

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

I.T. Telecomunicación (Sonido e Imagen)



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“Condicionament acústic de la sala de reproducció cinematogràfica "Cine La Paz" de Gata de Gorgos per a la seua adaptació a sala d'acústica variable”

TRABAJO FINAL DE CARRERA

Autor/es:
Alba Vega Mulet

Director/es:
D. Rubén Picó Vila
D. Francisco Javier Redondo
Pastor

GANDIA, 2010

ÍNDEX

PART 1

1. INTRODUCCIÓ	4
2. OBJECTIUS	4
3. FONAMENTS TEÒRICS	6
3.1 INTRODUCCIÓ.....	6
3.2 VARIACIONS DE LA SALA I PARÀMETRES DE QUALITAT.....	7
3.2.1 Sala per a l'audició verbal.....	7
3.2.2 Sala per a l'audició musical.....	11
3.2.3 Sala per a la reproducció cinematogràfica.....	14
3.3 ADAPTACIÓ DE SALES D'ACÚSTICA VARIABLE.....	17
3.4 MATERIALS.....	20
3.5 DISSENY DE RESSONADORS, REFLECTORS I DIFUSORS.....	24
3.5.1 Ressonadors.....	24
3.5.2 Reflectors.....	29
3.5.3 Difusors.....	30
3.4 ESPECIFICACIONS DE LES MESURES.....	32
3.5 PROCEDIMENT PER A LA INTERVENCIÓ ACÚSTICA.....	33
4. MESURES	34
5. CONDICIONS INICIALS	38
5.1 SALA PER A L'AUDICIÓ VERBAL.....	40
5.2 SALA PER A L'AUDICIÓ MUSICAL.....	42
5.3 SALA PER A LA REPRODUCCIÓ CINEMATOGRÀFICA.....	44
5.4 CONCLUSIONS.....	45
6. MODEL PER A LA SIMULACIÓ PER TRAÇAT DE RAJOS DE LA SALA	46
6.1 AutoCAD.....	46
6.2 CATT-Acoustic.....	53

7. SOLUCIONS I SIMULACIONS	61
7.1 SALA PER A LA REPRODUCCIÓ CINEMATogrÀFICA.....	61
7.2 SALA PER A L'AUDICIÓ VERBAL.....	65
7.3 SALA PER A L'AUDICIÓ MUSICAL.....	70
8. CONCLUSIONS	75
9. ESTUDI ECONÒMIC	77
 PART 2	
10. PLÀNOLS	78
 PART 3	
11. PLEC DE CONDICIONS GENERALS I ECONÒMIQUES	79
12. PLEC DE CONDICIONS TÈCNIQUES I PARTICULARS	79
13. PROCEDIMENT PER A L'ACCEPTACIÓ DEL PROJECTE	79
 PART 4	
14. PRESSUPOST	80
15. BIBLIOGRAFIA	82
15. ANNEXOS	84

1. INTRODUCCIÓ

Al 1925 es construeix a Gata de Gorgos la sala per a la reproducció cinematogràfica "Ideal Cinema", aquesta sala, després de moltes reformes, la darrera al 1977, ja amb nom de "Salón-Cine: La Paz", roman oberta i amb activitat cinematogràfica fins al 2003, que tanca les seues portes al públic.

A l'actualitat, els propietaris, que han conservat l'edifici en perfectes condicions, per raons sentimentals, ja que els cinemes particulars han anat desapareguent i abdicant en les grans multisales del centres d'oci, estudien la possibilitat de convertir el cinema en una sala d'acústica variable i per tant polivalent.

La sala presenta unes bones condicions de construcció i conservació dels materials, viabilitzant el seu estudi, per a una reforma de baix pressupost, per tal de poder obrir-la de nou al públic.

En temps econòmicament desfavorables per a les inversions, la possibilitat de col·laboració per part de l'ajuntament de la localitat, en el finançament i continuïtat d'us de les reformes de la sala, pren força. Mentre la sala ofereix una sèrie de llocs de treball en el procés de reforma i altra en el manteniment i explotació de la mateixa.

Projecte de modest pressupost amb dificultats de documentació, deguts a l'antiguitat de l'edifici. Però al mateix temps ambiciós per la banda sentimental de recuperació d'un edifici històric, a complet rendiment, guanyant terreny a les grans superfícies d'oci.

2. OBJECTIUS

Els objectius generals d'aquest projecte són:

La proposició d'adaptació de la sala de reproducció cinematogràfica tradicional situada a la localitat de Gata de Gorgos, actualment tancada al públic, per a la seua reobertura en forma de sala d'acústica variable. Se cercarà adaptar la sala a les condicions necessàries perquè pugui acollir esdeveniments de naturalesa musical, amb predomini de la paraula o seguir amb la reproducció cinematogràfica, amb una acústica òptima en cadascun dels casos, permetent el retorn de l'activitat cultural al recinte.

Composició d'un model real d'actuació en el cas de reutilització d'edificis històrics, útil en moments de crisi econòmica per a la reactivació cultural en localitats amb baixos pressupostos per a la inversió en aquest camp. El model inclourà la comprovació de les condicions necessàries legals i l'optimització de la construcció d'espais culturals polivalents, proposant una solució econòmica d'adaptació de les condicions d'un recinte ja construït a les necessitats culturals actuals. Es demostrarà la possibilitat de recuperació d'un edifici històric i la viabilitat de la possibilitat d'aconseguir projectes d'alta eficiència amb una inversió econòmica moderada, aprofitant espais ja construïts, rehabilitant-los i adaptant-los a les condicions necessàries per a l'òptima acollida d'esdeveniments culturals.

Aquest projecte final de carrera dels estudis d'Enginyeria Tècnica de Telecomunicacions de la especialitat so i imatge, abordarà la problemàtica d'adaptació de sales ja construïdes com a resum de cloenda d'uns estudis d'enfocament acústic. Amb la seua realització, es pretén presentar un pla d'acció per a la realització de projectes reals per part d'un titulat, de manera autònoma.

Els objectius específics (experimentals i numèrics) necessaris per aconseguir el objectius generals són:

- Estudi de les condicions inicials de la sala per poder abordar la seua problemàtica, mitjançant una sèrie de mesures *in-situ* que mostren les condicions acústiques de la sala, centrant l'estudi en la resposta a l'impuls de la mateixa. Es cercarà obtenir els valors del temps de reverberació, representatius, amb l'excitació de la sala amb una font sonora que emetrà soroll blanc i el registre de la seua caiguda en determinades posicions de micròfon.
- Disseny, a partir de les dimensions del recinte i la seua distribució de materials, d'un model per a la simulació per traçat de rajos. Model que representarà la sala i el seu comportament acústic a partir de les mides de referència de la sala real i de les qualitats d'absorció concretes dels materials que la componen. A partir d'aquest model, s'estudiarà l'efecte de les diverses solucions proposades teòricament fins trobar els materials i dispositius que, amb la seua distribució, influïsquen en l'acústica de la sala, oferint l'apropament necessari als valors òptims de cada paràmetre, en cadascun dels usos de la mateixa.
- Càlcul i descripció de les solucions dissenyades per a l'adaptació de la sala, per a que puga acollir esdeveniments d'audició verbal, d'audició musical i de reproducció cinematogràfica. Recerca de materials a partir de l'estudi de les condicions inicials de la sala i elecció de la distribució més influent dels mateixos, per tal d'aconseguir l'adaptació en cadascun dels casos. Proposició de solucions d'increment/disminució d'absorció o reducció de volum per tal d'augmentar o minvar el valor del temps de reverberació a la sala, com a base del càlcul de la resta de paràmetres. Particularització de la solució proposada per a l'adaptació de la sala a cadacun dels usos, tenint present l'optimització de la instal·lació polivalent, si és possible, de les solucions i l'aprofitament de dispositius per als diversos casos.
- Valoració dels resultats obtinguts, a partir de la introducció de les solucions proposades, en el programa per a l'assaig acústic amb el model de simulació numèric. Per al plantejament de cadascun dels usos de la sala tornar a calcular el valor dels paràmetres que defineixen la qualitat acústica, en el cas concret. Rebuig de les solucions que allunyen els valors resultants de l'optimització i acceptació de les que més apropen la sala a aquests. Comprovació de l'eficiència de les solucions definitives i presentació d'aquestes com a pla d'adaptació concret de la sala, en cadascun dels casos.
- Estudi de la viabilitat econòmica del projecte, models de finançament i optimització de recursos. Adaptació del conjunt de solucions proposades per a la màxima reducció de despeses en dispositius, materials i instal·lacions. Composició d'un pressupost amb el cost detallat del projecte, enfocant aquest, sols a l'estudi de la suficient quantitat de paràmetres, per garantir la correcta adaptació de la sala amb la menor despesa econòmica possible.

3. FONAMENTS TEÒRICS

3.1 INTRODUCCIÓ

Les bases teòriques utilitzades per a la composició d'aquest projecte, se centren en l'acústica, vessant de la física que estudia la generació i comportament de les ones sòniques, acceptant les tres teories bàsiques per al seu estudi i els paràmetres i models que aquestes introdueixen. [5]

A continuació es definirà la sala, segons l'ús, i els paràmetres i valors que caracteritzen un correcte condicionament acústic en cada cas.

Per aconseguir els valors òptims dels paràmetres es necessiten una sèrie de solucions acústiques basades en la instal·lació de diversos materials i dispositius, les propietats i disseny dels quals es detallaran en el present document.

Finalment, s'enuncia el procediment per a una correcta intervenció acústica enfocada al condicionament acústic en una sala ja construïda, després de l'explicació de les especificacions necessàries en el procediment de mesura per a obtindre els valors necessaris per a la definició de la qualitat acústica del recinte.

3.2 VARIACIONS DE LA SALA I PARÀMETRES DE QUALITAT

Com que la sala que es vol dissenyar serà destinada a tres tipus d'espectacles diferents: audició musical, audició verbal i reproducció cinematogràfica, s'estudiaran els paràmetres que avaluen la qualitat acústica de cada tipus de sala i els valors òptims en cada cas. També es veuran els procediments de càlcul posteriors a la mesura a la sala.[1] [2] [6] [7]

3.2.1 Sala per a l'audició verbal

La qualitat acústica de la sala per a aquest ús, ve condicionada principalment pel nivell de comprensió del missatge oral transmés, és a dir, un nivell de recepció acceptable i una correcta distinció entre fonemes. Com que la veu humana té una freqüència compresa entre mitjanes i altes freqüències ens interessarà especialment l'estudi d'aquest rang. [7] [27]

Definició de paràmetres:

En aquest punt cal diferenciar entre els paràmetres subjectius, que seran mesurats mitjançant assajos d'articulació, i els objectius que calcularem en les prediccions i simulacions i comprovarem mitjançant mesures *in situ* i càlculs posteriors.

Vivesa:

Sensació provocada pel reforç del so a freqüències mitjanes.

El paràmetre objectiu que es correspon amb aquesta sensació és el terme mitjà del temps de reverberació de la sala a 500 Hz i 1KHz, com mostra la Figura 1:

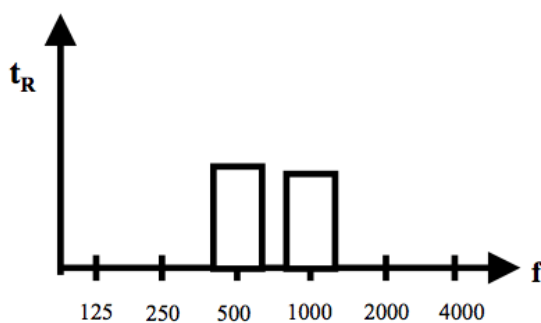


Figura 1

$$t_{R_m} = \frac{t_R(500\text{Hz}) + t_R(1000\text{Hz})}{2}$$

Els valors òptims d'aquest paràmetre en una sala per a la paraula, ocupada, estan entre 0,7 i 1,2 segons.

Com a complement d'aquest paràmetre, podem calcular el temps de reverberació òptim de la sala basant-nos en el seu volum:

$$t_{R_{op}} = 0.32 + 0.17 \log V$$

Si s'utilitza l'expressió subjectiva d'aquest paràmetre, es dirà que la sala és molt viva quan el temps de reverberació mesurat supera els 1,5 segons i molt seca quan aquest estiga per davall dels 0,5 segons.

Sonoritat o Reforç:

Es tracta de l'amplificació del so produïda per la sala i les seues condicions acústiques.

Per calcular aquest paràmetre objectivament s'ha de calcular, per una banda el factor d'intensitat del so (Strength Factor) i per l'altra el nivell de so de parla (Speech Sound Level).

Strength Factor:

És la relació entre el nivell sonor a la sala i el nivell que produiria la mateixa font sonora en camp lliure amb el receptor situat a 10 metres.

$$G_{mid} = LP_{sala} - LP_{campolibre(10m)}$$

Speech Sound Level:

És la relació entre el nivell sonor de la sala i el nivell que hi hauria en cas que la font sonora fóra un actor, amb el receptor a 10m.

$$S_{mid} = LP_{sala} - LP_{actor(10m)}$$

Els nivells òptims de sonoritat estan entre 4 i 8 dB per a una orientació frontal de l'actor i entre 2 i 6 dB quan aquesta és lateral, mesurant aquests nivells en un rang de freqüències entre 500Hz i 2KHz.

Claredat:

La claredat de la sala és el grau de distinció, per part del receptor, dels sons emesos de manera successiva, a l'anomenada sala.

Aquest paràmetre defineix en el seu càlcul objectiu el grau de distinció entre fonemes mitjançant la comparació entre l'energia, en recepció, primerenca i l'energia tardana, en un moment concret, utilitzant el temps de reverberació.

$$C_t = 10 \log \frac{\int_0^{t_t} p^2(t) dt}{\int_{t_t}^{\infty} p^2(t) dt} \quad C_t = -1 + e^{\frac{13.8t_t}{t_R}}$$

Queda definit per complet amb el càlcul a les diferents freqüències, paràmetre objectiu anomenat mitjana de parla (Speech Average):

$$C_{50} = 0.15C_{50}(500\text{Hz}) + 0.25C_{50}(1\text{kHz}) + 0.35C_{50}(2\text{kHz}) + 0.25C_{50}(4\text{kHz})$$

El seu valor ha de ser major a 2dB.

Definició:

Partint de la definició de claredat podem concretar el grau de distinció en la sala, amb aquest paràmetre:

$$D = 10 \log \frac{\int_0^{50 \text{ ms}} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}$$

Aquest paràmetre de càlcul objectiu, és anomenat relació primerenca a tardana (Early to late Ratio, ELR).

El valor d'aquest paràmetre per a una sala ocupada ha de ser major de 2dB.

Com s'ha esmentat a la introducció d'aquest punt, per obtenir qualitat acústica en una sala per a la paraula, és fonamental la correcta intel·ligibilitat del missatge emés. [7] [3]

Per al control d'aquest factor hi ha un conjunt de paràmetres d'estudi, dels diversos factors que la possibiliten.

%ALcons:

O pèrdua d'articulació de consonants.

Partint d'una relació senyal a soroll major a 25 dB, ens trobem amb dos casos:

Quan $D < 3.16 D_{\text{campobert}}$ $\%ALcons = \frac{200 D^2 t_R^2 N}{VQM}$

Quan $D > 3.16 D_{\text{campobert}}$ $\%ALcons = 9t_R$

Perquè la sala tinga una òptima intel·legibilitat. La pèrdua d'articulació de constants haurà de ser menor al 5%.

STI/RASTI:

Són paràmetres basats en la funció de transferència de la modulació i en la predicció de la pèrdua d'aquesta modulació en el so emés a la sala.

Es calcula a partir de 4 modulacions per a 500 Hz, a 1,2,4,8 Hz i 5 per a 2KHz a 0'71, 1'41, 2'8, 5'6 i 11'20 Hz, traent el terme mitjà (truncant).

Per a cada parella, banda – fm, s'ha de determinar el valor de l'índex de modulació i la predicció de pèrdua d'aquesta.

$$m_R = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2 \pi f t_R}{13 \cdot 8}\right)^2}} \quad m_{rf} = \frac{1}{1 + 10^{(-S/N)/10}} \quad m = m_R \cdot m_{rf}$$

$$(S/N)_{ap} = 10 \log \frac{m}{1-m} \quad STI = \frac{15 + \langle (S/N)_{ap} \rangle}{30}$$

També podem calcular-lo a partir del %Alcons:

$$STI = -0.1845 \ln(\%ALcons) + 0.9482$$

El correcte valor d'aquest paràmetre, a una sala ocupada, està per damunt de 0.65.

Relació Senyal a Soroll ponderada:

Ens dona la relació entre l'energia útil a la sala i l'energia interferent (soroll)

$$\mu = \frac{E_{útil}}{E_{perjudicial}} = \frac{\int_0^{95ms} p^2(t) \cdot a(t) \cdot dt}{\int_{95}^{\infty} p^2(t) \cdot dt}$$

Relació de primeres reflexions:

Aquest paràmetre indica el nombre de primeres reflexions existents a un punt determinat de la sala, cal que siga independent de la sala i uniforme en la superfície, llevat de la zona més pròxima a l'escenari.

$$ERR = \frac{E_{útil}}{E_{directa}} = \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) \cdot dt}{\int_0^{5ms} p^2(t) \cdot dt}$$

Cal que el seu valor estiga entre 2 i 6.

3.2.2 Sala per a l'audició musical

En el cas d'aquest tipus d'esdeveniment, el conjunt de paràmetres que caracteritzarà la sala, vénen definits a partir de la resposta a l'impuls de la sala i de la corba tonal descrita a partir d'aquest, que relaciona el comportament del temps de reverberació segons les freqüències.[7] [21]

Molts dels paràmetres que defineixen la qualitat de la sala destinada a aquest ús, ja han estat definits a l'apartat anterior, tornaran a esmentar-se, tenint en compte la variació en els valors per a una resposta òptima en aquestes.

Vivesa:

En aquest cas els valors òptims del t_{Rm} (500Hz – 1000Hz), per a una sala ocupada està entre:

- 1.8s – 2s Sala de música simfònica
- 1.6s – 1.8s Sala de música barroca i clàssica
- 1.3s – 1.7s Sala de música de cambra
- 1.2s – 1.5s Sala d'òpera

Calor:

Aquest paràmetre estudia el reforç relatiu de les baixes freqüències de so emés a la sala. Açò provoca la riquesa en sons greus i la suavitat de la música.

El seu estudi se centra en la resposta en freqüències menors o iguals a 1000Hz de la corba tonal. Per al seu càlcul s'utilitza el paràmetre objectiu Bass Ratio.

$$BR = \frac{t_R(125Hz) + t_R(250Hz)}{t_R(500Hz) + t_R(1000Hz)}$$

Els valors òptims d'aquest paràmetre estan entre 1'10 i 1'24 quan el temps de reverberació mitjà val 2'2 s i entre 1'10 i 1'45 quan aquest val 1'8 s aproximadament.

Brillantor:

Aquest paràmetre determina la riquesa de la sala en sons aguts, és a dir, el reforç relatiu de les freqüències altes del so, a la sala.

Es determina amb l'estudi de la corba tonal a partir de 500Hz.

$$Br = \frac{t_R(2000Hz) + t_R(4000Hz)}{t_R(500Hz) + t_R(1000Hz)}$$

El valor òptim d'aquest paràmetre està per sota dels 0'87, per a una sala ocupada.

Sonoritat:

Paràmetre important, definit a l'apartat anterior, però amb un valor de G_{mid} , que en aquest cas, oscil·la entre 4 i 5,5dB en la sala buida.

Si s'estudia el comportament del so emés a la sala al llarg del temps, també trobem una sèrie de paràmetres que en definiran la qualitat acústica.

Intimitat:

Es tracta, subjectivament, de la sensació de volum a la sala.

Amb l'"Initial Time Delay Gap", veurem el temps que passa entre l'ona directa emesa i la primera reflexió. Perquè aquest temps siga correcte, haurà de ser menor a 20ms.

Claredat:

Aquest paràmetre també és important per a l'avaluació de la sala adaptada per a l'audició musical, però en aquest cas el seu valor òptim d'ELR, ara adaptat a la claredat musical, (Music Average), estarà entre -4 i 0dB per a la sala buida i -2 i 2dB per a la sala plena. Aquest paràmetre es calcularà a partir de l'expressió:

$$C_{80}(\text{Music Average}) = (C_{80}(500\text{Hz}) + C_{80}(1\text{kHz}) + C_{80}(2\text{kHz}))/3$$

En el cas de la sala per a l'audició musical, aquest paràmetre determina la diferenciació entre els diferents sons que integren una composició musical.

Suport objectiu:

Aquest paràmetre, característic de l'escenari de la sala, estudia la facilitat proporcionada per aquest, als músics, d'escoltar-se a ells mateixos i a la resta de components de l'orquestra. Caldrà calcular el suport objectiu mitjà:

$$ST1 = 10 \log \frac{\int_{20 \text{ ms}}^{100 \text{ ms}} p^2(t) dt}{\int_0^{20 \text{ ms}} p^2(t) dt}$$

$$ST1_{mid} = \frac{ST1_{250 \text{ Hz}} + ST1_{500 \text{ Hz}} + ST1_{1000 \text{ Hz}} + ST1_{2000 \text{ Hz}}}{4}$$

El valor òptim d'aquest paràmetre a l'escenari (ST1mid) està entre -14 i -12,5dB.

La sensació d'especialitat, proporcionada per la sala, és a dir, els criteris binaulars, definits a partir de la directivitat de l'emissor i el receptor, ens dona una sèrie de paràmetres per caracteritzar la sala.

Factor d'energia lateral:

Lligat al paràmetre d'eficiència lateral mitjana (LFE4), defineix la impressió espacial del so oferida per la sala, és a dir, la sensació subjectiva d'amplitud de la font.

$$LE = LF = \frac{\int_0^{80} P_{\infty}^2 dt}{\int_0^{25} P_0^2 dt}$$

$$LF_{E4} = \frac{LF(125Hz) + LF(250Hz) + LF(500Hz) + LF(1kHz)}{4}$$

Cal que el seu valor siga menor a 0,19 per a la sala buida.

Correlació creuada interaural (IACC):

Aquest paràmetre aporta informació sobre la impressió espacial abans definida:

$$IACC_{E,L,T} = \max_{\tau} \frac{\int_{t_1}^{t_2} h_L(t) h_R(t + \tau) dt}{\sqrt{\int_{t_1}^{t_2} h_L^2(t) dt \int_{t_1}^{t_2} h_R^2(t) dt}} \quad (\tau \leq 1ms)$$

E (early): t1=0.05s i t2=0.08s

L (late): t1=0.08s i t2=1s

T (total): t1=0s i t2=1s

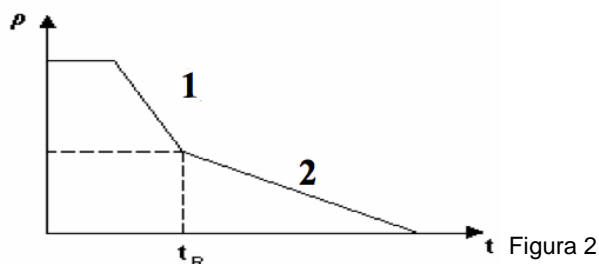
$$IACC_{E3(L3)} = \frac{IACC_{E3(L3)}(500Hz) + IACC_{E3(L3)}(1kHz) + IACC_{E3(L3)}(2kHz)}{3}$$

El valor òptim d'aquest serà quan (1 – IACC) siga aproximadament 0'70.

