DISSENY ACÚSTIC I D'EQUIPAMENT D'UN ESTUDI D'ENREGISTRAMENT

PROJECTE FINAL DE CARRERA

Enginyeria tècnica en Telecomunicacions,

especialitat en so i imatge

Universitat Politècnica de Catalunya

Joan Farrés i Ramos

Director: Ignasi Esquerra

Terrassa, juny de 2006

Índex

Introducció ... 3
1. Estat inicial del projecte i requisits ... 6
1.1. Estat de les obres ... 7
1.2. Requisits del projecte ... 10
2. Distribució de l'espai de gravació ... 12
3. Aïllament acústic de l'estudi ... 14
3.1. Requisits d'aïllament ... 15
3.2. Aïllament de l'edifici ... 16
3.3. Aïllament dins les sales ... 19
3.4. Aïllament entre les sales ... 24
3.4.1. Aïllament de la paret divisòria ... 24
3.4.2. Aïllament de les cabines ... 27
3.5. Aïllament de portes i vidres ... 28
3.5.1. Portes ... 28
3.5.2. Vidres ... 30
4. Condicionament acústic de l'estudi ... 32
4.1. Tractament acústic de la sala de control ... 35
4.1.1. Estudi de les ressonàncies ... 35
4.1.2.- Disseny de la sala de control ... 39
4.1.3. Selecció dels altaveus i de la posició d'escolta ... 40
4.1.4. *Ray tracing* amb Ease ... 42
4.1.5. Disseny dels difusors ... 47
4.1.6. Determinació del temps de reverberació ... 52
4.2. Tractament acústic de la sala de gravació principal ... 54
4.2.1. Estudi de les ressonàncies ... 54
4.2.2. *Ray tracing* amb Ease ... 56
4.2.3. Determinació del temps de reverberació ... 61
4.3. Tractament acústic de la cabina reverberant ... 63
4.3.1. Estudi de ressonàncies ... 65
4.3.2. *Ray tracing* amb Ease ... 66
4.3.3. Determinació del temps de reverberació ... 69
4.4. Tractament acústic de la cabina morta ... 70

4.4.1. Estudi de les ressonàncies 71
4.4.2. *Ray tracing* amb Ease 72
4.4.3. Determinació del temps de reverberació 73
5. Equipament de l'estudi 76
5.1. Preamplificadors 77
5.1.1. Preamplificador Avalon VT-737 SP 78
5.1.2. Preamplificador Joemeek VC-1 78
5.1.3. Preamplificador TL Audio Ivory 5051 79
5.2. Sistema Pro Tools 80
5.2.1. Pro Tools HD 2 Accel 80
5.2.2. Interfícies 81
5.2.3. Controladora Control|24 82
5.2.4. Moble de la sala de control 83
5.3. Monitoratge en l'estudi 84
5.3.1. Monitor Mackie HR824 84
5.3.2. Monitors Yamaha NS-10 86
5.4. Equipament variat 87
6. Interconnexió de l'estudi 89
7. Sistema de climatització i de ventilació 91
7.1. Panasonic 92
7.2. Movinord 95
7.3. Daikin 96
7.4. Col·locació del sistema en les sales 98
8. Conclusions 100
Bibliografia 101
Agraïments 102

Introducció

Està demostrat que, a part de les olors, les imatges, i tot allò que pot portar l'ésser humà a un estat de record, una melodia o música és el que més ràpidament suscita aquest estat. La música és present a totes les societats. Fins i tot, en alguns països, com ara Suècia, el fet de ser músic o d'estar estudiant música suposa un sou fix al mes. Però poca música coneixeríem si no fos perquè la podem sentir sense la presència dels músics, i això no seria possible sense els estudis de gravació.

Un estudi de gravació és el primer i potser el més important d'un esglaó de passos que possibiliten la coneixença de les composicions musicals a partir de la creació d'un disc. Podríem dir que l'estudi és el vehicle d'immortalització de la música. El problema és que una instal·lació d'aquestes característiques suposa una inversió inicial i un cost de manteniment molt elevats, ja que la tecnologia en aquest camp canvia d'una forma molt ràpida i per poder ser un estudi competent en tot moment s'ha de modernitzar l'equip contínuament. De fet, un article d'una revista americana concloïa que un estudi de gravació és la causa principal de crisi econòmica després de la Fórmula 1. Això pot semblar exagerat, i probablement sigui una conclusió ben poc objectiva, però no deixa de ser una opinió que pot resultar encertada, i és que els equips d'àudio professional són molt cars i, sobretot les unitats d'efectes i de caixes de ritmes i *samplers*, es veuen modernitzats contínuament amb processadors més ràpids i algoritmes més acurats a la realitat, la qual cosa fa caríssima la substitució d'aquest tipus d'equips.

