/jsp/site/Portal.jsp?page_id=1319> [Consulta: 29 d'agost, 2015].
- "Conservatoire Municipal Claude Debussy – Site Courcelles" [en línia]. <<http://equipement.paris.fr/conservatoire-municipal-claude-debussy-site-courcelles-1626>> [Consulta: 29 d'agost, 2015].
- "Conservatorio de Música en el Distrito 17 de Paris / Basalt Architects" [en línia]. Plataforma Arquitectura. : 26 de febrer, 2014. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-339169/conservatorio-de-musica-en-el-distrito-17-de-paris-basalt-architects>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- "Dossier de Presse. Ouverture de l'Auditorium Angèle et Roger Tribouilloy le 30 novembre 2013" [en línia]. Bondy, l'Agglomération Est Ensemble et Radio France à l'unisson. <<http://www.est-ensemble.fr/>

- sites/default/files/cdp/dossier_de_presse_auditorium_angeleroger_tribouilloy.pdf> [Consulta: 28 d'agost, 2015].
- "El centro cultural" [en línia]. Kultur Leioa. <<http://www.kulturleioa.com/agenda/kultur-leioa/kultur-zentroa/?lang=es>> [Consulta: 27 d'agost, 2015].
- "Inaugurado el nuevo edificio MUCA, que acogerá a los colectivos culturales de Algueña, tras la reforma del antiguo cuartel de la Guardia Civil" [en línia]. Intercomarcal. <http://www.intercomarcal.com/i.php?accion=1&codigo_noticia=35074&m=n&p> [Consulta: 26 d'agost, 2015].
- "Interior Design Award : Vidyalankar Auditorium" [en línia]. Vidyalankar Institute of Technology. <<http://www.vit.edu.in/news-archive/108-awards/758-interior-design-award-vidyalankar-auditorium1>> [Consulta: 1 d'agost, 2015].
- "Las obras de rehabilitación y ampliación de la Casa de la Música de Algueña están prácticamente acabadas tras una inversión superior a los 800.000 €" [en línia]. Intercomarcal. <http://www.intercomarcal.com/i.php?accion=1&codigo_noticia=34576&m=n&p> [Consulta: 26 d'agost, 2015].
- "L'Auditorium Angèle et Roger Tribouilloy. "VOIX" EN GRAND !" [en línia]. Ville Bondy. <<http://www.ville-bondy.fr/culture/auditorium/>> [Consulta: 28 d'agost, 2015].
- "M – Auditorio / Planet 3 Studios Architecture" [en línia]. ArchDaily México: 16 de desembre, 2014. <<http://www.archdaily.mx/mx/759164/m-nil-auditorio-planet-3-studios-architecture>> [Consulta: 1 d'agost, 2015].
- "M – Auditorio / Planet 3 Studios Architecture" [en línia]. Plataforma Arquitectura: 16 de desembre, 2014. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/759164/m-nil-auditorio-planet-3-studios-architecture>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].

7. Índex d'imatges

- Imatge 1. CARRIÓN, A.: *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: UPC, 2003
- Imatge 2. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 3. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 4. ARAU, H.: *ABC de la acústica arquitectónica*, Barcelona: CEAC, 1999
- Imatge 5. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 6. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 7. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 8. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 9. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 10. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 11. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 12. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 13. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 14. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 15. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 16. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 17. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 18. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 19. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 20. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 21. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 22. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 23. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 24. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 25. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 26. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 27. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 28. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 29. <<http://osslpmx.wix.com/osslp>> [Consulta: 7 de Novembre, 2015]
- Imatge 30. <<http://hoteldeleydschehof.com/property/the-royal-concertgebouw/>> [Consulta: 7 de Novembre, 2015]
- Imatge 31. <http://www.lemessurier.com/boston_symphony_hall> [Consulta: 7 de Novembre, 2015]
- Imatge 32. <<http://www.thousandwonders.net/Northern+Alberta+Jubilee+Auditorium>> [Consulta: 7 de Novembre, 2015]
- Imatge 33. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 34. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 35. <http://www.opera-online.com/en/items/opera_houses/bunka-kaikan-theater> [Consulta: 7 de Novembre, 2015]
- Imatge 36. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 37. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 38. <<http://www.fairfaxchoralsociety.org/event/carnegie-hall-march-22-2015/>> [Consulta: 7 de Novembre, 2015]
- Imatge 39. <<http://www.poltronaframi.com/projects/de-doelen-concert-hall>> [Consulta: 7 de Novembre, 2015]
- Imatge 40. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 41. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 42. <<http://danperry.livejournal.com/117871.html?page=>>> [Consulta: 7 de Novembre, 2015]
- Imatge 43. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 44. <<http://www.homestolove.co.nz/inside-homes/news/restore-the-christchurch-town-hall>> [Consulta: 7 de Novembre, 2015]