3.2.3 Sala per a la reproducció cinematogràfica

Les grans sales de reproducció cinematogràfica, com és el nostre cas, es caracteritzen per necessitar una resposta sonora, en el seu interior, que presente claredat per a la paraula, és a dir reforç de les reflexions de primer i segon ordre i adequació per a la música, controlant les reflexions més retardades per a crear un camp sonor difòs. [4] [7] [9]

Per tant, aquest tipus de sales presenten trets característics dels tipus de sales que hem definit als apartats anteriors, i necessiten una corba de doble pendent en el seu comportament, Figura 2:



En la sala adaptada per a aquest tipus d'esdeveniments es presenta un problema important, pel que fa a l'acoblament electroacústic entre la sala d'audiència i la sala on es troba el sistema de reproducció. Per reduir aquest efecte és necessari que la sala de reproducció siga especialment seca, és a dir, que el valor del temps de reverberació estiga per sota dels 0.5 s, en aquest cas, l'acoblament serà despreciable.

És acosellable que no existisquen al recinte grans superfícies reflectants situades paral·lelament, ja que produiran ecos flotants. En aquest cas, la sala ja es troba construïda i per tant, els efectes dels seus tancaments s'hauran de tractar a posteriori amb diverses solucions acústiques.

Es recomana la distribució de difusors en sales de grans mides, com és el cas d'aquest projecte, per tal tractar freqüències concretes que provoquen problemes amb els modes pròpis. També es recomana evitar les superfícies concaves o convexes en els sostres i parets per tal d'evitar focalitzacions. [7]

En una sala de nova construcció, es troben tabulades, segons la petjada de Bolt [4] les relacions entre les mides dels tancaments segons el volum de la sala, però en el nostre cas, la sala ja té unes dimensions definides així que en aquest cas s'intentarà l'adaptació de la sala a respectar aquestes proporcions:

V (m ³)	Lz	Lx	Ly
40-250	1	1'6	1'25
250-500	1	2'5	1'6
900-2500	1	3'2	2'5
>2500	1	3'2	1'25

Taula 0

A partir de les proporcions de la Taula 0 es calcularan les mides dels tancaments, utilitzant les següents relacions:

$$V = L_x L_y L_z$$

$$A = 2(L_x L_y + L_y L_z + L_x L_z)$$

$$L = 4(L_x + L_y + L_z)$$

Es calcularà la densitat de nodes pròpis amb:

$$dN_T = \left(\frac{4\pi V}{3c^3} f_N^2 + \frac{\pi A}{2c^2} f_N + \frac{L}{8c} \right) df_N$$

f_N és freqüència central de la banda d'estudi.

Pel que fa a la resta de paràmetres, es necessitarà una combinació dels valors òptims per a la sala quan està destinada a esdeveniments amb predomini de la paraula i la sala quan és per a l'ús musical.

Aquest tipus de sales té les seues condicions d'instal·lació i situació del sistema de reforç sonor, sistema de reproducció i zona d'audiència, fixades en una norma anomenada THX [7] [8] [9] [14]. Es tracta d'un estandard que regula les condicions a una sala cinematogràfica per tal que aquesta no influísca en el so de les reproduccions audiovisuals i per tant, s'escolte el so tal com ha estat enregistrat originalment pel director del material audiovisual.

En l'apartat del condicionament acústic de les sales cinematogràfiques, aquesta norma, a banda de recomanar una certa calidesa i lluentor a la sala, fixa les relacions òptimes del temps de reverberació segons la freqüència, que no dependrà del nombre d'espectadors:

Freqüència (Hz)	% del Tr a 500Hz
125	130
250	110
500	100
1000	90
2000	80
4000	70

Taula 1

Com podem observar a la Taula 1, es necessitarà una caiguda suau d'aquest, segons va augmentant la freqüència.

Aquesta taula assegura una minva suau del temps de reverberació, amb la freqüència, necessària, com ja hem explicat, en les sales de reproducció cinematogràfica.

Altres paràmetres que marcaran la qualitat acústica de la sala, són la calidesa i la brillantor que han de tindre un cert nivell per a que el recinte tinga una acollida del so, amb un correcte reforç de les baixes freqüències (BR) i dels aguts (Br). Com ja hem explicat abans, ja que comparteix aquests paràmetres amb la sala adaptada per a l'audició musical, aquests es troben definits per:

Calor:

$$BR = \frac{t_R(125Hz) + t_R(250Hz)}{t_R(500Hz) + t_R(1000Hz)}$$

Brillantor:

$$Br = \frac{t_R(2000Hz) + t_R(4000Hz)}{t_R(500Hz) + t_R(1000Hz)}$$

Amb aquestes necessitats, es comprova que les sales de reproducció cinematogràfica necessiten un compromís entre l'acústica de la sala destinada a l'audició verbal i la sala adaptada per a l'audició musical, ja que les reproduccions cinematogràfiques compten amb els dos factors. [4] [9]

Cal dir que la norma que regula les condicions de la sala per a la reproducció cinematogràfica [7] [8], inclou un gran nombre d'especificacions pel que fa al sistema de reforç sonor, localització d'aquest, la pantalla i les seues proporcions i localització i també centra una part del seu estudi en la situació de l'àrea d'audiència. Aquestes i moltes més directrius que conté la norma, estan enfocades a la construcció d'una sala de nou disseny, mentre que en el cas d'aquest projecte, es compta amb una sala ja construïda, en la que sols comprovarem les condicions acústiques, adaptant-se al pressupost limitat. Per tant, l'estudi teòric d'aquest tipus de variació de la sala, es limitarà a les especificacions acústiques de resposta en una sala ja construïda.

3.3 ADAPTACIÓ DE SALES D'ACÚSTICA VARIABLE

Com que el projecte estudia una sala prèviament contruïda per a la reproducció cinematogràfica, amb l'objectiu de condicionar-la acústicament perquè esdevinga una sala multifuncional, és a dir, una sala que podrà ser adaptada per a l'audició verbal, l'audició musical i la reproducció cinematogràfica; estudiem les tècniques més eficients per poder adaptar la sala a cada tipus d'esdeveniment, variant-ne l'acústica.[1] [7] [15]

Variació del volum de la sala

El temps de reverberació és un paràmetre molt important a l'hora de caracteritzar acústicament una sala per a un determinat ús. Un sistema eficient per a realitzar aquesta modificació és la instal·lació d'una sèrie de particions o mampares mòbils que permeten dividir la sala i així reduir el seu volum o crear dos subespais diferenciats. Aquests sistemes han de ser verticals i estar formats per materials acústics, que permetran la reducció del temps de reverberació.

Variació de l'absorció

Es tracta de l'alternativa més utilitzada, pel que fa a sistemes de variació del temps de reverberació.

Aquest mètode consisteix en la possibilitat de variació de l'absorció d'una àrea de la sala, comparable a la que es troba coberta per seients, el que dificulta la seua aplicació en sales de grans volums.

Per compondre aquesta superfície d'absorció variable, s'utilitzen:

- Cortines

Se situen davant de parets reflectants amb una densitat del seu material, superior a $0'5 \text{ Kg/m}^2$. Aquestes provoquen variacions del temps de reverberació a mitjanes i altes freqüències, així doncs, per aconseguir major efecte a baixes freqüències, s'hauria de situar a la màxima distància de separació del tancament.

- Plafons mòbils reflectants

Aquest mètode consisteix a cobrir el 50% de la paret amb material d'alta capacitat d'absorció i situar davant d'aquesta una sèrie de plafons reverberants amb mobilitat, a través d'una sèrie de guies, que deixen descoberta major o menor superfície absorbent, segons les condicions necessàries en cada cas.

- Plafons perforats superposats

Aquest mètode proporciona una caiguda del temps de reverberació, amb la creació d'un ressonador de múltiple cavitat, especialment, a la seua freqüència de ressonància.

Aquest es troba compost per la superfície del mateix tancament revestida de material absorbent, una superfície perforada fixa, que el recobreix, i una superfície perforada, mòbil també. Aquest sistema pot aïllar completament l'absorció quan les perforacions no es troben alineades.

- Plafons giratoris

Rotació 180°:

Plafons amb una cara reverberant i l'altra absorbent situats sobre la superfície absorbent del tancament. Permeten plegar-se 180° deixant en el seu interior, en posició tancada, la superfície reverberant i en la posició oberta l'absorbent, Figura 3.

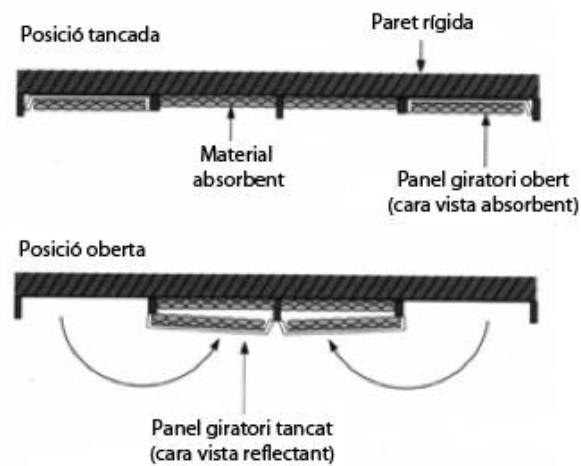


Figura 3

Rotació 90°:

Sols, pleguen 90°, s'aconsegueix major efecte, ja que en caben més i per tant, la superfície d'absorció és major, Figura 4.

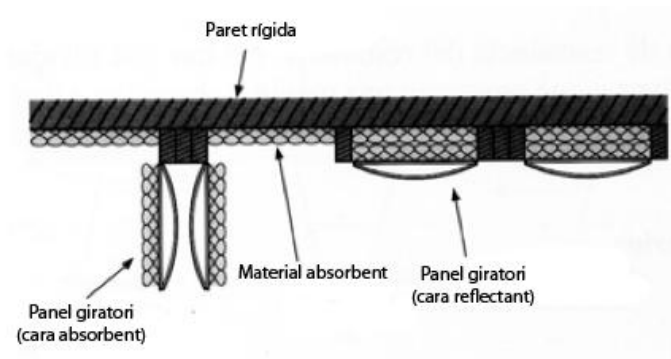


Figura 4

Rotació 360°:

Aquest sistema es compon de plafons amb tres cares, una absorbent, una altra difusora i una altra reflectora i permet el seu gir 360°, Figura 5.

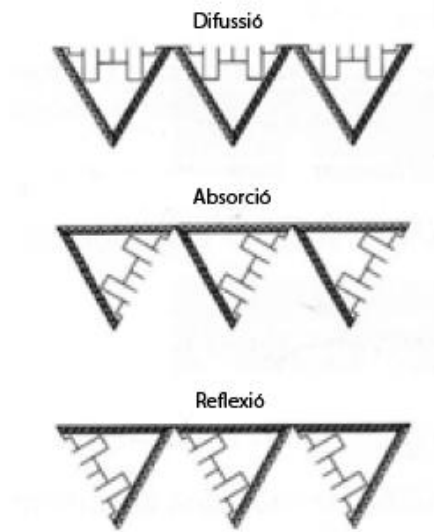


Figura 5

La utilització de mètodes d'augment de l'absorció, però, redueixen el nivell de pressió sonora a la sala i l'energia de les primeres reflexions, inconvenients davant dels mètodes de reducció de volum (més costosos i complexos), solucionables mitjançant un bon sistema de reforç de sonor.

3.4 MATERIALS

L'estudi de materials adequats per a la sala, se centrarà en l'estudi de materials acústicament absorbents. Aquests materials s'utilitzaran per al control dels fenòmens acústics produïts a la sala i les condicions acústiques d'aquesta, mitjançant el control de l'absorció.[1] [2] [6] [7] [14]

Els materials capacitats per a transformar energia acústica en energia calorífica, és a dir, en energia que es dissiparà, tenen una estructura interna fibrosa o porosa.

Aquests materials són eficients en l'absorció de freqüències que aconsegueixen que un quart de la seua longitud d'ona queda dins la superfície interna del material.

Per tant, es tindran dues alternatives d'instal·lació dels materials en cada cas:

1 - Situar material porós a $\lambda/4m$ del tancament
(Mètode òptim per a l'absorció de baixes freqüències)

2 - Situar $\lambda/4m$ de material porós units al tancament.

Utilitzant diverses superfícies, la combinació de sistemes d'instal·lació i materials amb diferents coeficients d'absorció, s'aconseguirà l'atenuació del rang de freqüències desitjat.

La combinació de diversos materials es decideix a partir d'un estudi dels diferents paràmetres que defineixen cada tipus de material, ens semblaran interessants, els següents:

La densitat: Fins a un cert punt, l'augment d'aquesta, suposarà l'augment de pèrdues per fregament i per tant, l'augment del coeficient d'absorció del material.

La porositat: Aquesta és una propietat del material molt lligada a l'anterior. Es tracta de la relació entre el volum ocupat per forats (aire) i el volum ocupat per material.

$$\sigma = \frac{V_a}{V_m}$$

En augmentar la porositat, augmenta l'índex de penetració de l'ona i en conseqüència, la quantitat d'energia dissipada en forma de calor, és a dir, augmenta el seu coeficient d'absorció, Figura 6.

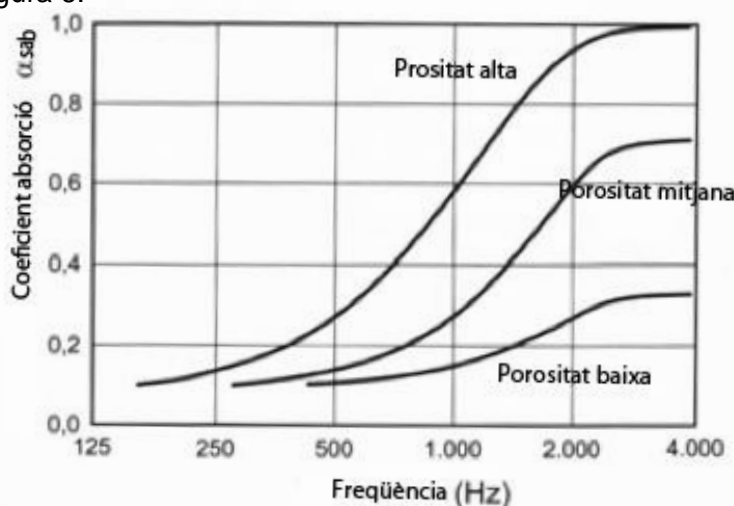


Figura 6

Caldrà tindre en compte que, per tal que aquests materials no actuen com a ressonadors, la distància entre forats (cas concret de porositat), haurà de ser menor a $\lambda/2m$ de la freqüència més alta que es vulga absorbir.

A l'hora de muntar aquests materials sobre els tancaments cal tindre en compte que els plafons de subjecció dels materials vibraran mecànicament i que haurem d'instal·lar suficient material absorbent per debilitar l'ona, a una raó de 2/3 de $\lambda/2m$, amb cura d'evitar la sintonia, per tant, jugarem amb la col·locació de diferents mesures de plafons amb diferents profunditats.

Una bona alternativa de muntatge, quan la quantitat de superfícies que s'ha de recobrir de material és superior a la que tenim disponible, serà la suspensió de materials al sostre, alternativa que serà molt adequada per a espais grans.

Una vegada muntats els materials, hauran de protegir-se dels usuaris de la sala, perquè aquests no provoquen danys en el material i al mateix temps perquè el deteriorament del material no afecte els usuaris.

Per a cobrir els absorbents, utilitzarem materials acústicament invisibles o que tinguen el menor efecte possible en les qualitats acústiques del material absorbent instal·lat. En aquests moments podem trobar al mercat, una sèrie de materials que acompliran aquestes condicions. Haurem de basar la nostra elecció en l'adaptació d'aquests a la resta de condicions de la nostra instal·lació. [2] [6] [7] [14]

Vel acústicament transparent:

Molts materials el porten incorporat en una de les cares dels plafons.

Superfície microporosa:

També ve projectat sobre el material absorbent, i presenta alta resistència a la humitat el que fa que es pugui llavar sense patir cap deteriorament, a més, és flexible i s'hi pot treballar fàcilment.

Plaques rígides de morter porós:

Aquest material té una gran resistència a impactes, i conserva una alta porositat. Material indicat per a sales on l'usuari està en contacte freqüentment amb els tancaments. Aquest material té l'inconvenient que a baixes freqüències pot comportar-se com un ressonador però a altes és transparent acústicament. El morter pot anar combinat amb el material absorbent en panells uniformes.

Plaques d'encenall de fusta:

Presenta una absorció elevada en conjunt amb el material, el seu comportament és uniforme excepte a la banda de 125Hz.

Una vegada estan les parets cobertes amb el material absorbent necessari per al correcte comportament acústic de la sala, passem a l'estudi del material que s'utilitzarà a la zona d'audiència, ja que és en aquesta superfície on es produirà el 75% de l'absorció total de la sala.

L'absorció produïda per una persona augmenta amb la freqüència, Taula 2:

Freqüència (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Persona dempeus amb abric	0,17	0,41	0,91	1,3	1,43	1,47
Persona dempeus sense abric	0,12	0,24	0,59	0,98	1,13	1,12
Músic assegut amb instrument	0,6	0,95	1,06	1,08	1,08	1,08

Taula 2

L'objectiu del nostre estudi serà fer que la zona d'audiència, principalment els seients, tinguin un coeficient d'absorció amb un valor suficientment alt perquè l'efecte de la sala plena, és a dir els seients amb persones, siga despreciable davant d'aquest.

Açò es produirà quan el coeficient d'absorció d'una persona, siga despreciable davant del de la cadira utilitzada a la sala.

L'absorció de les cadires augmenta amb la superfície que ocupa, és a dir, importa més la quantitat de superfície ocupada per cadira, que el nombre de cadires existents. La superfície efectiva de cada seient serà:

$$S_{ef} = S_{real} + 0.5 \text{ (per cada costat)}$$

A l'hora de triar el tipus de seient per a la sala, serà molt important veure el comportament de la seua absorció, Taula 3, segons les freqüències.

FREQÜÈNCIA (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Seients amb alt percentatge de superfície amb tapisseria	0,72	0,79	0,83	0,84	0,83	0,79
Seients amb percentatge mitjà de superfície amb tapisseria	0,56	0,64	0,70	0,72	0,68	0,62
Seients amb baix percentatge de superfície amb tapisseria	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55

Taula 3

Com es pot observar a la Taula 4, en el tipus de seient amb molta tapisseria, l'efecte d'ocupació d'aquesta és pràcticament despreciable:

FREQÜÈNCIA (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Seients amb alt percentatge de superfície amb tapisseria	0,76	0,83	0,88	0,91	0,91	0,89
Seients amb percentatge mitjà de superfície amb tapisseria	0,68	0,75	0,82	0,85	0,86	0,86
Seients amb baix percentatge de superfície amb tapisseria	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86

Taula 4

3.5 DISSENY DE RESSONADORS, REFLECTORS I DIFUSORS

Per a aconseguir les condicions acústiques necessàries a la sala, detallades anteriorment, a banda dels materials, estudiarem la distribució a la sala, d'una sèrie de dispositius per al control d'aquestes condicions. [1] [6] [7]

3.5.1 Ressonadors

Els utilitzarem per controlar l'absorció a baixes freqüències, rang on els materials absorbents són ineficients. Aquests dispositius compten amb una resposta molt selectiva, presentant una absorció màxima en un valor freqüencial concret, normalment, per sota dels 500 Hz. Trobarem ressonadors de diversos tipus:

Ressonadors de membrana:

Consisteixen en una placa situada a una certa distància d'un tancament o d'una altra superfície, com mostra la Figura 7.

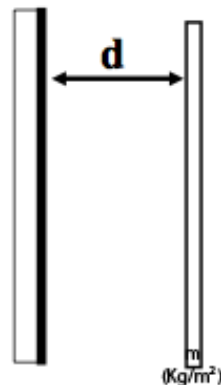


Figura 7

Per poder controlar la freqüència amb la màxima eficiència d'absorció, el dissenyarem seguint la següent condició:

(Per a plafons amb un gruix màxim de 20mm)

En el cas de l'estudi de les ones d'incidència normal:

$$f_0 = \frac{600}{\sqrt{m d(cm)}}$$

Per a la col·locació de ressonadors per al control de les ones amb incidència obliqua o l'estudi del comportament del ressonador davant les ones amb aquesta incidència (45°)

$$f_0 = \frac{850}{\sqrt{m \cdot d}}$$

Si el dispositiu que dissenyarem compta amb la cambra d'aire plena de material absorbent amb una certa porositat (σ), la selectivitat del dispositiu minvarà, augmentant

el rang de freqüències a què afecta.

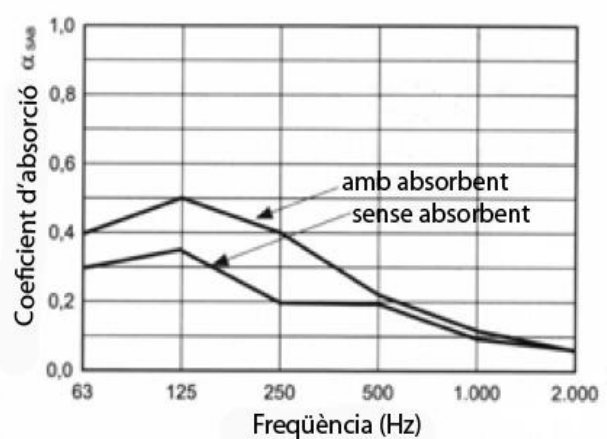
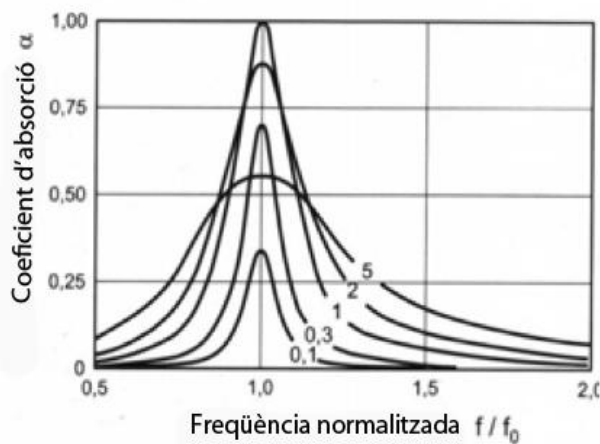
$$f_0 = \frac{500}{\sqrt{m \cdot \sigma \cdot d}}$$

Per concretar en quin rang de freqüències treballen els ressonadors d'aquest tipus, calcularem també la freqüència de ressonància més baixa de la placa, que prendrem com la freqüència de ressonància de la placa i a partir d'aquesta, la global del sistema unidimensional:

$$f_1 = 0.45 \cdot c_L \cdot \frac{h}{L^2}$$

$$f_{res} = \sqrt{f_0^2 + f_1^2}$$

Obtenint l'absorció observada a les Figures 8 i 9, a aquestes freqüències:



El cas del ressonador amb la cavitat d'aire plena de material absorbent, ens permetrà aconseguir una corba d'absorció variable, obtenint una major selectivitat del sistema amb la seua absència i un suavitzat de la corba afegint material a la cavitat.

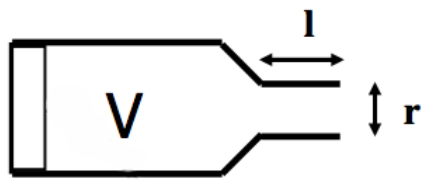
Ressonadors de cavitat simple:

Aquests ressonadors permeten l'absorció de modes propis de la sala, mentre actuen com a difusors a mitjanes i altes freqüències.

Aquest sistema consisteix en una sèrie de ressonadors de cavitat simple individuals, component un conjunt o bateria, amb un volum total compartit.

Com en el cas anterior, es podrà controlar el rang de freqüències de treball amb la introducció de material absorbent en les cavitats, Figura 10, que provocarà, però, una menor absorció a f_0 .

Es calculen les condicions de disseny a partir de la freqüència de treball, utilitzant:



$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V l'}}$$

$$l' = l + 1,6 r$$

Figura 10

Obtenint una amplària de banda de treball del resonador:

$$\Delta f_{-3dB} = \frac{8 \cdot \pi^2 \cdot c \cdot V}{\lambda_0^4}$$

Aconseguint absorcions, com s'observa a la Figura 11, de:

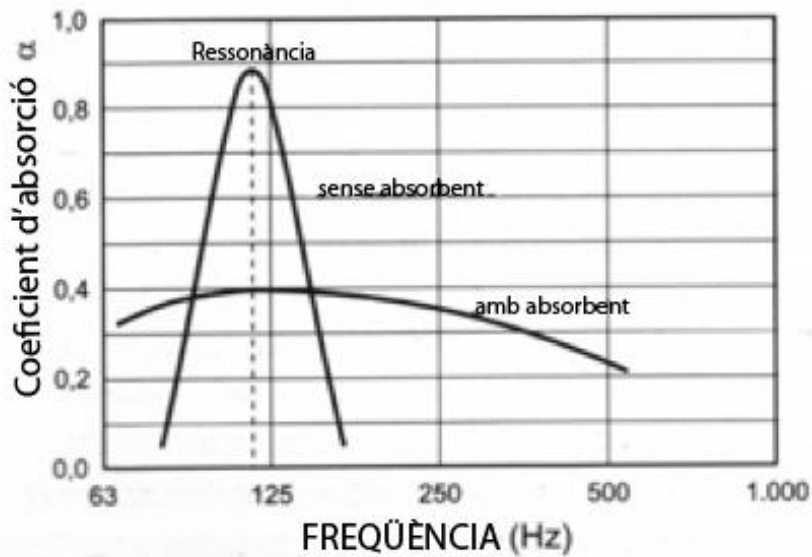


Figura 11

Ressonadors múltiples de cavitat:

- A base de plafons perforats, Figura 12:

Plafó perforat de material no porós i rígid d'un gruix determinat (D), muntat a una certa distància d'un tancament (d).

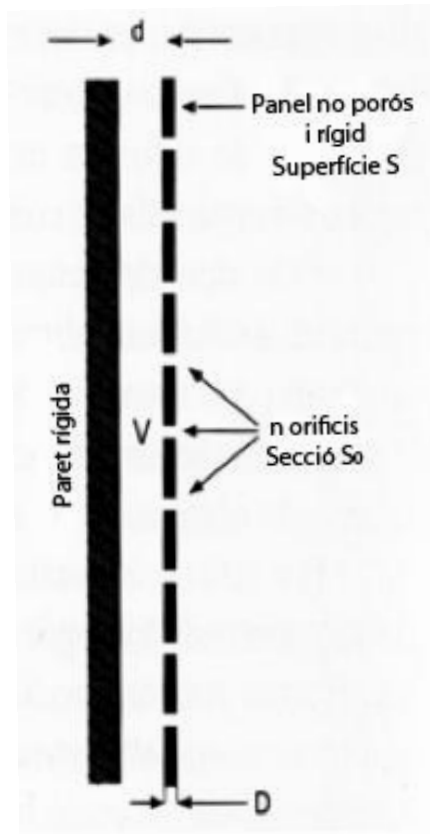


Figura 12

En aquest cas, tots els ressonadors comparteixen un mateix volum, cavitat, que actua com a acoblador entre orificis, el que produeix una menor selectivitat en l'absorció.

El seu comportament és semblant al d'un ressonador de membrana, substituint la massa del plafó per la massa d'aire de cada perforació:

$$f_o = \frac{c}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{S_o}{L' \cdot S \cdot \frac{h}{n}}}$$

Obtenint una absorció, que dependrà de la posició de col·locació del material, Vegem els dos casos extrems a la Figura 13, més prop a més lluny, dels forats:

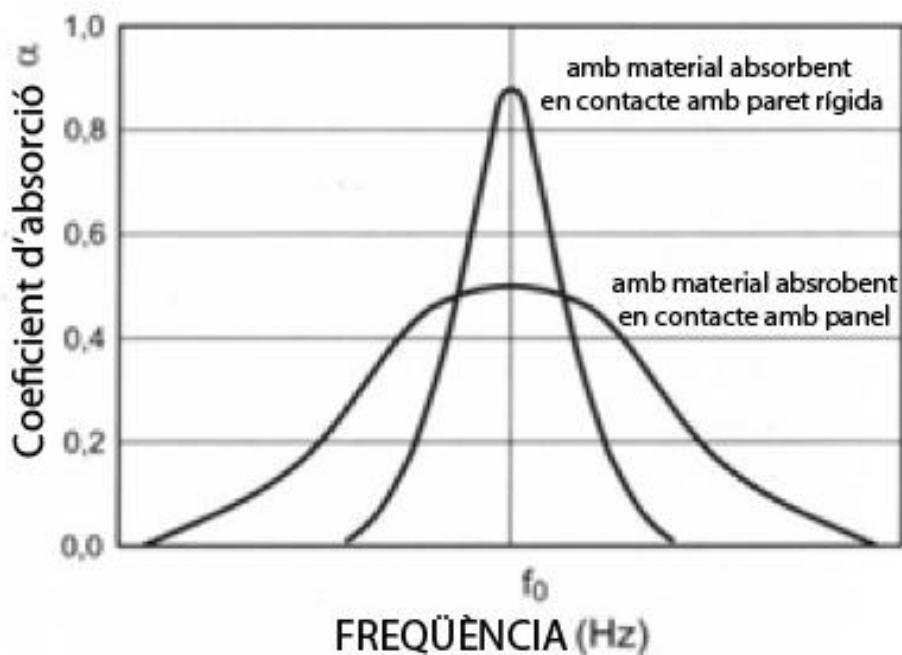


Figura 13

- A base de llistons:

Plafó compost per llistons equiespaiats amb comportament i condicions de disseny i absorció anàlegs als dels ressonadors amb plafons perforats, Figura 14:

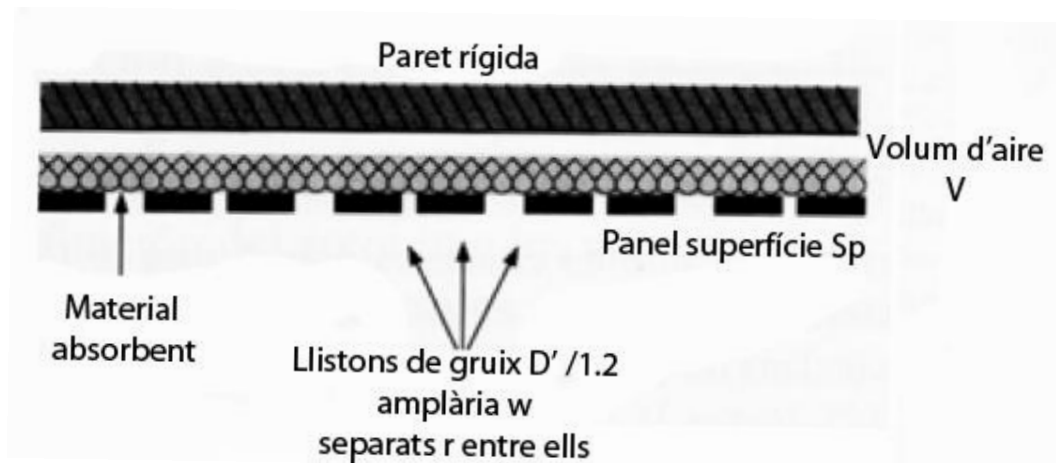


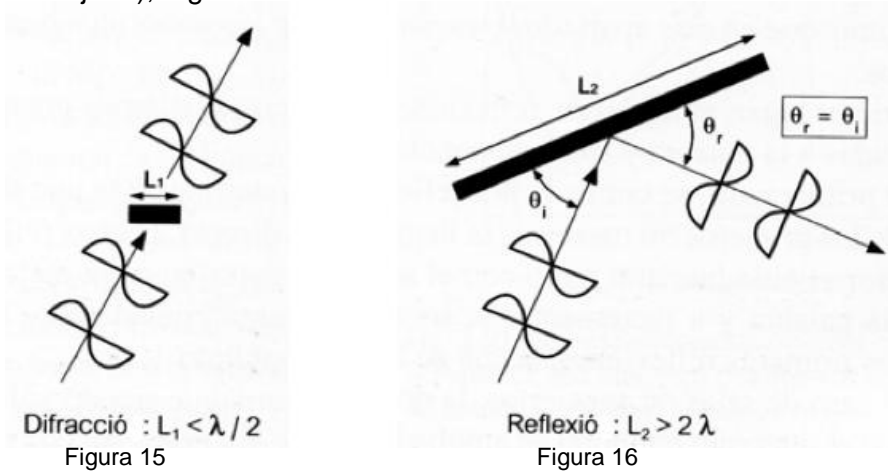
Figura 14

$$f_o = 5480 \sqrt{\frac{S}{D'V}} \quad S = \frac{r}{r+w} \cdot S_p$$

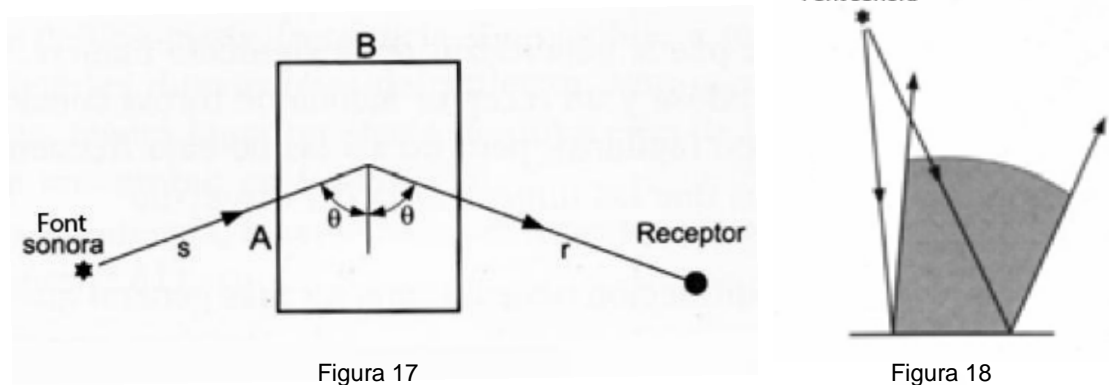
3.5.2 Reflectors

Aquests dispositius permeten el control de la difracció del so a la sala i per tant, la seua dispersió. [7]

Es necessitaran reflectors amb una mida major a la longitud d'ona del so incident que no volem que es difracte, Figura 15, aconseguint reflexió (reconduint els rajos sonors en la direcció desitjada), Figura 16.



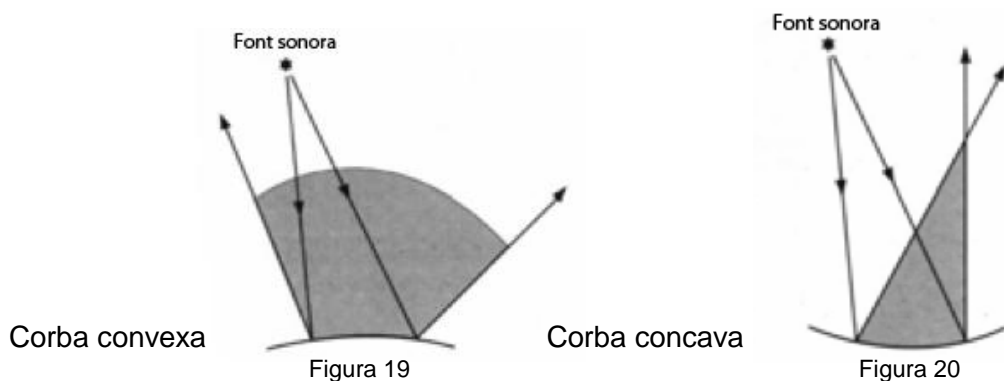
- Reflectors plans, Figures 17 i 18:



- Reflectors de corba:

Corba convexa. Produeixen una major dispersió davant dels plans i poden comportar-se com a difusors si el seu radi $< 5m$, Figura 19.

Corba còncava: Podem produir focalitzacions del so, Figura 20.



3.5.3 Difusors (o Dispensors)

La difusió és un paràmetre important en la mesura de la qualitat acústica d'una sala, per tant, el que es pretén aconseguir amb el seu control és una optimització de les condicions acústiques de la sala perquè la uniformitat del so en totes les direccions permeta una correcta aplicació de les millores acústiques (arquitectòniques i de reforç sonor):

Per aconseguir difusió en una sala, es disposa de diversos mètodes, com el trencament de paral·lelismes entre tancaments, la distribució de materials absorbents, irregularment i la instal·lació de difusors a la sala, que el so interpreta com a irregularitats dels tancaments.

El disseny d'aquests dispositius permetrà el redireccionament i dispersió del so. Se'n troben de diversos tipus, però en aquest cas interessarà l'estudi i disseny dels difusors de fase o de Schroeder.[7]

Difusors de fase

Aquestes estructures permeten el control de la dispersió del so en una sala a partir dels principis de les xarxes òptiques de difracció.

Consisteixen en una sèrie d'enfonsaments que modifiquen la fase del front d'ona (cadascuna d'aquestes), ja que existeix una diferència de recorregut per cada porció d'aquest. Per tant, les reflexions resultants són una interferència de les diferents porcions d'ona, proporcionant una dispersió del so controlada.

Segons la seqüència matemàtica utilitzada per al càlcul del valor de les seues enfonsaments, en les condicions de disseny, els podem classificar en:

- Difusors MLS:

Basat en la seqüència pseudoaleatòria periòdica: -1 i +1

Sistema format per una superfície llisa reflectant on, per als valors -1 la superfície es queda inalterada i per a valors de +1 es crea una ranura en aquest tram, d'amplària:

$$w = \frac{\lambda}{2} \text{ i profunditat: } d = \frac{\lambda}{4}.$$

Aquests dispositius sols resulten útils en l'interval d'una vuitena de la freqüència de disseny.

- Difusors QRD:

1. Unidimensionals:

Dissenyats a partir d'una seqüència matemàtica prefixada basada en els residus quadràtics: ($n=0\dots P-1$; P =nombres primers)

$$S_n = n^2 \text{ mod } P$$

Exemple P=7, Taula 5:

n	0	1	2	3	4	5	6
n^2	0	1	4	9	16	25	36
$S_n = n^2 \bmod 7$	0	1	4	2	2	4	1

Taula 5

Es tracta d'una superfície reflectant amb una sèrie de ranures paral·leles de forma rectangular amb la mateixa amplària i valor de profunditat corresponent a la seqüència.

2. Bidimensionals:

Basats en la seqüència:

$$S_{\min} = (m^2 + n^2) \bmod P$$

El seu objectiu és una òptima difusió del so que ve de totes les direccions.

- Difusors PRD:

Basats en la seqüència que utilitza l'arrel primitiva: (g=arrel primitiva de P)

$$S_n = g^n \bmod P$$

Són anàlegs als difusors QRD però presenten una reflexió especular pràcticament nul·la.

Per al disseny d'aquests sistemes (els seus enfonsaments) seguirem el següent procediment de càlcul, caracteritzat segons la seqüència numèrica base del tipus de difusor:

1. Seqüència de profunditats:

$$d_n = \frac{S_n}{2N} \frac{c}{f_o}$$

2. Freqüència de disseny: (m_{\max} =ordre màxim de difracció)

$$f_o = \frac{c \cdot m_{\max}}{N \cdot w}$$

3. Freqüència màxima de dispersió:

$$f_{\max} = \frac{c}{2w}$$

Un cop s'han revisat els conceptes previs necessaris, es procedeix a l'explicació dels procediments i especificacions, que s'han de seguir en els processos experimentals, per a la correcta obtenció dels resultats en les mesures i aplicació de solucions.

Es voran les normes que s'han de seguir en l'elecció de posicions de les mesures i el procediment global del que formen part, la intervenció acústica, on s'esmentaran els passos que la componen, introduint així punts posteriors de la composició del projecte.

3.4 ESPECIFICACIONS DE LES MESURES

Per obtindre els valors necessaris per al càlcul dels paràmetres que definiran la qualitat acústica de la sala i la seua desviació dels valors òptims, es necessitaran una sèrie de mesures al recinte.

Aquestes posicions es troben regulades normativament i han estat estudiades de manera profunda i aplicades en diversos casos pràctics en l'assignatura de Disseny acústic de Recintes [7]. Com a s'ha vist durant l'estudi de la mateixa, les especificacions de les posicions, asseguren una intervenció correcta dels tancaments sobre els nivells registrats i un recull suficientment ample de resultats amb la separació de posicions de font i de micròfons entre ells, en els diversos casos.

Les limitacions per a l'elecció de les posicions de font i de micròfons per realitzar les mesures a la sala, són les següents:

Mesures generals:

Punts de càlcul:

Nombre de punts = 6 (denominats 01 a 06 CATT-Acoustic) (1 a 3 i 1 a 3 a l'esquema)

Altura dels punts respecte al sòl de la sala = 1,6 m

Font sonora:

Tipus de font: omnidireccional

Nombre de punts d'ubicació de la font sonora = 2 (denominats B0 i B1 CATT-Acoustic) (FONT 1 i FONT 2 a l'esquema)

Altura de la font respecte al sòl de la sala = 1,5 m

Situació dels punts:

FONT 1: Sobre l'eix longitudinal del recinte, a una distància de 3,79 m del límit de l'escenari més proper al públic.

FONT 2: Sobre l'eix longitudinal del recinte a una distància de 8,33 m del límit de l'escenari més proper al públic.

Les especificacions de les distàncies dels punts, justificació de situació de les fonts sobre el sòl de la sala i esquema de configuració es troben detallades a l'apartat 4.

3.5 PROCEDIMENT PER A LA INTEVENCIÓ ACÚSTICA

1 - Comprovació de condicions inicials de la sala, amb la mesura principal del temps de reverberació *in situ* (Procediment de mesura del temps de reverberació d'una sala).

2 - Càcul de l'absorció necessària per aconseguir el temps de reverberació, òptim per a la sala i comparació d'aquesta amb l'absorció actual de la sala.

3 - Composició d'una sèrie de solucions acústiques per al control del temps de reverberació, segons les freqüències d'interés, tenint en compte la forma, distribució i volum. Escollirem els materials i dispositius i la distribució.

4 - Mitjançant una sèrie de programes de simulació, composició d'una predicció de les condicions finals de la sala, objecte de la intervenció, solucionant els possibles problemes que puguem sorgir en l'aplicació de les solucions prèviament compostes, en aquest punt.

4. MESURES

Per poder començar a prendre mesures a la sala s'ha de comptar amb l'equip necessari, per obtenir els resultats desitjats. Per aconseguir aquest equip de mesura, s'ha de seguir un rigorós procediment.

Després d'emplenar la documentació necessària per a ser donats d'alta com a projectistes del departament corresponent a la disciplina en què se centra el projecte i que aquesta documentació s'haja acceptat i notificat als diversos laboratoris, s'ha d'emplenar un full de reserva de material amb els aparells que es necessitaran per a prendre les mesures necessàries (Annex I) amb les dades del projectista i les del tutor acadèmic del projecte. El dia i hora presents al full de reserva recollim el material i comprovem el seu correcte funcionament abans de treure'l del laboratori, procediment que haurem de repetir en el moment de la devolució d'aquest.

En el cas d'aquest projecte, per la incorrecta comprovació inicial del material, les mesures van ser problemàtiques i s'hagueren de repetir en una altra sessió, com a conseqüència de l'incorrecte funcionament de la font, el que va retardar molt el desenvolupament del projecte. Per tant, és molt recomanable una profunda comprovació abans d'acceptar el material del laboratori. Finalment, comptant amb part del material de la universitat i part de material particular, es van aconseguir els resultats dels paràmetres que es necessitaven mesurar.

La sala compta amb una superfície aprox. de 306m^2 i un volum aprox. de 452m^3 equipada per donar seient a 460 espectadors.

POSICIÓ 1: Font situada a 3,79m de l'escenari (tancament frontal), 5,42m del tancament lateral de la dreta, a 4,83m del tancament lateral de l'esquerra i a una altura del sòl d'1,5m.

POSICIÓ 2: Font situada a 8,33m de l'escenari (tancament frontal), 5,37m del tancament lateral de la dreta, a 4,88m del tancament lateral de l'esquerra i a una altura del sòl d'1,5m.

Per a cadascuna de les posicions de la font, s'han pres els punts de situació de micròfon següents:

FONT 1 :

POSICIÓ 1 : Situat a 5,57m de l'escenari (tancament frontal), 7,10m del tancament lateral de la dreta, a 3,21m del tancament lateral de l'esquerra i a una altura del sòl d'1,6m.

POSICIÓ 2 : Situat a 5,57m de l'escenari (tancament frontal), 3,23m del tancament lateral de la dreta, a 7,05m del tancament lateral de l'esquerra i a una altura del sòl d'1,6m.

POSICIÓ 3 : Situat a 8,33m de l'escenari (tancament frontal), 5,37m del tancament lateral de la dreta, a 4,88m del tancament lateral de l'esquerra i a una altura del sòl d'1,6m.

Esquema representat a la Figura 21.

FONT 2 :

POSICIÓ 1 : Situat a 3,79m de l'escenari (tancament frontal), 5,42m del tancament lateral de la dreta, a 4,83m del tancament lateral de l'esquerra i a una altura del sòl d'1,6m.

POSICIÓ 2 : Situat a 5,57m de l'escenari (tancament frontal), 7,10m del tancament lateral de la dreta, a 3,21m del tancament lateral de l'esquerra i a una altura del sòl d'1,6m.

POSICIÓ 3 : Situat a 5,57m de l'escenari (tancament frontal), 3,23m del tancament lateral de la dreta, a 7,05m del tancament lateral de l'esquerra i a una altura del sòl d'1,6m.

Esquema representat a la Figura 22.

Les posicions de font s'han fixat, limitades per l'accés a la zona de l'escenari, ja que el complicat accés interior ha impossibilitat el pas de la font, de grans dimensions i l'elevació de la font des del sòl de la sala fins a l'escenari per la vora, ha semblat massa perillós per al material de mesura. A banda d'açò, la superfície d'aquest no es troba en bones condicions per situar material tècnic amb una seguretat total del seu benestar. Per tant, les posicions de font han estat preses sobre la zona principal d'audiència de manera pròxima a l'escenari, respectant les normes de distància amb els tancaments. Les posicions de micròfon s'han pres de manera complementària en cadascuna de les posicions de font amb la finalitat de tindre uns resultats uniformes en la mida del que és possible a la sala.