- Imatge 45. <<http://en.beethovenfest.de/downloads/23/>> [Consulta: 7 de Novembre, 2015]
- Imatge 46. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 47. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 48. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 49. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 50. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 51. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 52. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 53. CARRIÓN, A., ref. 1
- Imatge 54. <<http://es.slideshare.net/enriquealexandre/acstica-de-salas>> [Consulta: 7 de Novembre, 2015]
- Imatge 55. <<https://esteticateatral.wordpress.com/author/melinarivera/>> [Consulta: 7 de Novembre, 2015]
- Imatge 56. <http://www.studio-22.com/_acustica_difusores.htm> [Consulta: 7 de Novembre, 2015]
- Imatge 57. <<http://www.xix-acoustics.com/2012/07/19/custom-acoustic-treatment-photos/>> [Consulta: 7 de Novembre, 2015]
- Imatge 58. <http://www.westgeneral.com/products/prod_diff.php> [Consulta: 7 de Novembre, 2015]
- Imatge 59. <<http://www.arquitecturaviva.com/Info/News/Details/3118>> [Consulta: 14 de setembre, 2015].
- Imatge 60. <<http://www.arquitecturaviva.com/Info/News/Details/3118>> [Consulta: 14 de setembre, 2015].
- Imatge 61. <<http://www.arquitecturaviva.com/Info/News/Details/3118>> [Consulta: 14 de setembre, 2015].
- Imatge 62. <<http://www.arquitecturaviva.com/Info/News/Details/3118>> [Consulta: 14 de setembre, 2015].
- Imatge 63. "Auditorio y conservatorio municipal de Vila-Seca" en *Tectónica: monografías de arquitectura, tecnología y construcción: Acústica, 14*, Madrid: ATC Ediciones, 2002
- Imatge 64. "Auditorio y conservatorio municipal de Vila-Seca" en *Tectónica: monografías de arquitectura, tecnología y construcción: Acústica, 14*, Madrid: ATC Ediciones, 2002
- Imatge 65. "Auditorio y conservatorio municipal de Vila-Seca" en *Tectónica: monografías de arquitectura, tecnología y construcción: Acústica, 14*, Madrid: ATC Ediciones, 2002
- Imatge 66. "Auditorio y conservatorio municipal de Vila-Seca" en *Tectónica: monografías de arquitectura, tecnología y construcción: Acústica, 14*, Madrid: ATC Ediciones, 2002
- Imatge 67. <<http://www.kursaal.eus/es/organiza-tu-evento/salas/sala-de-camara/>> [Consulta: 17 d'agost, 2015].
- Imatge 68. <<http://www.kursaal.eus/es/organiza-tu-evento/salas/sala-de-camara/>> [Consulta: 17 d'agost, 2015].
- Imatge 69. <<http://www.kursaal.eus/es/organiza-tu-evento/salas/sala-de-camara/>> [Consulta: 17 d'agost, 2015].
- Imatge 70. <<http://www.kursaal.eus/es/organiza-tu-evento/salas/sala-de-camara/>> [Consulta: 17 d'agost, 2015].
- Imatge 71. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/623336/caixa-forum-zaragoza-estudio-carne-pinos>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 72. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/623336/caixa-forum-zaragoza-estudio-carne-pinos>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 73. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/623336/caixa-forum-zaragoza-estudio-carne-pinos>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 74. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/623336/caixa-forum-zaragoza-estudio-carne-pinos>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 75. <<http://www.ginabarcelona.com/ca/project/centre-cultural-a-leioa>> [Consulta: 27 d'agost, 2015].
- Imatge 76. <<http://www.ginabarcelona.com/ca/project/centre-cultural-a-leioa>> [Consulta: 27 d'agost, 2015].

- Imatge 77. <<http://www.ginabarcelona.com/ca/project/centre-cultural-a-leioa>> [Consulta: 27 d'agost, 2015].
- Imatge 78. <<http://www.ginabarcelona.com/ca/project/centre-cultural-a-leioa>> [Consulta: 27 d'agost, 2015].
- Imatge 79. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/624380/auditorio-del-conservatorio-de-canto-coral-bondy-and-radio-france-parc-architectes>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 80. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/624380/auditorio-del-conservatorio-de-canto-coral-bondy-and-radio-france-parc-architectes>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 81. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/624380/auditorio-del-conservatorio-de-canto-coral-bondy-and-radio-france-parc-architectes>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 82. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/624380/auditorio-del-conservatorio-de-canto-coral-bondy-and-radio-france-parc-architectes>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 83. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/624380/auditorio-del-conservatorio-de-canto-coral-bondy-and-radio-france-parc-architectes>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 84. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-339169/conservatorio-de-musica-en-el-districto-17-de-paris-basalt-architects>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 85. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-339169/conservatorio-de-musica-en-el-districto-17-de-paris-basalt-architects>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 86. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-339169/conservatorio-de-musica-en-el-districto-17-de-paris-basalt-architects>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 87. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-339169/conservatorio-de-musica-en-el-districto-17-de-paris-basalt-architects>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 88. <<https://arauacustica.com/>> [Consulta: 1 d'agost, 2015].
- Imatge 89. <<https://arauacustica.com/>> [Consulta: 1 d'agost, 2015].
- Imatge 90. "Escuela municipal de música y auditorio en Terrassa. Barcelona" en *On Diseño, 249*, Barcelona: On Diseño, 2004
- Imatge 91. "Escuela municipal de música y auditorio en Terrassa. Barcelona" en *On Diseño, 249*, Barcelona: On Diseño, 2004
- Imatge 92. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/759164/m-nil-auditorio-planet-3-studios-architecture>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 93. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/759164/m-nil-auditorio-planet-3-studios-architecture>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 94. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/759164/m-nil-auditorio-planet-3-studios-architecture>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 95. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/759164/m-nil-auditorio-planet-3-studios-architecture>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 96. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/759164/m-nil-auditorio-planet-3-studios-architecture>> [Consulta: 14 de juliol, 2015].
- Imatge 97. Foto d'autor
- Imatge 98. Foto d'autor
- Imatge 99. Arxius del Departament d'Urbanisme de Gandia, Ajuntament de Gandia
- Imatge 100. Arxius del Departament d'Urbanisme de Gandia, Ajuntament de Gandia
- Imatge 101. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 102. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 103. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 104. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 105. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 106. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 107. ARAU, H., ref. 4

- Imatge 108. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 109. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 110. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 111. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 112. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 113. ARAU, H., ref. 4
- Imatge 114. ARAU, H., ref. 4