El conjunt de posicionaments dels punts de mesura deixa, finalment, els esquemes de les pàgines següents:

FONT 1

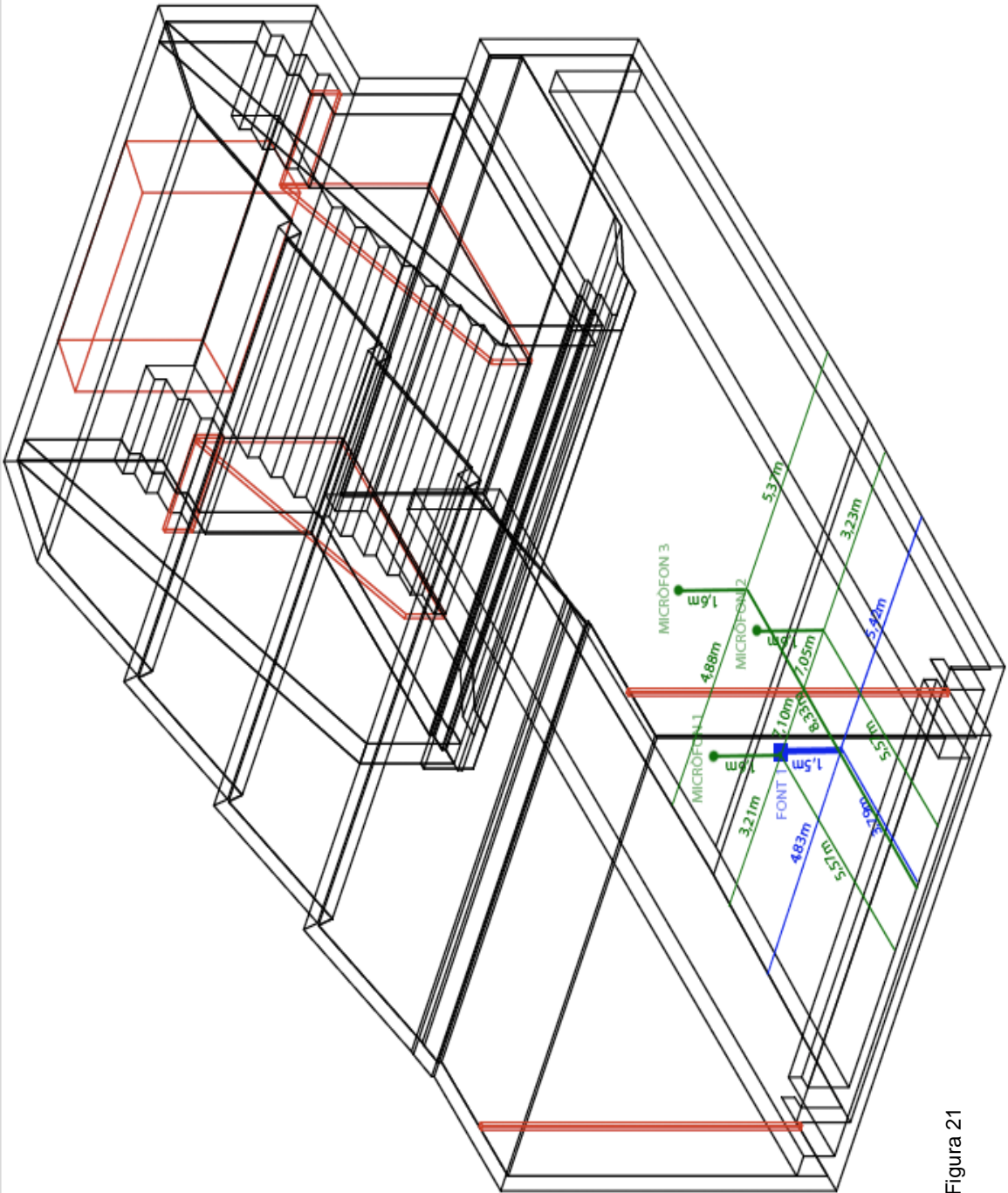


Figura 21

FONT 2

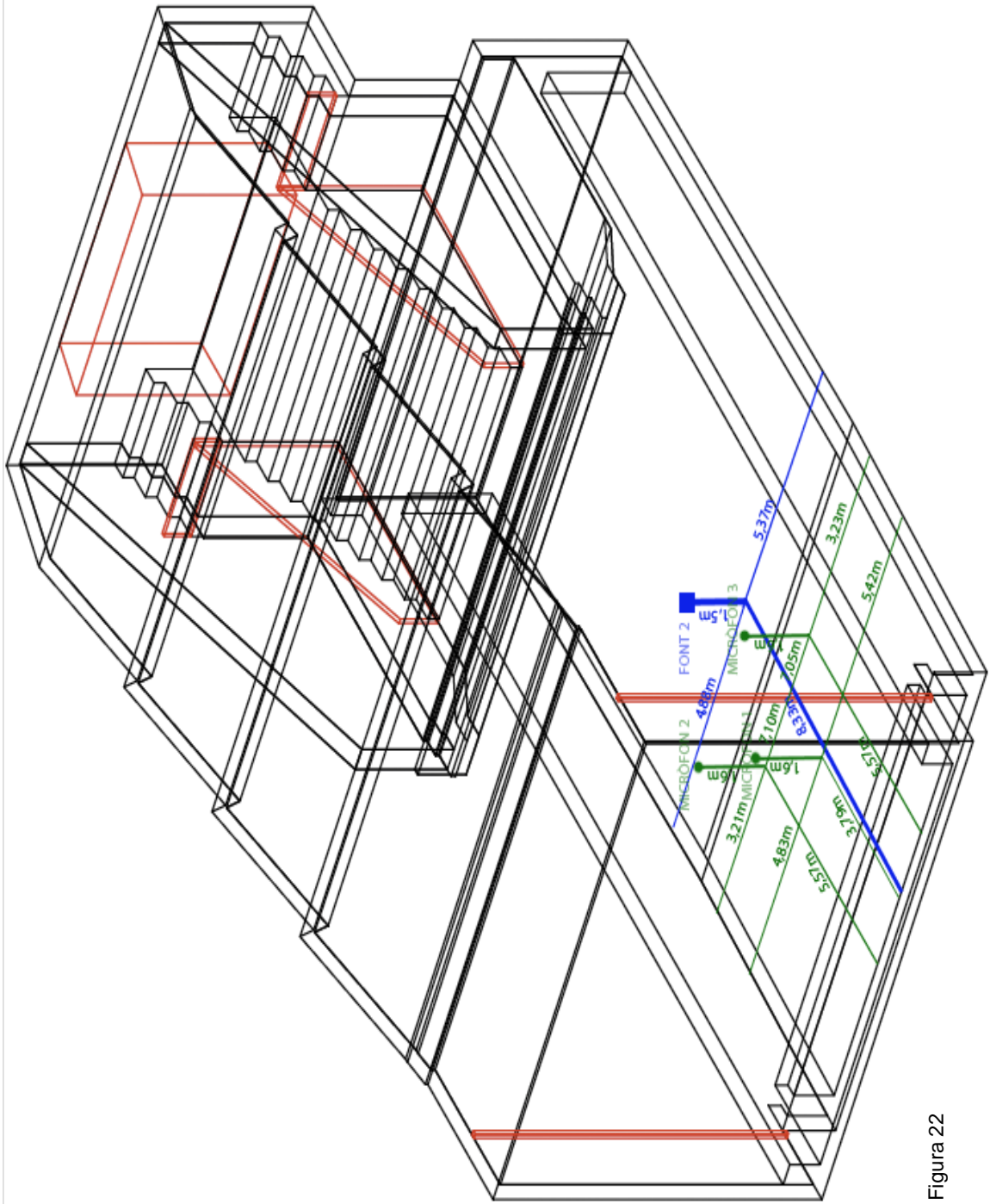


Figura 22

5. CONDICIONS INICIALS

Els resultats de les mesures, procediment detallat a l'apartat anterior, són una sèrie de valors de temps de reverberació a les diverses freqüències d'estudi Taules 6 i 7. Aquests valors, ordenats en taules, ens mostren la resposta a l'impuls sonor que presenta la sala, per a cada freqüència, donant-nos les eines necessàries per calcular els principals paràmetres que defineixen la qualitat acústica de la sala.

Analitzarem, doncs, els resultats i per tant, l'aptitud de la sala, per acollir cadacun dels tipus d'esdeveniments, segons la seua naturalesa acústica, segons els valors obtinguts del càlcul de cada paràmetre.

A les següents pàgines es veurà, en primer lloc, les taules amb els resultats de temps de reverberació a la sala per a cada freqüència en cadascuna de les posicions de font i per a cadascuna d'aquestes, els resultats per freqüències a cada posició de micròfon. Tot seguit es presenta una taula amb els valors totals, com a resultat de la mitjana dels valors de cada posició, així obtenim els valors representatius del temps de reverberació a la sala.

A partir d'aquestes s'analitzaran l'adaptació dels valors obtinguts, als valors òptims per a cada tipus d'esdeveniment: paraula, música o reproducció cinematogràfica, a partir del càlcul dels paràmetres necessaris, per avaluar l'estat actual de la sala.

VALORS DE TEMPS DE REVERBERACÓ MESURATS A LA SALA

RESULTATS PER A LA PRIMERA POSICIÓ DE FONT:

FONT 1	125Hz	160Hz	200Hz	250Hz	315Hz	400Hz	500Hz	630Hz	800Hz	1kHz	1.25kHz	1.6kHz	2kHz	2.5kHz	3.15kHz	4kHz
1	2,06	1,48	2,22	1,24	1,48	1,18	0,93	1,66	1,67	0,92	0,82	0,84	0,68	0,67	0,60	0,49
2	3,39	2,27	2,54	3,47	1,85	1,92	1,10	0,99	0,97	0,77	0,68	0,77	0,67	0,66	0,63	0,49
3	2,24	1,71	1,98	1,56	1,28	1,32	0,94	1,06	1,01	0,99	0,83	0,72	0,68	0,69	0,61	0,52

Taula 6

RESULTATS PER A LA SEGONA POSICIÓ DE FONT:

FONT 2	125Hz	160Hz	200Hz	250Hz	315Hz	400Hz	500Hz	630Hz	800Hz	1kHz	1.25kHz	1.6kHz	2kHz	2.5kHz	3.15kHz	4kHz
1	3,41	3,80	4,30	1,44	1,22	1,24	0,97	1,12	0,88	1,03	0,97	0,76	0,85	0,65	0,57	0,61
2	3,59	1,53	0,93	1,46	1,48	1,41	2,42	1,01	1,20	0,90	0,98	0,88	0,81	0,71	0,61	0,52
3	2,79	3,05	1,17	2,22	2,41	1,98	0,83	1,10	1,05	0,69	0,73	0,84	0,72	0,72	0,52	0,53

Taula 7

RESULTATS TOTALS

125Hz	160Hz	200Hz	250Hz	315Hz	400Hz	500Hz	630Hz	800Hz	1kHz	1.25kHz	1.6kHz	2kHz	2.5kHz	3.15kHz	4kHz	
TOTAL	2,91	2,30	2,19	1,90	1,62	1,51	1,20	1,16	1,13	0,88	0,83	0,80	0,73	0,68	0,59	0,53

Taula 8

Les condicions inicials que trobem per als diversos tipus de sales, calculats a partir dels resultats total, Taula 8, són els següents:

5.1 SALA PER A LA PARAULA

Com ja es va veure en la introducció teòrica, la principal característica d'una correcta sala per a l'audició verbal, és la comprensió, per part del públic, del missatge emés des de l'escenari. És a dir, la intel·ligibilitat de les paraules emeses a la sala i per tant la correcta distinció entre els fonemes que la formen. Per mesurar la qualitat de la sala en aquest aspecte s'estudien els paràmetres més importants que la defineixen, com ja es va veure en anteriors apartats.

Vivesa:

Aquest paràmetre permetrà avaluar el reforç que experimenta el so directe a la sala. En aquest cas s'obté un temps de reverberació a 500Hz d'1,20 segons i de 0,88 segons a 1000Hz, per tant:

$$t_{R_m} = \frac{1,20 + 0,88}{2} = 1,04_{segons}$$

Com a complement, es calcula el temps de reverberació òptim d'aquesta sala:

$$t_{R_{op}} = 0,32 + 0,17 \log(451,5356) = 0,77_{segons}$$

Com es pot observar, el t_{R_m} es troba al límit del que es pot considerar acceptable, és a dir, el rang entre els 0,7 i 1,2 segons. En aquest cas es pot considerar que la sala és excessivament viva per al seu volum, com es comprova amb el càlcul del temps de reverberació òptim per a la sala que estem estudiant, que dona un resultat que suggereix la necessitat d'una sala molt més seca.

Claredat:

Amb aquest paràmetre es valorarà la distinció entre sons emesos consecutivament. Amb els resultats a la sala que s'observen a la Taula 9, es calcularà el paràmetre als 50ms per tal d'obtindre, a partir d'aquest, el paràmetre de mitjana de parla o Speech Average. Es calcularà aquest paràmetre a partir dels resultats de temps de reverberació arreplegats amb el sonòmetre en la banda de frèqüències d'estudi necessàries per al seu càlcul:

	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
t_R (s)	1,20	0,88	0,73	0,53

Detall Taula 8

$$C_{50} = -1 + e^{\frac{13,8 \cdot 50 \cdot 10^{-3}}{t_R}}$$

	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
C50	0,780	1,184	1,565	2,722

Taula 9

$$C_{50} = 0,15 \cdot 0,780 + 0,25 \cdot 1,184 + 0,35 \cdot 1,565 + 0,25 \cdot 2,722 = 1,641$$

$$C_{50} \text{ (dB)} = 10 \log(1,641) = 2,15 \text{ dB}$$

En aquest cas, es necessita que el valor de Speech Average supere els 2 dB i a aquesta sala el valor està lleugerament per dalt d'aquest límit.

%ALcons:

La pèrdua d'articulació de consonants de la sala haurà de ser menor al 5% per obtenir una correcta intel·ligibilitat dels missatges orals, a la sala.

$$\%ALcons = 9 \cdot 1,04 = 9,36 \%$$

En el cas d'aquesta sala, la pèrdua de consonants és massa alta i per tant no es distingiran correctament les paraules de l'orador.

STI:

Calcular aquest paràmetre dóna una idea de la pèrdua de la modulació del so a la sala, obtés a partir de l'anterior paràmetre de pèrdua d'articulació de consonants %Alcons.

$$STI = -0,1845 \cdot \ln(9,36) + 0,9482 = 0,536$$

El valor es troba per sota dels 0,65 mínims per a una pèrdua de modulació acceptable.

Es troben diversos paràmetres que, en aquests moments, demostren que la sala no presenta unes bones condicions acústiques per acollir esdeveniments amb predomini de la paraula, per tant, aquesta s'haurà de modificar, per tal d'adaptar els valors allunyats dels òptims, sense perdre la correcció dels que ja es troben dins del rang de qualitat.

En el cas del tipus de sala per a la paraula, els resultats més preocupants es troben en l'alta pèrdua d'articulació de consonants i de modulació, observant que la resta de valors es troben al límit de les condicions per a una sala d'aquest tipus amb un òptim condicionament acústic.

5.2 SALA PER A LA MÚSICA

Vivesa:

En aquest cas, el valor del t_{R_m} a la sala no arriba a les condicions mínimes per a una sala òptima per a l'audició musical, ja que es queda per davall d'un temps d'1,2 segons.

$$t_{R_m} = \frac{1,20 + 0,88}{2} = 1,04_{\text{segons}}$$

Com ja hem calculat abans, el temps de reverberació òptim de la sala tampoc s'adapta a les exigències d'una sala per a la música:

$$t_{R_{op}} = 0,32 + 0,17 \log(451,5356) = 0,77_{\text{segons}}$$

En aquest cas, la no adaptació del temps de reverberació òptim, és molt major que en el cas de sales per a la paraula, per tant, és recomanable solucionar aquest problema de manera prioritària, en el procés d'adaptació de la sala per a la correcta audició musical.

Calor:

Per a calcular el paràmetre que mostra la riquesa de la sala en sons greus, és a dir, el reforç de les baixes freqüències, utilitzem el Bass Ratio.

$$BR = \frac{2,91 + 1,90}{1,20 + 0,88} = 2,3125$$

Es comprova que aquest paràmetre que hauria de tindre un valor aproximat entre 1,10 i 1,60, supera molt aquest rang, per tant serà completament necessari un control de les baixes freqüències a la sala, per poder adaptar-la per a la música.

Brillantor:

Com a complement a la calor de la sala, es calcula ara el valor de brillantor de la sala, que dóna la referència de riquesa de la sala en reforç dels aguts, és a dir, de les altes freqüències.

$$Br = \frac{0,73 + 0,53}{1,20 + 0,88} = 0,6057$$

En el cas de les freqüències altes el comportament de la sala s'apropa, més al valor òptim que es troba en 0,87, però encara suposa un punt d'estudi i correcció per al correcte condicionament d'aquest espai.

Claredat:

En aquest cas, d'enfocament de la sala cap al contingut musical (Music Average), calculat a 80ms, es necessitarà un valor que es trobe entre -4 i 0 dB, per a la correcta diferenciació dels diferents sons que componen les emissions musicals.

	500Hz	1kHz	2kHz
C80	1,516	2,490	3,514

Taula 10

$$C_{80} = (1,516 + 2,490 + 3,514) / 3 = 2,507$$

$$C_{80} (dB) = 10 \log(2,507) = 3,99dB$$

Aquest valor, calculat a partir dels resultats presents a la Taula 10, s'allunya moltíssim del valor necessari, per tant es troba un greu problema també en aquest punt.

Com es pot comprovar, la sala es troba molt desadaptada acústicament per a esdeveniments musicals. Es tracta del cas en què caldrà el càlcul del major nombre de solucions per al condicionament de l'espai, ja que la llunyania dels valors actuals als valors òptims és molt notable sobretot en el cas dels paràmetres de claredat i calor, és a dir, una seriosa problemàtica amb la diferenciació de sons i en els greus.

5.3 SALA PER A LA REPRODUCCIÓ CINEMATogrÀFICA

El principal paràmetre que s'estudiarà en les condicions d'aquest espai, en el cas d'adaptar-lo per a la reproducció cinematogràfica, és la relació entre els valors de temps de reverberació entre freqüències, que han de mantindre una sèrie de valors entre elles.

Relació òptima entre temps de reverberació a una sala de reproducció cinematogràfica, Taula 1 (repetició) [7] [8]:

Freqüència (Hz)	% del Tr a 500Hz
125	130
250	110
500	100
1000	90
2000	80
4000	70

Taula 1 (repetició)

Relació entre temps de reverberació a la sala que s'està estudiant:

Freqüència (Hz)	% del Tr a 500Hz
125	243
250	159
500	100
1000	74
2000	61
4000	44

Taula 11

La sala també es troba desadaptada per a l'òptima reproducció cinematogràfica, com es pot observar a la Taula 11, tasca que ha exercit aquest espai durant molts anys.

En aquest cas, la desviació dels valors òptims és major en les baixes freqüències, sense deixar de ser preocupant la llunyania de les altes a les relacions òptimes.

Com calia esperar, segons els resultats de l'estudi de la sala per als diferents tipus d'esdeveniments, sobretot els del tipus musical, en aquests moments les relacions no corresponen amb les que es necessiten per a la sala quan aquesta està preparada per acollir esdeveniments del tipus cinematogràfic.

5.4 CONCLUSIONS:

Per abordar l'estudi de solucions per a cada tipus de sala, es resumeixen els valors crítics dels paràmetres i les conclusions que s'obtenen de les comparacions anteriors.

- Sala per a la paraula:

Vivesa:

t_{R_m} de 1,04 segons, dins dels 0,7-1,2 segons òptims.

$t_{R_{op}}$ de 0,7 segons per a la nostra sala.

Claredat:

C_{50} (dB) de 2,15dB, valor que supera el mínim de 2dB òptim.

%ALcons: Amb un valor del 9,36%, davant del 5% òptim.

STI: Amb un valor de 0,536, que no arriba al 0,65 mínim, òptim.

- Sala per a la música:

Vivesa:

t_{R_m} de 1,04 segons que no arriba al mínim d'1,2 segons òptim.

$t_{R_{op}}$ de 0,7 segons per a la nostra sala.

Calor:

BR de 2,3125, supera molt l'interval d'1,10-1,60 òptim.

Brillantor:

Br de 0,6057, que no arriba als 0,87 òptims

Claredat:

C_{80} (dB) de 3,99dB, valor que supera molt l'interval òptim de - 4 a 0dB.

- Sala per a la reproducció cinematogràfica:

Diferències: d'un 113% a la freqüència de 125Hz
d'un 49% a la freqüència de 250Hz
d'un -16% a la freqüència de 1000Hz
d'un -19% a la freqüència de 2000Hz
d'un -26% a la freqüència de 4000Hz

6. MODEL PER A LA SIMULACIÓ PER TRAÇAT DE RAJOS DE LA SALA

En el procediment de composició d'un model per a la simulació per traçat de rajos de la sala, es necessita la geometria detallada d'aquesta.

En el cas d'aquest projecte, com es detalla a la Part 2 de la memòria, a l'apartat de Plànols, el model està dissenyat a partir d'una sèrie de plànols a mà alçada i fotografies del recinte, de suport, per dificultats burocràtiques. Les mesures resumides en aquest recull de croquis s'introdueixen per a la composició del model virtual seguint el següent procediments:

6.1 AutoCAD

Amb les mesures preses a la sala, les fotografies, un software de disseny arquitectònic, en el cas d'aquest projecte l'AutoCAD® 2011 i l'ajuda tutorial d'una arquitecta per a la utilització del software, componem el model en tres dimensions de l'arquitectura de la sala, model que utilitzarem per a les simulacions necessàries per a comprovar l'eficàcia de les solucions proposades teòricament.

En aquest procés, s'introdueixen les mesures dels plànols compostos a mà alçada al disseny virtual, amb el software. Mitjançant la ferramenta "Polilinia" es transfereixen cadascuna de les distàncies dels tancaments, fins obtenir relleu de l'alçat de la sala, complet.

Després d'açò, per simetria, se situa l'alçat oposat a la distància correcta i s'uneixen i revisen cadascuna de les línies, completant els tancament i detalls que ho necessiten.

Tot seguit, extrudim el volum compost amb les correctes mides per aconseguim el model linial 3D, de la sala, que presenta la següent aparença, apreciada a la Figura 23:

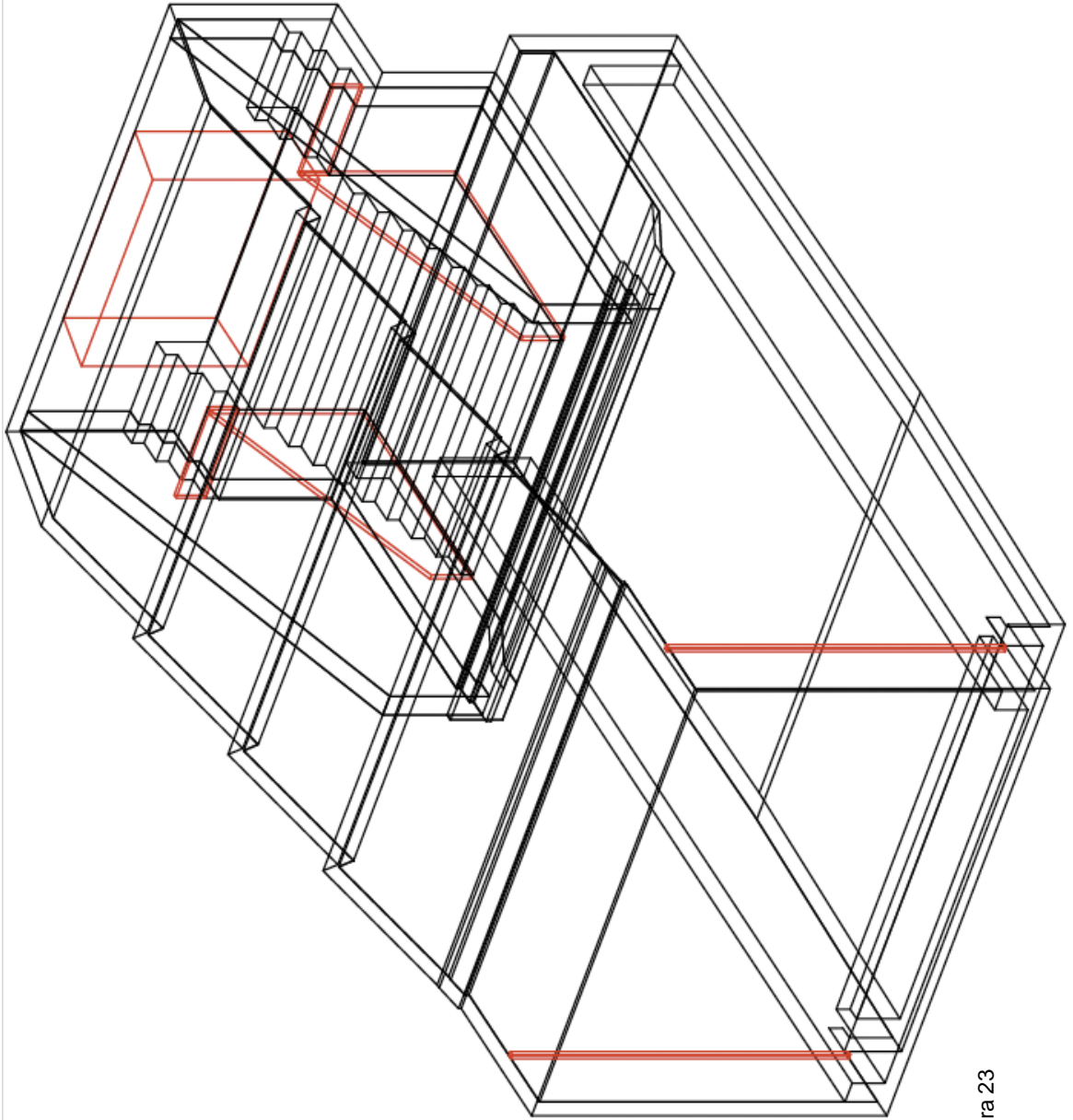


Figura 23

Cal esmentar el fet que en la realització d'aquest projecte, durant el procés de composició/disseny del model de la sala trobem molts errors de mesures (que han de reperitr-se) i incoherències, com a conseqüència de la gran dificultat de prendre mides exactes en el recinte, per la deficiència d'il·luminació, les grans dimensions d'aquest i l'error humà.

El següent pas per poder treballar, amb aquest model de la sala, amb el programa CATT-Acoustic v8.0, que és el software de què es disposa per a treballar amb les simulacions acústiques, s'ha de transformar cadascun dels plans del disseny d'AutoCAD a una 3D cara, mitjançant l'ordre homònima "3DCARA", repassant cadascun d'aquests perquè no queden obertures en els tancaments de la sala, per les quals se'n puguem eixir els rajos sonors a la simulació.

S'agruparan els plans en diferents capes, segons la seua situació i material de què estan fets, per agilitzar el nostre treball posterior amb una ordenació adequada. [23]

En aquest punt el plànol presenta l'aparença mostrada a la Figura 24:

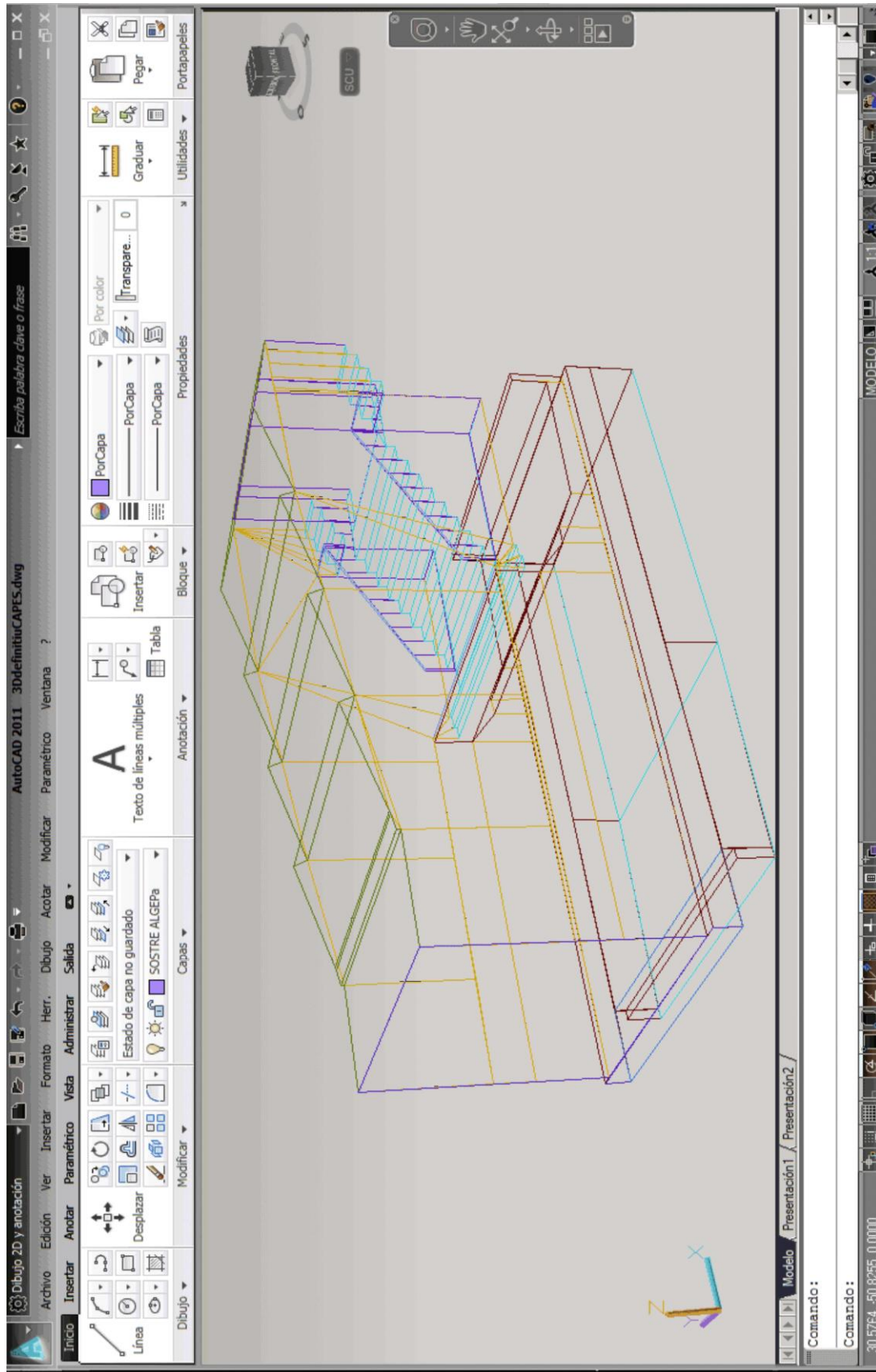


Figura 24

Com que el nostre treball amb el software AutoCAD està enfocat a exportar arxius específics que ens permeten treballar en l'entorn CATT-Acoustic, amb el model compost, s'haurà d'adaptar el programa perquè ens permeti exportar el projecte en forma d'arxiu amb l'extensió ".geo", amb els que treballarem posteriorment.

Per adaptar el programa es carreguen, mitjançant el comandament "AutoLISP" i "Carregar aplicació..." de l'apartat de "Ferramentes", els arxius ".lisp", en total sis, de la carpeta acad que es troba a la carpeta d'arxius de programa de CATT-Acoustic. Aquesta carpeta (CATT o acad, directament) ha de copiar-se a la unitat C de l'ordinador perquè quan el programa AutoCAD demane la ruta dels arxius, no es troben problemes amb els noms de ruta amb espais. Un exemple de ruta vàlid serà: C:\CATT\acad.

En el cas de la versió "demo", la carpeta no es troba entre els arxius del programa, per tant, s'haurà de descarregar a banda i seguir el mateix procediment. [17] [28]

Es definirà el sistema d'unitats i l'escala utilitzats en el disseny del recinte, introduint el comandament SETCATTSCALE, abans de continuar amb el procés. Ací es defineixen l'escala utilitzada en la composició del plànol, 1:1 en aquest cas i el sistema d'unitats de mesura, en el cas d'aquest projecte, metres.

A continuació s'han de traslladar totes les 3D cares del model, a una capa amb el nom CATT_MAIN, que es crea de forma automàtica, juntament amb un conjunt de capes auxiliars (CATT_SCALE, CATT_FIX, CATT_TMP, _CATT_SCALE), amb l'adaptació del programa a CATT-Acoustic, com hem explicat a l'anterior punt.

Les 3D cares que conté aquesta capa són les que seran exportades a l'arxiu ".geo" que es necessita per treballar el CATT-Acoustic.

Conservarem les agrupacions prèviament fetes per tipus de material i situació dels plànols, per comoditat.

Amb la instrucció PUT es van seleccionar els plànols de cadascuna de les capes i s'introdueix el nom del conjunt dels plànols (nom que servirà com a l'individual de cada pla) i el material de construcció d'aquests. En ambdós casos s'utilitzaran noms identificatius que ajuden en el reconeixement de la situació dels plànols de cada agrupació i de l'absorció del material del que estan fets.

Quan ja es troben totes les 3D cares a la capa CATT_MAIN trobarem l'aparença de la Figura 25, en activar-la:

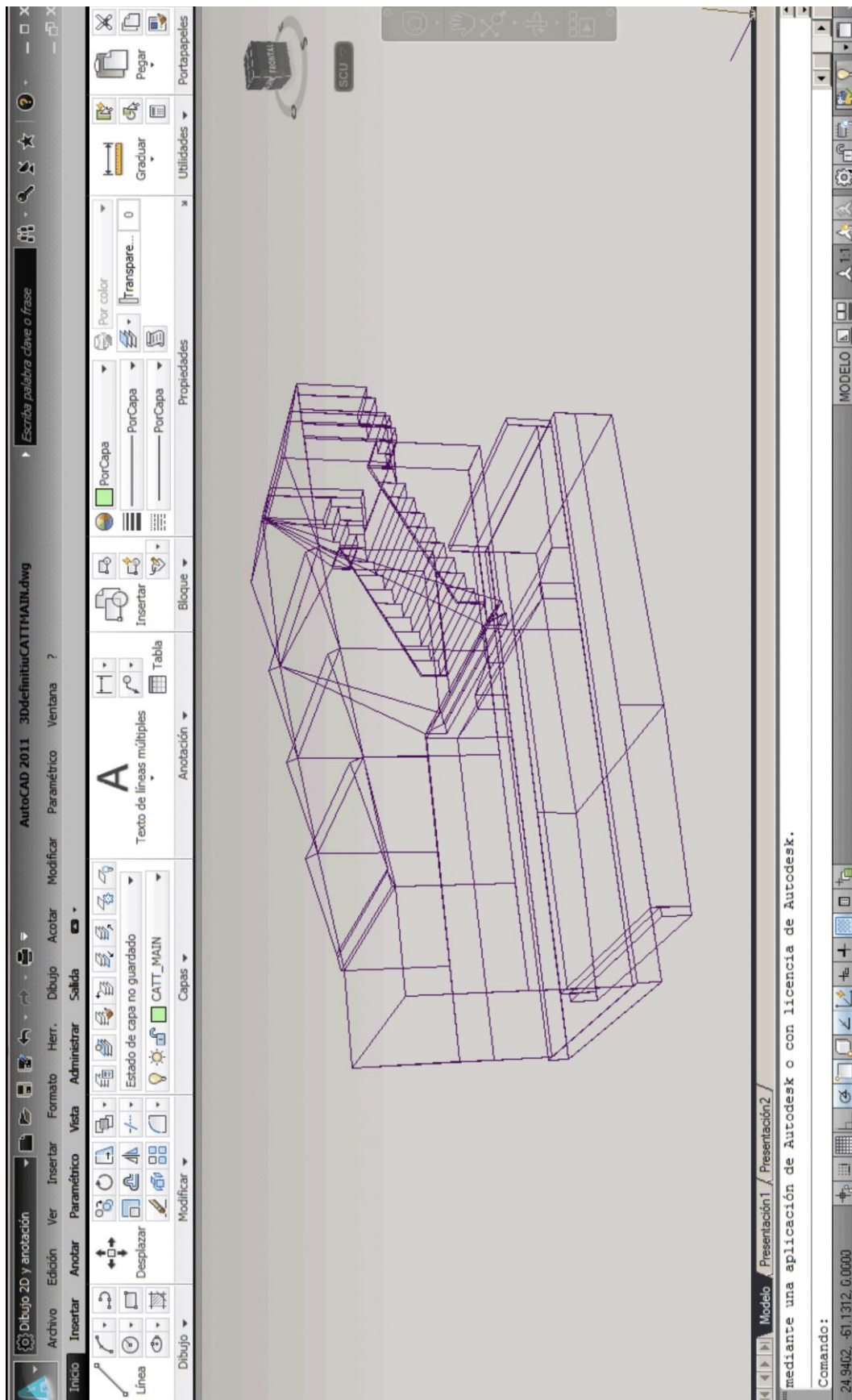


Figura 25

Tot seguit, amb el comandament SRC es defineixen una a una les fonts que s'utilitzaran per realitzar les mesures, introduint el seu identificador, la posició espacial a la sala, el punt cap a on es troben enfocades, el nom i el nivell que emeten a un metre de distància. Seguint el mateix procediment, amb el comandament REC, es posicionen espacialment els receptors que necessaris per a les mesures.

Per finalitzar el treball amb l'AutoCAD, s'exporta el model a un arxiu amb format .geo, amb el comandament EXP.

L'arxiu exportat MASTER.geo contindrà les característiques dimensionals i de posició de cada plànol que compon la sala, l'absorció característica de material de què està format cadascun d'aquests plànols, l'orientació d'aquest de cara a l'interior de la sala, etc. Mentre que els arxius SRC.geo i REC.geo, contindran la informació de les fonts i receptors que s'utilitzaran en les mesures virtuals de les simulacions.

6.2 CATT-Acoustic

A partir d'ací es passa a treballar amb el software que permetrà la realització de simulacions acústiques amb el model geomètric de la sala. [17] [28]

El primer pas en iniciar aquest programa és configurar en "General Settings" les carpetes d'entrada, des d'on s'agarraran els arxius MASTER, SRC i REC, per a la seua correcta configuració, utilitzant els editors de text corresponents. Des d'ací també es donarà nom al projecte en què anem a treballar, amb els resultats i arxius auxiliars d'eixida.

Per parts, es procedeix a configurar cadascun dels arxius de font [10] :

Receptors sonors: REC.LOC

S'edita l'arxiu i es comprova que es conserven les coordenades de la seua posició en l'espai introduïdes en la generació d'aquest recull de receptors amb l'AutoCAD. En el cas d'aquest projece, en editar per primera vegada l'arxiu es troba que molts dels punts han canviat en el procés d'exportació, així que s'apliquen les correccions necessàries i es guarden els canvis en l'arxiu. (Annex XVI)

Fonts sonores: SRC.LOC

Aquest arxiu conté les posicions de fonts i les seues característiques, introduïdes en el moment de la seua creació. En editar-lo, es comprova la correcció de les coordenades i que les condicions de funcionament de la font siguen les necessàries per als assajos simulats, per als quals seran utilitzades. Per a cada font apareix en la seua definició dins del document: L'identificador de la font, les coordenades de posició, el tipus de font, el punt cap al qual es troba orientada i el nivell d'emissió a un metre d'aquesta (tipus i valor). Per introduir aquest darrer paràmetre, es pot fer servir la llibreria del programa, introduint el tipus de soroll que emetrà la font, en el cas d'aquest projecte s'utilitza Lp_white amb un valor de 90 (a 1kHz) (Annex XVI).[22]

Quan aquests arxius es troben revisats i per tant les fonts i receptors correctament situats i definits, se seleccionen les fonts que van a utilitzar-se en la simulació i els receptors que estaran en funcionament durant aquesta. Aquesta selecció es farà prement el botó "Which to use..." per a cada element i marcant l'identificador dels dispositius que es vol que intervinguen en la simulació. [10] [17] [28]

Arxiu principal: MASTER.GEO

Sols queda l'edició d'aquest per poder començar correctament les simulacions. Els objectius principals de la modificació de l'arxiu MASTER.GEO són concretar els coeficients d'absorció dels materials utilitzats a la sala, identificar els diversos plans i orientar correctament la cara absorbent del material de què està format, definir les zones d'audiència i després de la primera simulació, completar i corregir les obertures entre plànols que sorgiran (Annex XVI).

L'absorció dels materials a les diferents freqüències per defecte tenen com a valor genèric, la unitat. Es canviaran aquests valors introduint els valors de l'absorció a les diverses freqüències dels materials que s'han utilitzat. [12] [24]

En aquest projecte s'han utilitzat materials que representen de manera aproximada els materials reals de la sala a l'actualitat en el cas que la sala fóra sanejada, és a dir, la fusta de les baranes i l'escenari es conserven, ja que es troben en perfecte estat, el material de les parets i sostre representa al material actual net, guix pintat i moqueta de les parets neta professionalment. La pantalla serà substituïda per una altra del mateix material, actualment està en mal estat i la moqueta del sòl i la tapisseria dels seients seran substituïdes per una moqueta econòmica d'un material similar a l'actual i una tapisseria de teixit simple com la que es troba en aquests moments a la sala, respectivament.

S'utilitzen aquests materials per maximitzar l'aproximació dels resultats de les simulacions a la realitat, en el cas d'aplicar la senzilla millora a la sala del seu sanejament profund, aprofitant els materials existents i minimitzant despeses. En les consecutives simulacions es comprovarà si aquesta neteja i posada a punt de la sala l'aproxima als valors òptims necessaris o si es necessitarà afegir millores i solucions particularitzades.

S'adjudicarà un color a cada material per tal de diferenciar-lo en el conjunt de la sala, de la mateixa manera que l'absorció, el color es defineix en les primeres línies de l'arxiu MASTER segons la seua descomposició numèrica en components RGB, utilitzant el catàleg RAL (Annex VIII):

ABS MOQUETA_PARETS = < 09 08 21 27 27 37 > {43 38 41}

Moqueta instal·lada directament sobre paret, model ja instal·lat a la sala, després d'una profunda neteja professional.

Color utilitzat: Pard grisenc 


ABS ESCAIOLA = < 10 08 05 05 04 04 > {133 166 122}

Guix en plaques que donen a cavitat d'aire de la instal·lació del sostre, tornada a pintar.

Color utilitzat: Verd pàlid 


ABS FUSTA = < 15 10 06 08 10 05 > {194 120 65}

Fusta comú, vernissada, utilitzada per a les baranes, en perfecte estat a la sala actualment. També s'utilitzarà en els panels.

Color utilitzat: Fusta de pi 

ABS MOQUETA_SOL = < 03 05 109 23 38 54 > {194 191 184}

Moqueta ordinària comercial sobre contrapis similar a la que es troba instal·lada (condicions acústiques del producte inicialment instal·lat), pel curt. Moqueta de sòl.

Color utilitzat: Gris seda 

ABS PLASTIC = < 12 10 08 07 06 05 > {255 228 196}

Pantalla de material plàstic on es projecten les reproduccions cinematogràfiques.

Color utilitzat: Biscuit de 


ABS PARQUET = < 04 04 07 06 06 07 > {100 50 0}

Parquet de fusta comú sobre formigó que forma el sòl de l'escenari, el material actualment instal·lat es troba en bones condicions. S'utilitzarà el material actual de la sala, com en anteriors casos, després d'una neteja i reparat professionals.

Color utilitzat: Marró fosc 


ABS CORTINA = < 04 05 11 18 30 35> {173 122 41}

Cortina de teixit prim comú, que cobreix les portes d'entrada i eixida d'ambdós pisos.

Color utilitzat: Beix pard 

ABS TEIXIT_SEIENTS = < 44 60 77 89 82 70> L < 30 40 50 60 70 70 > {128 0 0}

Butaca semitapissada, tapissat lleuger, teixit comú.

Color utilitzat: Bordeus 

Els plans que componen el recinte es troben definits amb una orientació interior o exterior de la cara absorbent del material. Aquesta orientació es pot identificar en la simulació de la sala observant el color del plànol, considerant la cara colorejada com a la cara absorbent del plànol.

Aquestes modificacions dels plànols es faran observant la simulació i repassant cada plànol, identificat a la segona vista (File) de la simulació i a l'arxiu de text pels cantons que el componen, prèviament definits per la seua situació a l'espai. En aquest punt s'identifiquen els plànols que componen la sala modificant-ne l'orientació, si és necessari, canviant la direcció d'inclinació de les barres que emmarquen els cantons que delimiten el plànol en la seua definició a l'arxiu MASTER. S'han de guardar tots els canvis que es fan al document de text perquè aquests tinguin efecte en la simulació. [12] [24]

Es comprovarà la correcta orientació simulant la geometria de la sala, seleccionant l'opció "Geometry view/check" i prement el botó "Save and Run" de la plataforma gràfica del CATT-Acoustic, Prediction-CATT.PRD

Amb tots els plans correctament orientats, es repeteix aquest procés amb la definició dels cantons necessaris, prenent com a referència els ja existents, definint els plans i orientant els materials de la zona d'audiència.

Seguits correctament els passos anteriors i tancada la zona d'audiència, es fa la primera simulació amb resultats, seleccionant, a més de l'opció "Geometry view/check" la de "Full detailed calculation". [10] [16] [18] [26]

Amb aquesta simulació es comprova si hi ha alguna fugida de rajos sonors a la sala, veient l'arxiu "LEAKS.PLT":

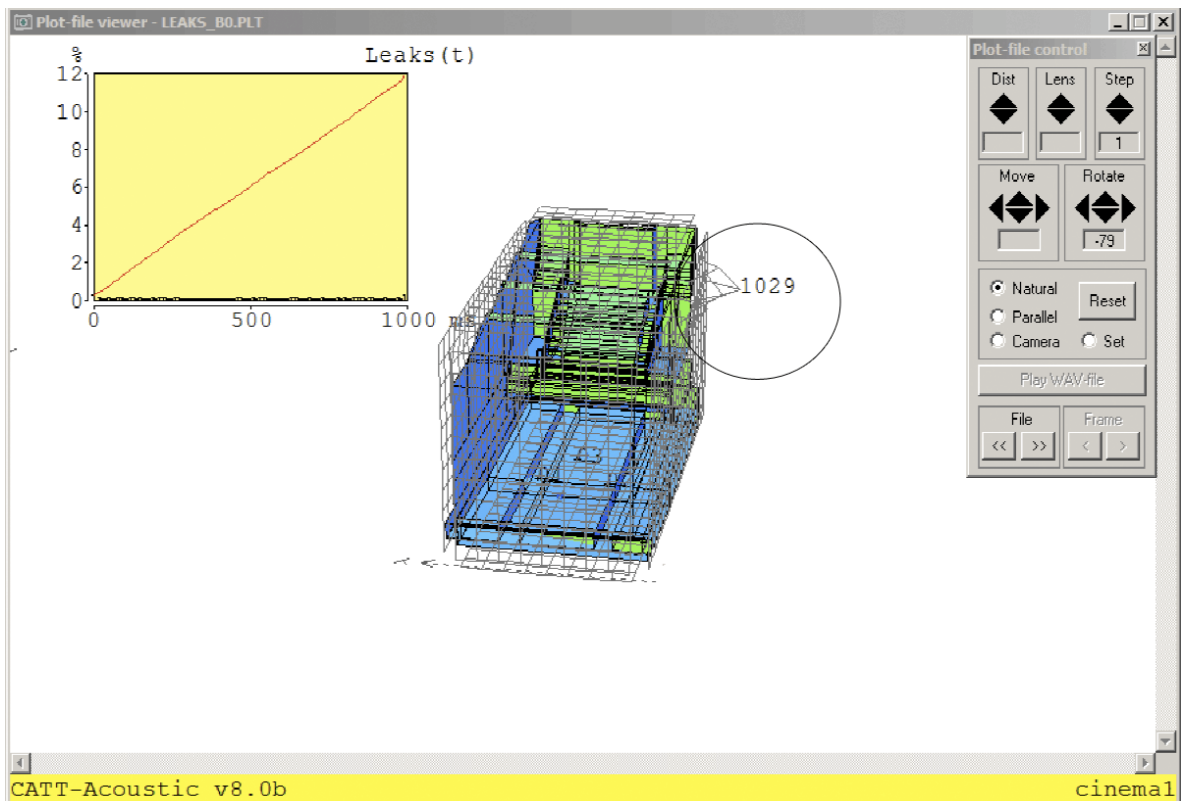


Figura 26

Es pot comprovar a la Figura 26 que hi ha una fugida important de rajos, a la banda superior esquerra. El programa, mitjançant una finestra d'error ens informa que més d'un 10% dels rajos sonors s'estan perdent pels buits entre plànols .

Tornant a editar l'arxiu font MASTER.GEO, es revisen les coordenades dels cantons que es troben en la zona per on ens mostra la simulació que s'estan perdent els rajos sonors i es sanegen les diferències de punts. dissenya un plànol que actue com a pegat per cobrir la fugida d'aquest tancament.

En tornar a simular, amb la correcció dels cantons necessaris i es comprova que la sala ja no té pèrdues de rajos sonors significatives, que impedisquen el càlcul correcte de les condicions a la sala. S'obté el resultat mostra a la Figura 27:

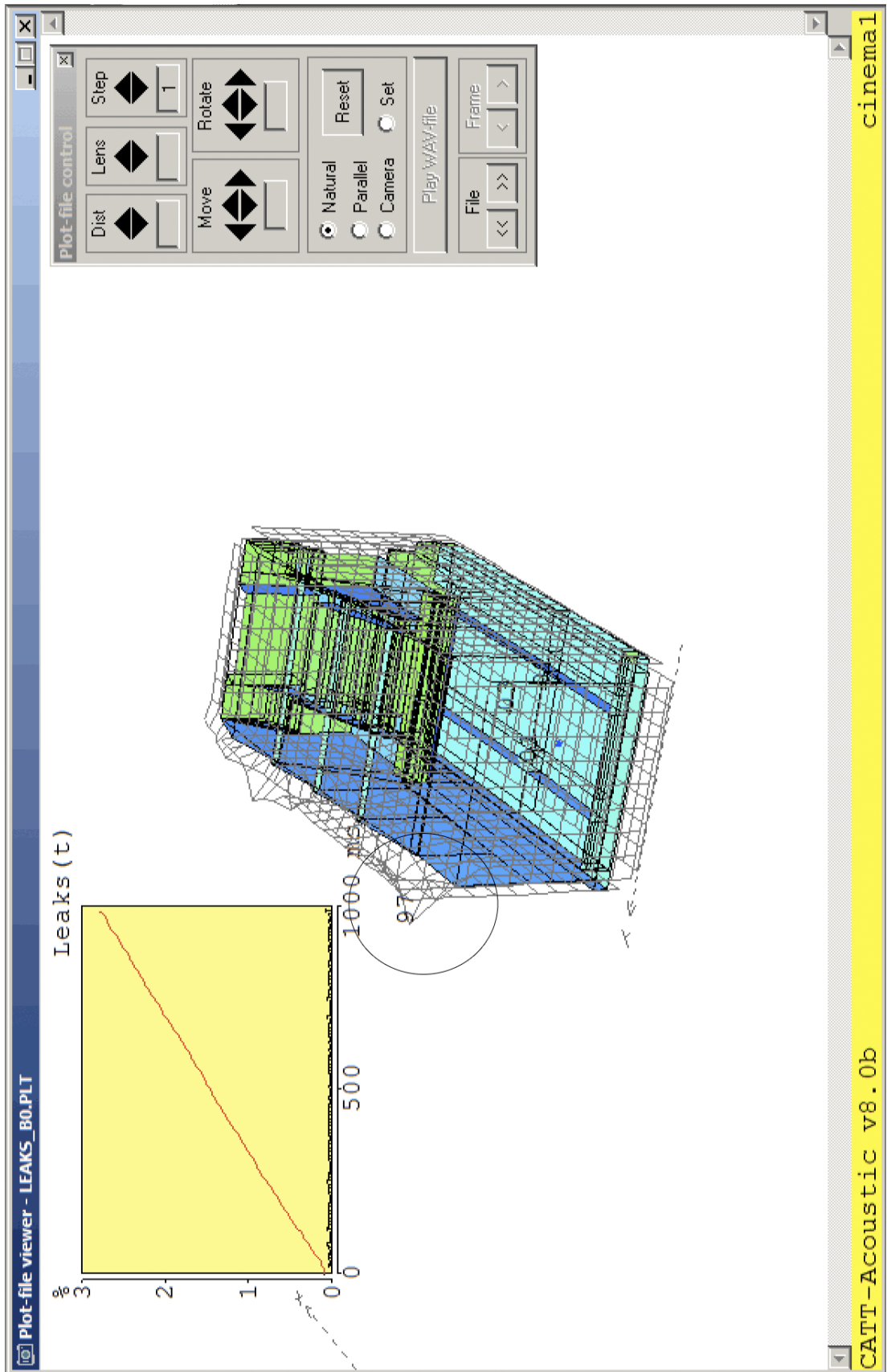


Figura 27

Per tant, el model al què pertanyen els resultats representats a la figura 30, és el que es prendrà com a definitiu i s'utilitzarà per a realitzar les simulacions, amb la major fidelitat possible, tenint en compte que representa la sala actual després d'una posada a punt, és a dir, neta i els materials sanejats correctament. La sala final té l'aspecte representat a la Figura 28:

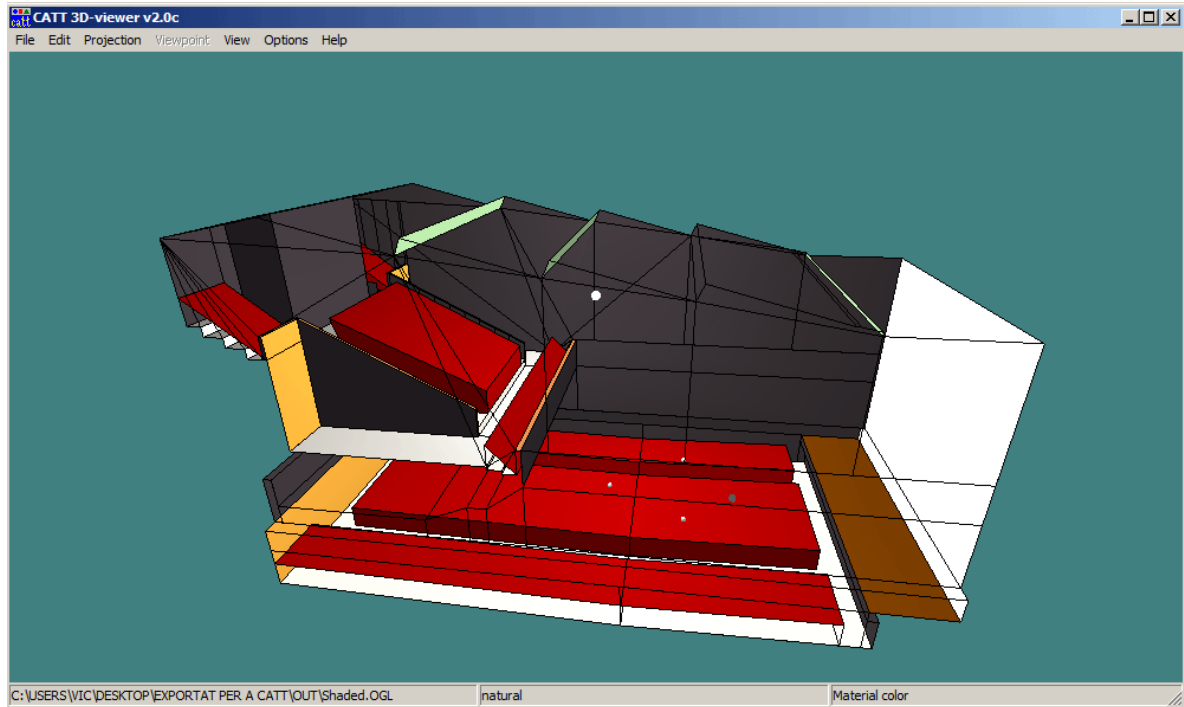


Figura 28

7. SOLUCIONS I SIMULACIONS

Utilitzant el model virtual de la sala, que s'ha compost a l'apartat anterior, se simularà el comportament d'aquesta amb l'aplicació de les solucions proposades per a l'adaptació a cada cas.

7.1 SALA DE REPRODUCCIÓ CINEMATOGràFICA

Aquest serà l'estat base de la sala, per tant, comprovem les condicions d'aquesta amb les millores de sanejaments que s'han tingut en compte en la composició del model de la sala, pel que fa a materials.

La simulació consisteix a reproduir l'assaig realitzat a la sala per comprovar les condicions inicials, explicat a l'apartat de mesures (in-situ), en aquest cas, de manera virtual.

Es realitzarà la simulació per a les dues posicions de font, amb les posicions de receptors corresponents a cadascuna i a partir dels resultats en cada cas es traurà un comportament mitjà.

Amb aquests resultats es calcularan de nou els paràmetres necessaris per a la comprovació de l'adaptació de la sala. En aquest cas es comprovaran les relacions de proporció entre el temps de reverberació a les diferents freqüències i que el t_{R_m} es tinga un valor entre el valor òptim per a la sala adaptada per a esdeveniments amb predomini de la paraula i el de la sala adaptada per al seu ús en esdeveniments amb predomini musical.

En la plataforma gràfica del software de simulació, se seleccionen les opcions de càlcul de paràmetres, com ja s'ha vist en la comprovació del model de simulació. Prèviament s'haurà creat una carpeta anomenada "REPRODUCCIÓ CINEMATOGràFICA" (Annex VI, annex digital) que contindrà el MASTER.GEO, SRC.LOC i REC.LOC corresponents a aquest cas i una carpeta OUT per als arxius d'eixida amb els resultats de la simulació. Es crearà una simulació per a cada posició de font. Quan es troben seleccionats els paràmetres de càlcul que necessitem i configurades fonts i receptors, premem el botó de "Save and Run". [10] [16] [18] [26]

FONT 1 (Font: B0, Receptors: 01, 02, 03) :

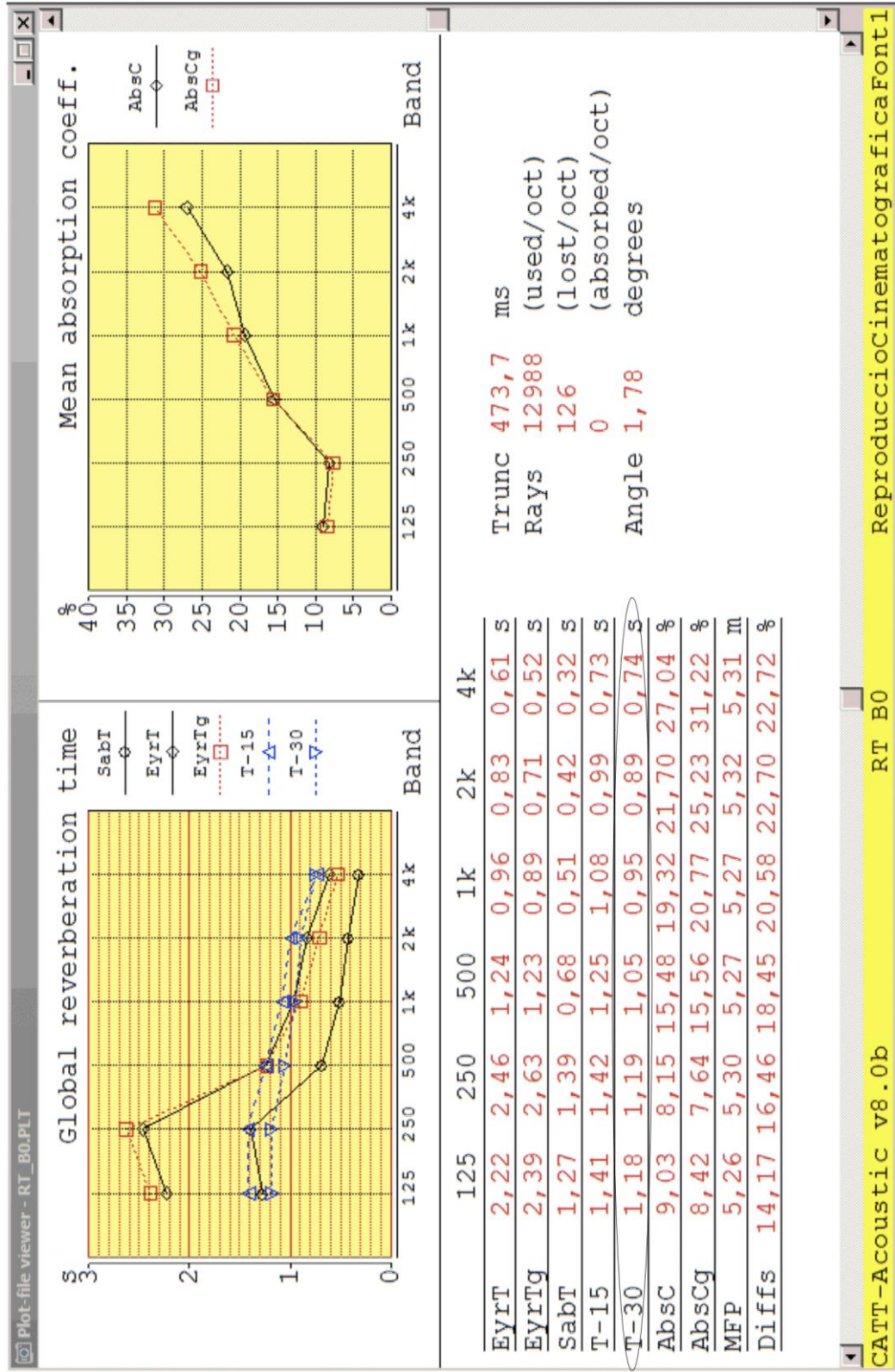


Figura 29

FONT 2 (Font: B1, Receptors: 04, 05, 06) :

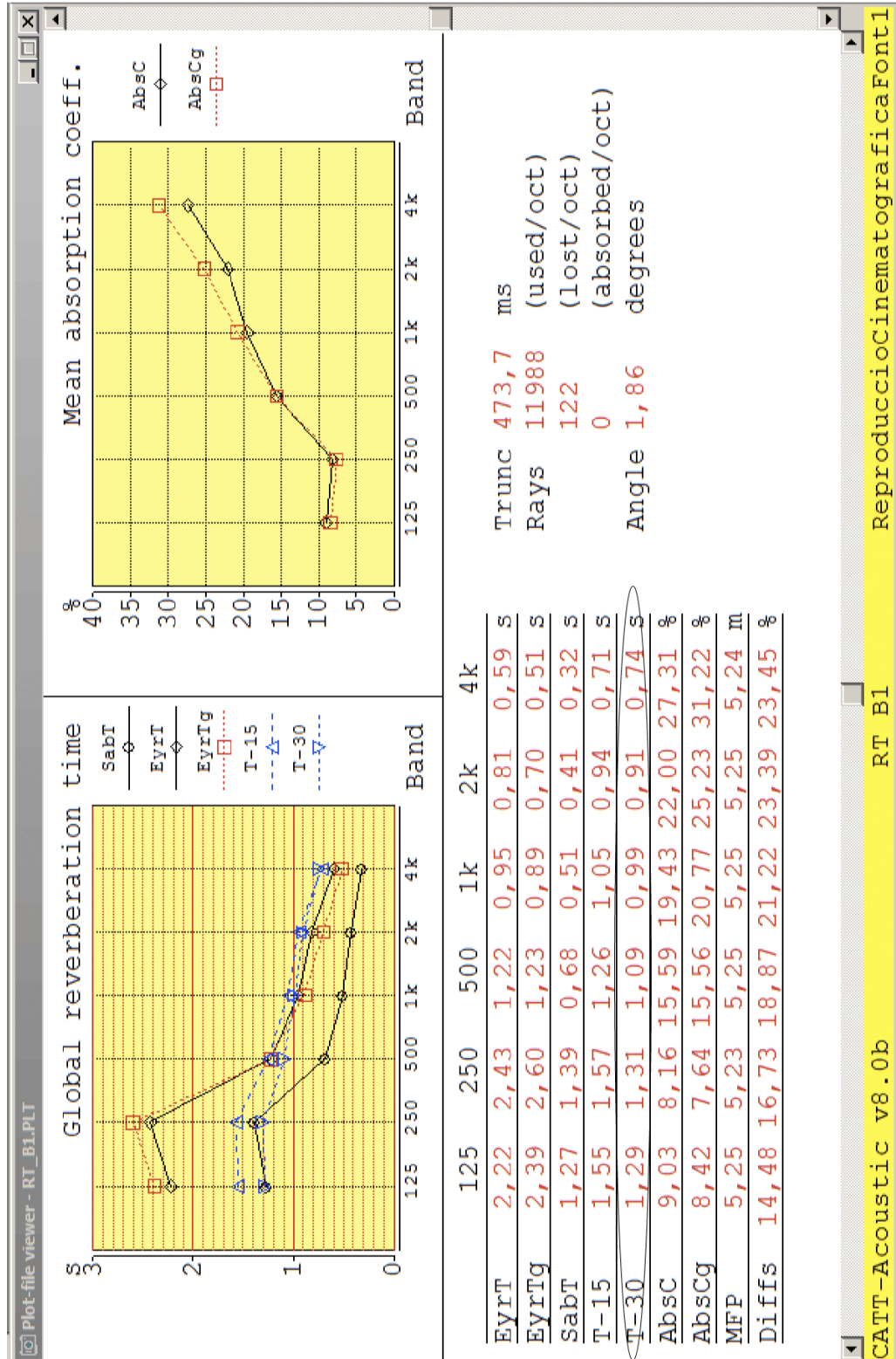


Figura 30

Les Figures 29 i 30 , presenten els resultats de la simulació, sent especialment interessants les següents dades:

	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
1	1,18	1,19	1,05	0,95	0,89	0,77
2	1,29	1,31	1,09	0,99	0,91	0,74
TOTAL	1,24	1,25	1,07	0,97	0,90	0,76

Taula 11

Com es pot observar a les Figures 32 i 33 i a la Taula 11, es prenen com a referència per als càlculs, els valors del paràmetre T30, ja que es considera la millor estimació del temps de reverberació, en el treball amb CATT-Acoustic.[10]

A partir d'aquests resultats, s'estudien els paràmetres necessaris, comprovats en la valoració inicial de la sala per a una correcta acollida de la reproducció cinematogràfica.

$$t_{R_m} = \frac{1,07 + 0,97}{2} = 1,02s$$

Freqüència (Hz)	% del Tr a 500Hz	Prop. Òptima	Diferència de Tr Òptim	Diferència abans
125	115,89	130	14,11	113
250	116,82	110	6,82	49
500	100,00	100	0	0
1000	90,65	90	0,65	16
2000	84,11	80	4,11	19
4000	71,03	70	1,03	26

Taula 12

Com s'observa a la taula 12, les proporcions entre els temps de reverberació, amb la neteja i sanejament del recinte pràcticament passen a ser les proporcions òptimes [8] i [9].

El t_{R_m} passa a tindre un valor més intermediari entre el necessari per a la sala quan està adaptada per a l'audició verbal i quan ho està per a l'audició musical.

7.2 SALA PER A L'AUDICIÓ VERBAL

El pas cap a l'adaptació de la sala per a aquest ús, comença des de la sala adaptada per a la reproducció cinematogràfica, que serà l'estat base del recinte, per tant, s'analitzen les noves condicions amb l'objectiu de trobar els punts a tractar.

De nou es calculen els paràmetres que defineixen la qualitat de la sala adaptada per acollir aquest tipus d'esdeveniment:

Vivesa:

$$t_{R_m} = \frac{1,07 + 0,97}{2} = 1,02s$$

Claredat:

	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
C50	0,91	1,04	1,15	1,48

Taula 13

$$C_{50} = 0,15 \cdot 0,91 + 0,25 \cdot 1,04 + 0,35 \cdot 1,15 + 0,25 \cdot 1,48 = 1,169$$

$$C_{50} (dB) = 10 \log(1,169) = 0,68dB$$

%ALcons:

$$\%ALcons = 9 \cdot 1,02 = 9,18\%$$

STI:

$$STI = -0,1845 \cdot \ln(9,18) + 0,9482 = 0,54$$

Recalculant el nou valor dels paràmetres de la sala, es comprova que la major necessitat per tal d'adaptar la sala per al seu ús en esdeveniments amb predomini de la paraula és la de minvar el valor del temps de reverberació.

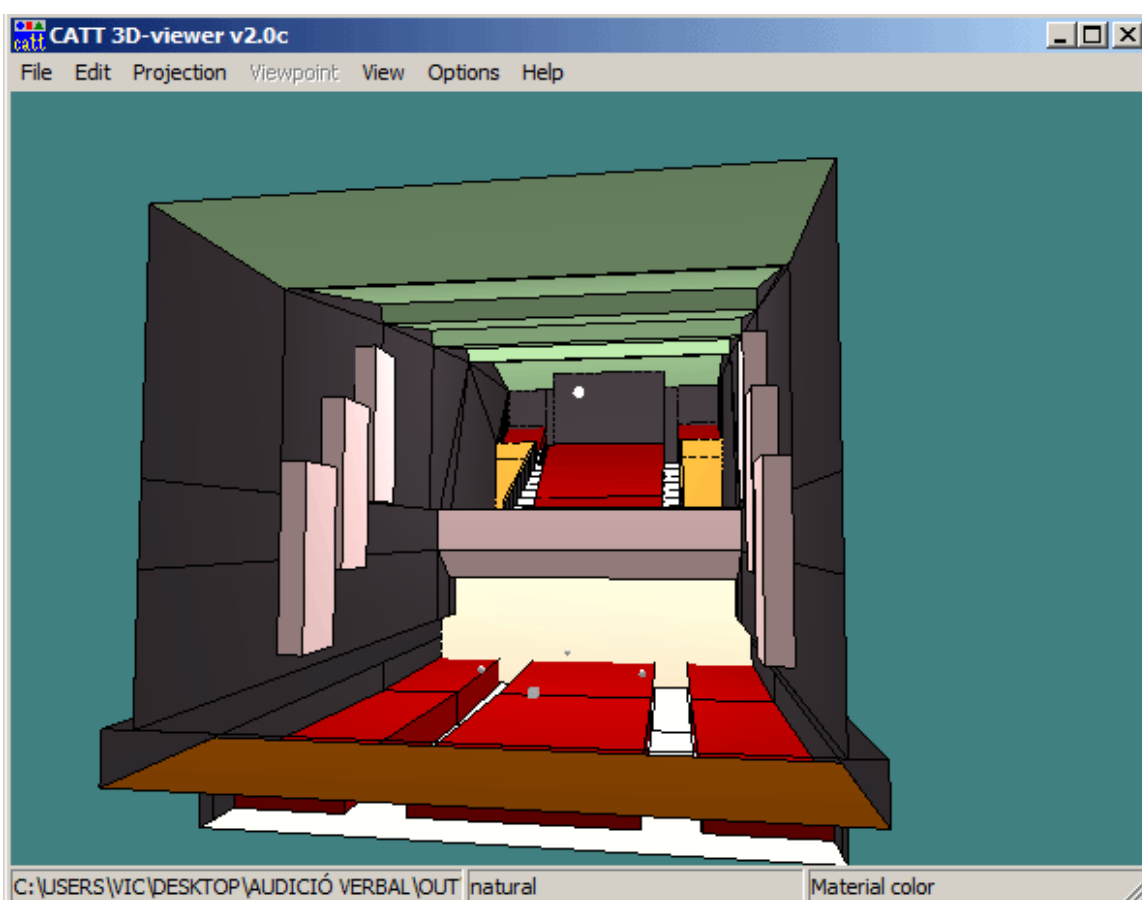
Es tracta d'un recinte d'un volum considerable, amb una zona d'audiència extensa, per la qual cosa serà difícil la reducció del temps de reverberació, al seu interior, mitjançant l'augment de l'absorció de la sala amb la distribució de material absorbent.

La solució que es proposa és la de reducció de volum de la part de baix de la sala amb una cortina separadora d'*Akustik Samt AV12 gerafft*, de la casa *mb akustik* (Annex XII) material que compta amb l'absorció necessària per fer la partició del recinte. Aquesta solució es complementarà amb la distribució de plafons mòbils, mitjançant carrils de subjecció, amb una cara coberta per material altament absorbent, *ROCDAN 231/40* de Danosa (Annex XIII), que es presenta en plafons de 0,6m d'ample i 1,2m de llarg. Per als laterals s'utilitzaran tres plafons a cada costat, compostos de sis plafons *ROCDAN 231/40* dos d'ample i tres de llarg, separats entre ells (els plafons compostos) 0,4m.

Per altra banda, a la zona de cobertura del balcó s'instal·larà el material de manera que cobrisca fins la superfície delimitada per la cortina separadora, fent una comanda personalitzada a l'empresa subministradora del material. [13] [20] [29]

En aplicar a la sala la cortina mòbil a partir de 6,3metres de la zona d'audiència des de les portes, es redueix l'aforament en 104 seients. Es queda una sala per a 356 espectadors amb 6 plafons absorbents als tancaments laterals i tres en la part inferior del balcó (pis de dalt) subjectats amb guies que permeten la seua instal·lació en el senzill procés d'adaptació de la sala. Aquests plafons, reflectants per una cara i absorbents per l'altra (*ROCDAN 231/40*), que en l'estat base de la sala, és a dir, per a la reproducció cinematogràfica, es trobaran despenjats dels tancaments i correctament guardats en el magatzem del recinte, juntament amb la cortina separadora utilitzada per a reduir el volum de la sala, que es fixarà als tancaments amb una sèrie d'ancoratges i guies.

Amb aquesta instal·lació, la sala presenta el següent aspecte:



Després de l'assaig amb la sala coberta per les instal·lacions per a la seua adaptació per acollir esdeveniments amb predomini de la paraula (Annex XVII, annex digital), els paràmetres que caracteritzen la qualitat acústica, prenen els següents valors, representats a les Figures 31 i 32:

FONT 1 (Font: B0, Receptors: 01, 02, 03) :

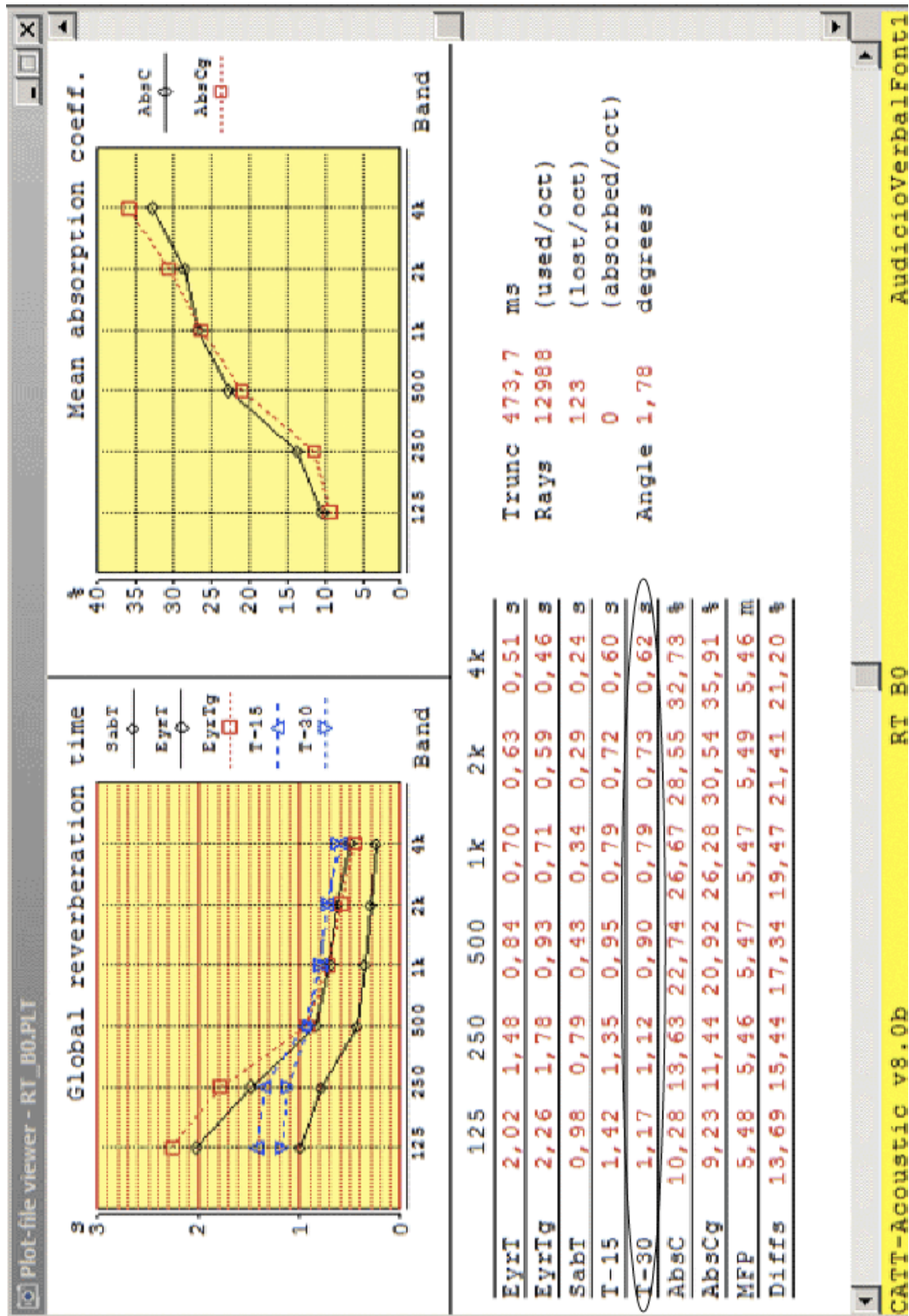


Figura 31

FONT 2 (Font: B1, Receptors: 04, 05, 06) :

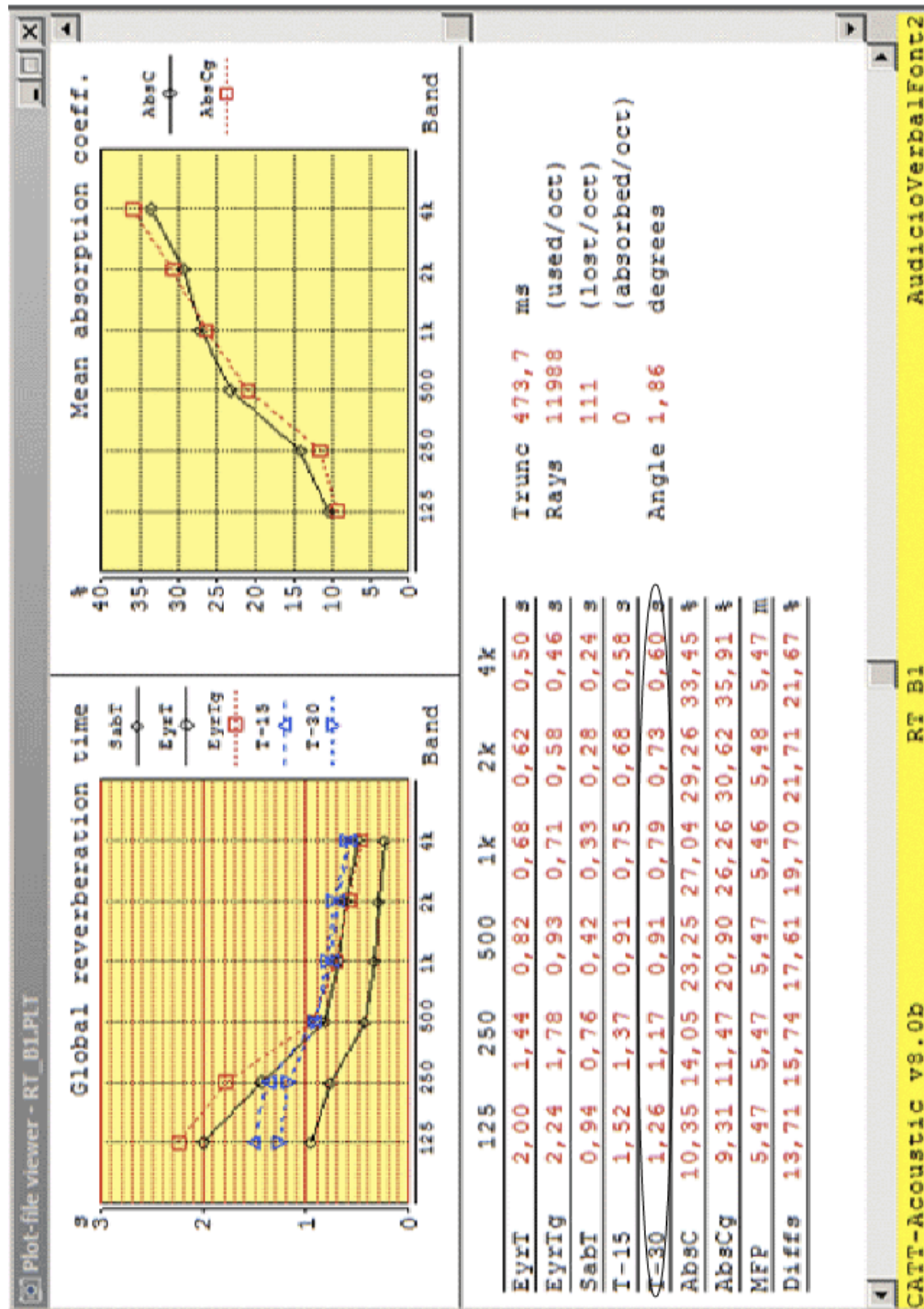


Figura 32

Tenint en compte els dos assajos, Figures 31 i 32, els resultats totals són:

	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
1	1,17	1,12	0,90	0,79	0,73	0,60
2	1,26	1,17	0,91	0,79	0,73	0,60
TOTAL	1,22	1,15	0,91	0,79	0,73	0,60

Taula 14

Es calculen de nou els paràmetres, com hem indicat abans, a partir de la Taula 15:

Vivesa:

$$t_{R_m} = \frac{0,91 + 0,79}{2} = 0,85s$$

Claredat:

	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
C50	1,13	1,40	1,57	2,16

Taula 15

$$C_{50} = 015 \cdot 1,13 + 0,25 \cdot 1,40 + 0,35 \cdot 1,57 + 0,25 \cdot 2,16 = 1,609$$

$$C_{50} (dB) = 10 \log(1,609) = 2,06dB$$

%ALcons:

$$\%ALcons = 9 \cdot 0,85 = 7,65\%$$

STI:

$$STI = -0,1845 \cdot \ln(7,65) + 0,9482 = 0,57$$

Es comprova la perfecta adaptació als valors òptims d'alguns dels paràmetres com la vivesa i la claredat i l'apropament de la intel·ligibilitat i la pèrdua d'articulació.

7.3 SALA PER A AUDICIÓ MUSICAL

Comprovem per a aquest cas els valors dels paràmetres, existents en l'estat base de la sala, reproducció cinematogràfica. A partir d'aquests càlculs, es veuran clarament les necessitats per a l'adaptació.

Vivesa:

$$t_{R_m} = \frac{1,07 + 0,97}{2} = 1,02s$$

En el cas de sala per a l'audició musical, el t_{R_m} mínim acceptable són 1,2 segons.

Calor:

$$BR = \frac{1,24 + 1,25}{1,07 + 0,97} = 1,2$$

Amb aquesta adaptació inicial, les baixes freqüències queden controlades i el valor de calor de la sala passa a trobar-se dins del rang òptim.

Brillantor:

$$Br = \frac{0,90 + 0,76}{1,07 + 0,97} = 0,814$$

S'observa que les altes freqüències els valors també s'apropen als valors òptims de la sala, que en aquest cas no han de superar els 0,87.

Claredat:

	500Hz	1kHz	2kHz
C80	1,806	2,121	2,410

Taula 16

$$C_{80} = (1,806 + 2,121 + 2,410) / 3 = 2,11$$

$$C_{80} (dB) = 10 \log(2,11) = 3,25dB$$

La claredat a la sala tampoc és suficient.

Comprovem que hi ha un gran problema pel que fa a les altes freqüències en el cas de la sala per a l'audició musical. Clarament és necessita un reforç d'aquestes i un augment del t_{R_m} .

La solució principal per a l'adaptació de la sala, en aquest cas, és la utilització de la segona cara dels plafons instal·lats a l'apartat anterior, acondicionant-la amb un material reflector, placa d'aglomerat de 4,6 cm (Annex IX). S'utilitzarà la mateixa distribució i estructura, per tal de reduir despeses.[20] [24]

Amb la instal·lació dels plafons per la cara reflectora, la sala presenta la següent aparença:

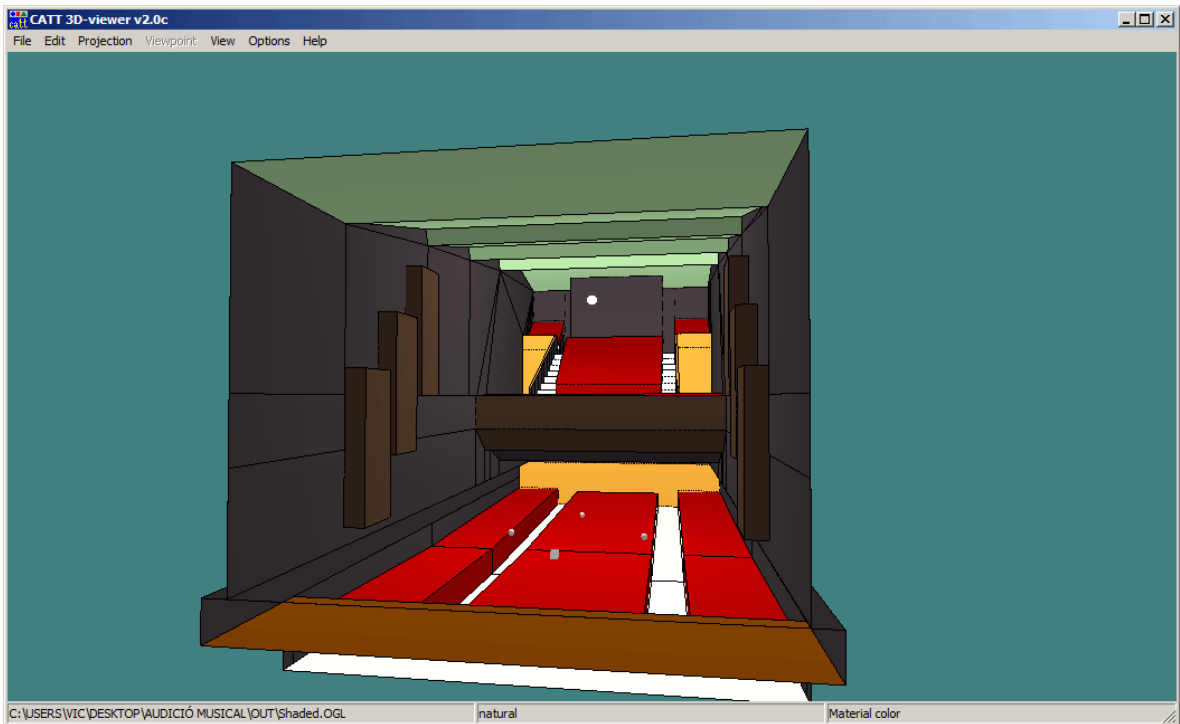


Figura 33

Amb els resultats de l'assaig a la sala (Annex XVIII, annex digital), amb les dues posicions de font, es tornen a calcular els paràmetres de qualitat acústica per a una sala d'audició musical i es comproven els canvis, Figures 34 i 35:

FONT 1 (Font: B0, Receptors: 01, 02, 03) :

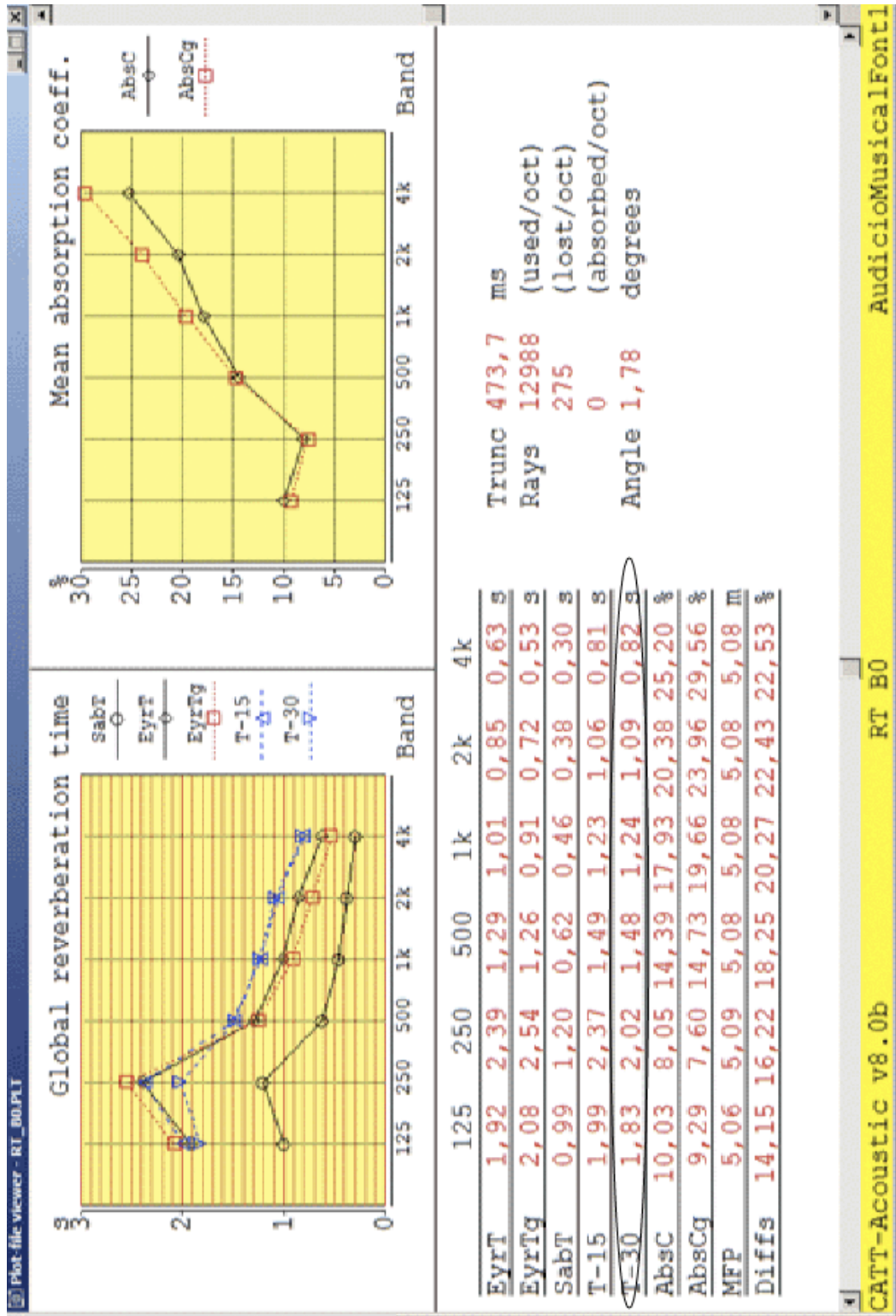


Figura 34

FONT 2 (Font: B1, Receptors: 04, 05, 06):

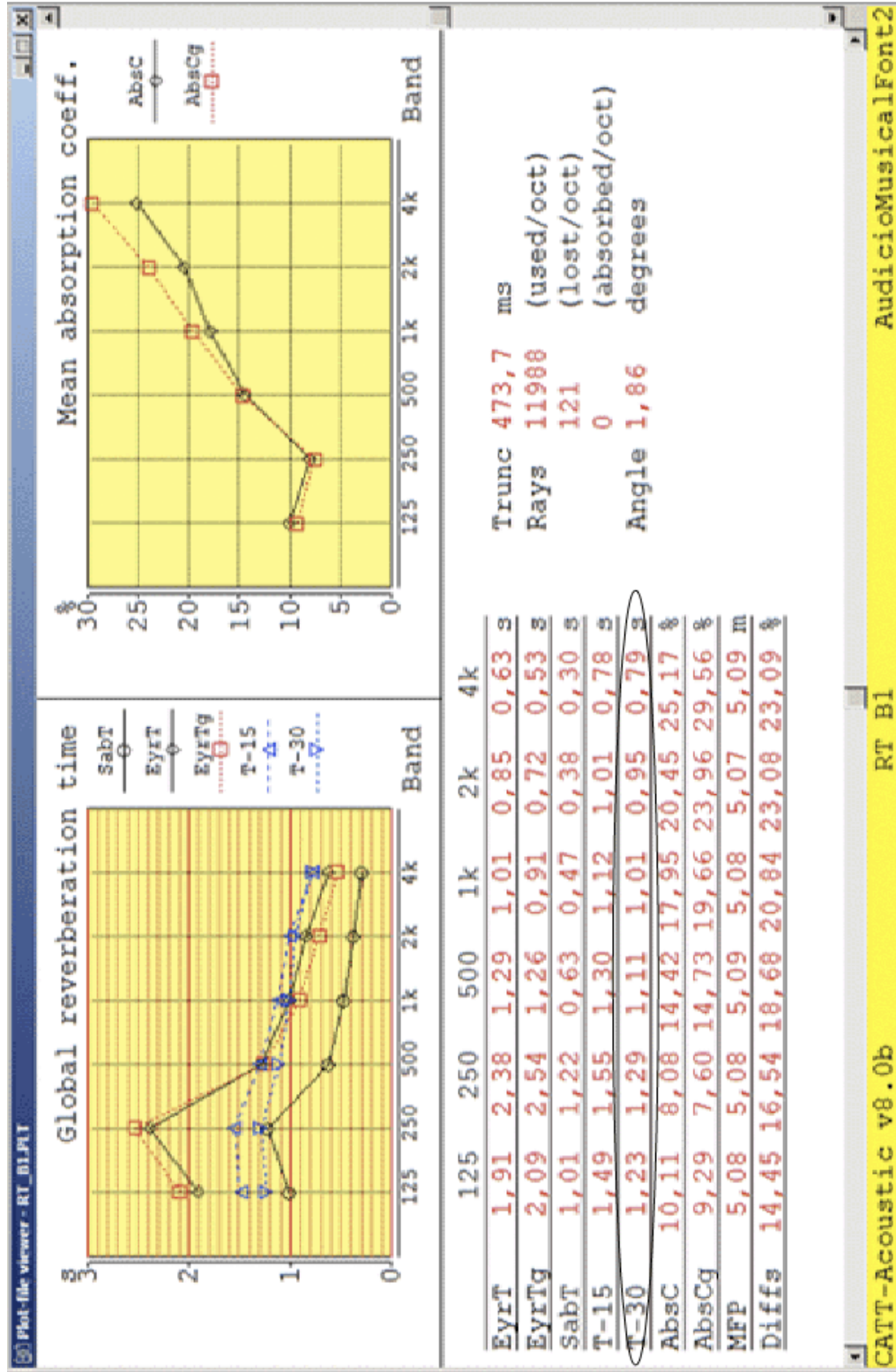


Figura 35

Els valors totals, segons els resultats dels assajos observats a les Figures 34 i 35, són:

	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
1	1,83	2,02	1,48	1,24	1,09	0,82
2	1,23	1,29	1,11	1,01	0,95	0,79
TOTAL	1,53	1,66	1,30	1,13	1,02	0,81

Taula 17

El nou valor dels paràmetres, segons la Taula 17, és:

Vivesa:

$$t_{R_m} = \frac{1,30+1,13}{2} = 1,22s$$

Calor:

$$BR = \frac{1,53+1,66}{1,30+1,13} = 1,313$$

Brillantor:

$$Br = \frac{1,02+0,81}{1,30+1,13} = 0,753$$

Claredat:

	500Hz	1kHz	2kHz
C80	1,338	1,656	1,952

Taula 18

$$C_{80} = (1,338+1,656+1,952)/3 = 1,65$$

$$C_{80} (dB) = 10\log(1,65) = 3,17dB$$

8. CONCLUSIONS

SALA PER A LA REPRODUCCIÓ CINEMATOGRÀFICA

L'adaptació de la sala arriba de manera natural, amb la posada a punt dels materials que la componen. Serà necessària una neteja a fons de la sala i un sanejament dels materials per a que aquesta responga acústicament com s'ha demostrat amb la simulació. Aquests processos en la sala, suposen una inversió inicial mínima, amb la que ja es compta en un procediment de reforma d'un recinte amb diversos anys d'ús i d'inactivitat i per tant de desgast dels materials.

Per tant, per a l'acondicionament de la sala per a rebre reproduccions cinematogràfiques s'obtidran òptims resultats amb la mínima inversió econòmica.

SALA PER A L'AUDICIÓ VERBAL

Com que es tracta d'una sala de gran volum, per a la reducció parcial, es necessita una cortina amb la suficient absorció per tal que cobreixi la reducció d'absorció provocada per suprimir una part de la sala i l'absorció que aquesta aporta i a més reduïska mínimament el temps de reverberació. Aquest és la primera dificultat que es troba en l'adaptació de la sala en aquest cas, ja que el que es cerca és la reducció del temps de reverberació en una sala de gran volum.

Amb la reducció del volum de la sala s'aconsegueix que l'efecte de la col·locació de material absorbent en els tancaments siga major, permetent una influència en la resposta de la sala, que prèviament no s'aconseguia.

Amb l'ajuda dels plafons, una vegada aplicada la reducció de volum, ja que, com hem dit, la seua influència serà necessària i més significativa, es completarà l'augment d'absorció necessari per aconseguir els valors que es necessiten per als paràmetres. Aquests plafons s'aprofitaran, per l'altra cara, per adaptar la sala a les necessitats en altres casos, component així un estalvi en dispositius per a la sala.

Amb l'adaptació proposada, s'obté una sala no massa seca amb bona claredat però un lleuger dèficit d'intel·ligibilitat, fàcilment solucionable amb la instal·lació de l'equip de reforç sonor (sistema de so).

Per altra banda, la distribució dels plafons els fa útils per al seu ús en l'adaptació de la sala a un altre tipus d'esdeveniments, aprofitant el sistema de subgecció i la cara lliure dels plafons.

La inversió econòmica per al dispositius necessaris, es troba principalment en els materials que s'hauran d'encarregar directament a les cases, que en molts casos inclouen en els seus preus, la instal·lació. Si no és el cas, els dispositius presenten un sistema de sugecció senzill, permetent la utilització de personal mitjanament qualificat per a dur a terme la seua instal·lació i per tant reduint les despeses.

SALA PER A L'AUDICIÓ MUSICAL

Els paràmetres, en aquest cas, s'han adaptat pràcticament amb valors exactes als valors desitjats per a la sala. La claredat encara s'haurà de millorar posteriorment amb el sistema de reforç sonor de la sala.

Tanmateix, l'adaptació de la sala per a l'audició musical, és a dir l'augment del temps de reverberació mitjançant la presència d'elements reflectants, ha presentat dificultats en un una sala de gran volum, com en aquest projecte. Aquestes dificultats, ja que es pretenia l'aprofitament de les instal·lacions utilitzades per a l'adaptació de la sala per a l'audició verbal, s'han resolt amb la correcta elecció del material per a la segona cara dels plafons mòbils, ja que la seua distribució i mida es trobaven limitats per les condicions imposades a l'altar adaptació de la sala.

Amb una modesta inversió s'aplica el material necessari per a la segona cara dels plafons, obtenint amb aquests un dispositiu multifuncional molt útil en una sala polivalent d'acústica variable.

Utilitzant la cara interna dels plafons absorbents per situar el material reflectant, es fa un gran estalvi en instal·lacions i comoditat per a l'emmagatzemament dels dispositius per a l'adaptació de la sala, el que facilitarà la feina del tècnic encarregat. Per altra banda, aquesta utilització compartida redueix les despeses, compartint-les en les dues adaptacions.

GENERALS

En l'aplicació de les solucions proposades i comprovades a les simulacions:

S'ha prioritzat la recerca de materials d'acondicionament que adaptaren la sala amb el menor nombre de canvis possible.

S'han aprofitat les mateixes instal·lacions i dispositius per a diverses adaptacions, per tal de simplificar el procediment d'adaptació de la sala i minimitzar les despeses en aquests.

S'han aprofitat els materials existents a la sala i s'ha intentat cuidar l'estètica tradicional, dins de les limitacions tècniques, del recinte.

S'ha dissenyat una sèrie de plafons que permeten la seua conservació en el magatzem del recinte, juntament amb la cortina separadora. Permentent amb la seua retirada total un estat base òptim per a la reproducció cinematogràfica.

S'han aconseguit uns resultats en els valors dels paràmetres, acceptables en cadascun dels casos d'adaptació, comptant amb una inversió econòmica moderada. Per tant, l'adaptació de la sala per als diversos casos serà viable tècnica i econòmicament.

9. ESTUDI ECONÒMIC

Aquest projecte compta amb un interès econòmic clar, que és l'existència de l'edifici construït, per la qual cosa només és necessària una moderada inversió en l'estudi del recinte, la instal·lació i materials per a la seua adaptació i un sanejament profund d'aquest, per poder tornar a obrir les portes, oferint una òptima resposta a l'acollida d'un gran ventall d'esdeveniments.

De cara a la inversió pública, el que complementa el pressupost necessari amb l'aportació d'ajudes des de l'administració de govern, l'interès rau en una inversió inicial que permet la seua recuperació amb un model econòmic enfocant l'ús del recinte per les diverses associacions culturals de la localitat, a canvi d'unes taxes representatives regulades segons les necessitats en temps d'ús.

Aquesta proposta permet recuperar la inversió inicial mitjançant l'activitat, a la sala, de les associacions existents a la localitat, per organitzar els seus esdeveniments: presentacions, concerts, reproduccions audiovisuals, recitals, etc. Que al mateix temps recuperen l'import invertit en l'arrendament de la sala, amb el cobrament d'entrades als esdeveniments o abonaments dels seus socis a un conjunt d'actes del seu interès.

La intervenció proposta al projecte, presenta una possibilitat, atractiva pel que fa a l'estalvi en edificació destinada a espais culturals, utilitzant recintes ja existents (moltes vegades inactius), adaptats per a les condicions necessàries actuals. S'estalvia la inversió econòmica en nova construcció i es reutilitzen edificis en bon estat que a més de recuperar la seua activitat, conserven l'atractiu històric.

PART 2

10. PLÀNOLS

Per aconseguir els planols del recinte, es demana la documentació als propietaris de l'edifici, juntament amb el projecte de reforma. Els propietaris informen que no compten amb una còpia dels plànols ni del projecte. Com que es tracta d'un projecte que es troba en procés d'acceptació per l'ajuntament de Gata de Gorgos, s'intenta aconseguir la còpia dels documents necessaris mitjançant el registre de documentació d'aquest, donant les dades dels propietaris del recinte, l'adreça i la data de petició de llicències.[11]

Un mes després de la primera sol·licitud, ens informen que no es compta amb una còpia dels documents que s'han demanat, ja que la data és anterior a l'inici del registre detallat de llicències, a la localitat.

Per aconseguir les dimensions de la sala, equipats amb un mesurador de distàncies ultrasònic i una sèrie de cintes mètriques, es prenen les mesures de la sala, mentre va anotant-se en una sèrie de plantes, alçats i perfils orientatius, per a la final composició del model 3D amb les mesures de la sala.

Per a complementar els plànols realitzats a mà alçada, es prenen una sèrie de fotografies de la sala, amb la finalitat de minimitzar l'error comés en respecte de les proporcions dimensionals del recinte.

Vistes a mà alçada i imatges de reforç utilitzades, incloses a l'Annex XIV.

En un darrer intent per treballar amb la màxima precisió possible i representar fidelment zones del recinte molt complicades de mesurar, es consulta directament a l'alcaldia de la localitat de Gata de Gorgos si hi ha alguna manera d'accedir als documents que es necessiten.

Amb l'ajuda de l'anterior alcalde i de l'alcaldesa actual, finalment s'aconsegueixen els plànols i la documentació (Annex XVI) que tres mesos enrere s'havien sol·licitat a l'oficina tècnica de l'ajuntament, que argumenta falta de dades en la sol·licitud dels documents, però que una vegada revisat, es demostra que aquesta es troba completa.

En el moment en què s'aconsegueixen els documents, en el cas d'aquest projecte, el model 3D ja es troba compost, però en futurs projectes cal anar amb cura i ser perseverant amb recerca d'informació encara que es troben negatives en el procés, ja que comptar amb aquests plànols haguera agilitzat i optimitzat el nostre treball, permetent-nos estalviar un llarg període de feina innecessària i llargs períodes d'espera.

Els plànols es troben ordenats, dins l'Annex XVI de la manera següents:

1. Ciments, Sanejaments i Presa de Terra
2. Emplaçaments
3. Distribució
4. Plànol d'instal·lació i cotes
5. Alçat i Seccions
6. Estructura
7. Coberta i Estructura
8. Detalls
9. Detalls de Façana
10. Memòria de fusteria

PART 3

11. PLEC DE CONDICIONS GENERALS I ECONÒMIQUES

En el procés d'acceptació del projecte per part de l'ajuntament, es presenten una sèrie de contratemps que se solucionen amb la comprovació del codi tècnic de l'edificació. La sala aconsegueix els requisits en els apartats concrets: Real Decret Part I (Annex II), DB-SI: Seguretat en Cas d'Incendi (Annex III) i DB-SUA: Seguretat d'Utilització i Accessibilitat (Annex IV).

El procediment seguit per registrar el projecte ha estat l'estipulat a la reglamentació de la Universitat Politècnica de València en TFC:

La composició d'una memòria prèvia amb objectius, fonaments teòrics i planificació per a l'acceptació del projecte per banda del tutor. Alta com a projectista en el departament corresponent.

Registre del projecte: títol, objectius, planificació, material i bibliografia. A la secretaria del centre es lliura la documentació que passa a la comissió de TFC que autoritza el projecte (Annex V)

Petició de correcció del projecte pel tutor (Annex VI) o pel tribunal (Annex VII)

El pressupost i comprovacions s'adapten a la legislació vigent al febrer del 2011.

12. PLEC DE CONDICIONS TÈCNIQUES I PARTICULARS

La conjunt de colors utilitzats per identificar els diversos materials de la sala, en la composició del model teòric, es troben recollits en el catàleg de colors en descomposició RGB recollida al catàleg de colors RAL. De la mateixa manera, els coeficients d'absorció acústica utilitzats per a simular la sala, es troben recollits a les Taules d'absorció (Annex IX)

Per poder comprovar i interactuar amb les simulacions de la sala en els diferents casos, s'ha de comptar amb els coneixements bàsics d'execució d'arxius amb el software de simulació CATT-Acoustic. El manual d'utilització d'aquest programa (Annex XV, annex digital) permet la representació i utilitzacions dels arxius detallats en l'apartat de Solucions i Simulacions.

13. PROCEDIMENT PER A L'ACCEPTACIÓ DEL PROJECTE

Per a l'acceptació del projecte per l'Ajuntament de Gata de Gorgos i els propietaris de la sala "Cine La Paz", s'ha de seguir un procediment de proposta, demostració de viabilitat i presentació detallada del projecte. Com que es tracta d'un projecte que permetrà l'ús de la sala per a una sèrie d'activitats d'interès públic i que per altra banda, necessitarà el suport econòmic de l'ajuntament, haurem d'aconseguir el suport del projecte per banda dels propietaris i per banda de l'ajuntament de la localitat. Aquest procediment es troba detallat a l'Annex XV.

PART 4

14. PRESSUPOST

INTRODUCCIÓ

Proposta tècnica i econòmica d'Acondicionament Acústic de sala polivalent amb aforament per a 460 espectadors a partir d'una sala de reproducció cinematogràfica.

1. PROPOSTA TÈCNICA D'ASSISTÈNCIA ACÚSTICA:

Aquesta proposta es troba dividida en dues fases:

Fase 1: Projecte Acústic

Fase 2: Controls Acústics: Assistència a la direcció d'obres i mesures acústiques finals

2. OBJECTIUS ACÚSTICS I MÈTODES DE CÀLCUL A DESENVOLUPAR

Fase 1:

ACONDICIONAMENT ACÚSTIC: Càlculs de les condicions actuals de la sala, composició d'un model virtual i detallat de solucions, distribució de materials i dispositius a la sala per a la seua adaptació a cada tipus d'esdeveniment.

El principal objectiu acústic és que la sala s'adapte correctament al funcionament del recinte per a cadascun dels seus usos, segons una sèrie de criteris acústics que es detallaran al Projecte Acústic.

Per aconseguir els objectius s'hauran de realitzar l'Acondicionament acústic de la sala en funcionament segons cadascun dels tipus d'esdeveniments, seguint una sèrie d'etapes:

Condicions òptimes per al recinte en l'ús concret i establiment del criteri acústic.

Estudi de la llunyania de la sala d'aquestes condicions en l'estat actual.

Definició de solucions i distribució, orientació i comprovació d'efecte de materials.

Estudi de reflexions amb font sonora i receptors definits. Anàlisi de la resposta impulsional del so a la sala i càlcul del temps de reverberació. Càlcul de paràmetres per a la determinació de la qualitat acústica del recinte, com per exemple:

Vivesa

Calidesa

Brillantor

Pèrdua d'articulació de consonants (%Alcons)

Índex d'intel·ligibilitat (STI)

Simulació de les condicions acústiques mitjançant el software d'assaig acústic

CATT-Acoustic v8.0.

Fase 2:

Aquesta fase es compon d'una sèrie de controls de qualitat amb assistència acústica en la direcció d'obra amb visites periòdiques i el control de mesures acústiques a la fase final de la instal·lació per verificar les condicions acústiques del recinte definitiu.

ASSISTÈNCIA A LA DIRECCIÓ D'OBRA

Seguiment i control de l'obra per a la inspecció ocular i verificació de correcció constructiva in-situ dels materials acústics i procediments de muntatge. S'inclourà la fase constructiva i l'acabat de materials. Els controls es divideixen en:

Control visual periòdic amb supervisió de materials i instal·lació.

Anàlisi de propostes de canvi per problemes que puguin sorgir a l'obra i elaboració de nous plecs de condicions tècniques per a possibles materials afegits per solucionar-los.

Supervisió i anàlisi de procediments d'instal·lació i muntatge.

Assistència acústica en càlculs necessaris a banda dels realitzats en vistes a l'obra.

CONTROL I VERIFICACIÓ ACÚSTICA

Realització de mesures acústiques en la fase final de l'obra per verificar el comportament acústic de la sala.

L'objectiu d'aquest control serà la determinació de la qualitat acústica del recinte després de l'aplicació de les millores projectades i la solució de problemes ens cas d'anomalia.

Es repeteixen els procediments de mesura del punt inicial d'anàlisi de la sala i s'avalua la llunyania dels resultats respecte als valors òptims, estudiant:

Resposta impulsional

Temps de reverberació

Vivesa

Calidesa

Brillantor

Pèrdua d'articulació de consonants (%Alcons)

Índex d'intel·ligibilitat (STI)

VALORACIÓ ECONÒMICA DE CADA FASE

FASES

IMPORT €

Fase 1: PROJECTE ACÚSTIC

Condicionament acústic

TOTAL FASE 1 3750

Fase 2 CONTROLS I VERIFICACIÓ ACÚSTICA

Assistència a la direcció d'obra

Control i verificació acústica

TOTAL FASE 2 4150

NOTA:

IVA no inclòs.

Viatges inclosos: Els de la fase 1 inclosa, fase 2: quatre + els de mesures

Per cada viatge addicional: Honoraris + desplaçament: 250 €

Forma i procediment de pagament i desplaçaments: a convenir.

15. BIBLIOGRAFIA

LLIBRES

- [1] RECUERO LOPEZ, M. *Acústica Arquitectónica: Soluciones prácticas*. Madrid: Paraninfo, 1992 697 p. ISBN 8428319553
- [2] CARRIÓN ISBERT, A. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos* Barcelona: Edicions UPC, 1998,2006 434 p. ISBN 8483012529

PROJECTES

- [3] VIDAL JUSTE, C. *Evaluación de inteligibilidad en acústica de salas*. 1998
- [4] MIRALLES MARTINEZ, A. *Estudio acústico y metodología de diseño de salas cinematográficas con equipamiento multicanal*. 1997

APUNTS

- [5] ARDID, M. *Acústica* 06/07 Escola Politècnica Superior de Gandia
- [6] REDONDO PASTOR, F.J. *Acústica arquitectònica* 06/07 Escola Politècnica Superior de Gandia
- [7] REDONDO PASTOR, F.J. *Disseny acústic de recintes* 08/09 Escola Politècnica Superior de Gandia

CITACIÓ DE PÀGINES WEB

- [8] MARTIN-BRAVO, M.A., TARRERO A.I., GARCÍA J. *Características Acústicas de Salas de Proyección de Cine, Certificación THX*. 2004.
< www.sea-acustica.es/Guimaraes04/ID7.pdf >
- [9] MOYA VIDAL, F., YEBRA CALLEJA M.S., VERA GUARINOS J. *Condiciones acústicas de las "salas de proyección cinematográficas": Confort fisiológico, acondicionamiento y aislamiento*. 2005.
< www.sea-acustica.es/Terrassa05/ASL004.pdf >
- [10] CATT. CATT-Acoustic v8. User's Manual: Room Acoustic Prediction and Desktop Auralization. Gothenburg (Suècia). 2002.
<www.catt.se>
- [11] RECERCA GENERAL. Wikipèdia.
<<http://es.wikipedia.org/wiki>>
- [12] SINTAXI CATT. *Syntaxe utilisée pour les propriétés acoustiques des matériaux*.
<catt.euphonia.fr/ressources/abs.pdf>
- [13] TEXAA. *Catálogo Abso de Texaa |AUDIA*.
<www.audia.es/descargas/ABSO.pdf>
- [14] UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA. *Absorción Acústica*. Universidad de Córdoba.
<<http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/%289%29%20Control%20por%20absorcion/absorcion%20acustica.htm>>
- [15] UIUC. *Report Multipurpose Auditorium*.
<http://online.physics.uiuc.edu/courses/phys498pom/Student_Projects/Spring05/Tyler_Dare/Tyler_Dare_Physics_498_Report.pdf>
- [16] BIBLING. *Motivaciones de proyectos*.
<<http://bibling.us.es/proyectos/abreproy/4393/fichero/Capitulo+0%252FCapitulo+0.pdf>>
- [17] CAESOFT. *Catt formación*.
<<http://www.caesoft.es/>>
- [18] DYNACOUSTICS. *Room Acoustics Prediction and Desckop Auralization – CATT-Acoustic v8*.
<<http://www.dynacoustics.gr/catt.pdf>>

- [19] JBL. *Cinema Sound System Manual*
<<http://wenku.baidu.com/view/ee6dcffdc8d376eeaeaa315d.html>>
- [20] Tecniacústica 2008 *Coimbra1*
<<http://www.arturobarba.com/pdf/Articulos%20congresos/TecniAcustica2008%20Coimbra1.pdf>>
- [21] Tecniacústica 2008 *Coimbra2*
<<http://www.arturobarba.com/pdf/Articulos%20congresos/TecniAcustica2008%20Coimbra2.pdf>>
- [22] EUPHORIA. *CATT- lock*
<<http://catt.euphonia.fr/ressources/lock.pdf>>
- [23] TÉCNICO DE AUDIO. *Disenando en Catt*
<<http://www.escuelasuperiordeaudio.com.ve/ampca/cattdesign.htm>>
- [24] CAESOF. *Absorción Acústica*
<<http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/%289%29%20Control%20por%20absorción/absorción%20acústica.htm>>
- [26] CAESOF. *Catt Full Auralization Características*
<http://www.caesoft.es/productos/catt/catt_auralización/CATTauralization.htm>
- [27] BIBING. *Caracterización acústica del aula*
<<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4393/fichero/Capitulo+4%252FCapitulo+4.pdf>>
- [28] BIBING. *Catt Acoustics A.1*
<<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4393/fichero/9+%28apendice+A%29%252FApendice+A.pdf>>
- [29] DANOSA. *Productos*
<http://portal.danosa.com/danosa/CMSServlet?node=lista_prod&lng=1&site=1&dbg=1>

16. ANNEXOS

Annex I: Sol·licitud prèstec de material

Annex II: Real Decret Part I

Annex III: DB-SI: Seguretat en cas d'Incendi

Annex IV: DB-SUA: Seguretat d'Utilització i Accessibilitat

Annex V: Sol·licitud d'autorització del Treball Final de Carrera

Annex VI: Sol·licitud d'avaluació pel Tutor del Treball Final de Carrera

Annex VII: Sol·licitud d'avaluació per tribulan del Treball Final de Carrera

Annex VIII: Catàleg de colors RAL

Annex IX: Taules de coeficients d'absorció de materials

Annex X: Taula d'associacions de Gata de Gorgos

Annex XI: Memòria de possibilitats de la sala "CINE LA PAZ"

Annex XII: Especificacions material *Akustik Samt AV12 gerafft de mb akustik*

Annex XIII: Especificacions material *ROCDAN 231/40* de DANOSA

Annex XIV: Vistes a mà alçada de la sala i imatges de reforç

Annex XV: Pcediment per a l'acceptació del projecte

Annex XVI: Codi dels arxius inicials d'eixida, primera simulació CATT-Acoustic

Annex XVII: Còpia plànols del recinte "CINE LA PAZ" de Gata de Gorgos

ANNEXOS DIGITALS

Annex XVIII: Manual d'utilització CATT-Acoustic v8.0

Annex XIX: Documents font i resultats simulació sala de reproducció cinematogràfica

Annex XX: Documents font i resultats simulació sala d'audició verbal

Annex XXI: Documents font i resultats simulació sala d'audició musical

AGRAÏMENTS

A Víctor García Gabarda, Maria Rosa Mulet Grimalt, Josep Vega Molina, Dídac Vega Mulet, Antonio Signes Grimalt, Francisco Signes Grimalt, Francisca Signes Grimalt i Ana Maria Soler.