Una part d'aquesta elevada inversió inicial es destina a l'acústica de les instal·lacions. Una bona acústica és essencial per garantir la qualitat de les gravacions. Una sala mal dimensionada pot donar lloc a coloracions no desitjades. Una sala molt gran (com una sala per gravar grans orquestres) haurà de tenir una alçada també molt gran, i haurà d'estar dissenyada al mil·límetre, ja que les freqüències de ressonància causades per la presència de modes propis axials (entre dues parets paral·leles) tindran un valor que sempre depèn de la longitud d'ona, i aquesta és proporcional a la distància entre les dues parets.

Però potser la part d'acústica que més importància té i que una persona no experimentada pot notar sense dificultats és el temps de reverberació, el qual també depèn de les dimensions de la sala, però també i possiblement en major importància dels materials que cobreixen les parets. Un material molt porós (com la llana de roca o el polietilè expandit) i amb un gruix elevat absorbirà gran part de l'energia sonora incident, mentre que un material poc porós (com el guix) reflectirà la major part d'aquesta energia. Si es calcula acuradament la distribució de cada tipus de material,

es pot obtenir un valor d'absorció mitjà desitjat, que comportarà més o menys temps de reverberació (el temps de reverberació i el valor mig d'absorció són inversament proporcionals). El conflicte sol estar en determinar el valor de temps de reverberació que es desitja, i això no és tasca fàcil. Per exemple, si es vol gravar una pista de veu, es voldrà una sala més aviat "morta", és a dir, un temps de reverberació baix (de l'ordre de 0.3 – 0.5 s), ja que posteriorment la veu serà tractada amb els efectes convenients. Si, per contra, el que volem gravar és un instrument de percussió, com una bateria, voldrem que la sala tingui una mica de vivesa natural, però que tampoc sigui una sala massa "viva" . En aquest cas, necessitarem un temps de reverberació que sigui més alt que el de veu però que no passi de 1.2 segons. Si el que volem és gravar, per exemple, el so d'una guitarra posant microfonia en l'amplificador, es recomanen uns valors de temps de reverberació d'entre 1.2 i 1.6 segons.

Com es pot veure, és un rang de temps de reverberació molt alt, i triar-ne un no resulta fàcil en cap moment. No obstant, es pot dotar la sala d'una acústica variable, és a dir, de superfícies mòbils que depenent de la posició que tinguin donaran lloc a un temps de reverberació diferent, ja sigui per mitjà del canvi de material de la superfície o tenint una superfície basculant (als estudis Music Lan Recording Studios, el sostre de la sala principal de gravació és mòbil i té una alçada màxima de 7 metres, amb la qual cosa s'obté un temps de reverberació variable que va de 0.6 a 1.7 segons; www.musiclan.com/web_catala/home.htm). Aquesta solució, però, és molt cara constructivament i de disseny. Una altra solució per aconseguir unes instal·lacions "acústicament polivalents" és construir més d'una sala, i que cadascuna tingui característiques acústiques específiques (com als estudis 44.1 d'Aiguaviva, Girona; www.44.1estudidegravacio.com/cat/portada.htm). Aquesta solució pot resultar menys cara, sobretot si es tracta d'un disseny a partir de zero (sense tenir límits ja construïts), i pot resultar més còmoda, ja que cada component del grup musical a enregistrar està en un ambient diferent que afavoreix la sonoritat del seu instrument, i poden tocar tots junts sense que tota la microfonia capti quelcom dels altres instruments.

Una altra part molt important en la inversió inicial d'un estudi és l'equipament. Tal com està la tecnologia, amb un bon ordinador i uns bons convertidors es poden gravar coses amb una qualitat professional sense necessitat de massa infraestructura, cosa que fa plantejar el dubte de si els estudis són realment necessaris, però en qualsevol cas la conclusió sempre és la mateixa: són necessaris. A l'hora de fer una bona mescla o un *mastering* adequat es necessita més que un ordinador i uns bons convertidors. Necessitarem, per exemple, una bona taula de mescles motoritzada i dos parells d'altaveus, part importantíssima en la sala de control d'un estudi de gravació.

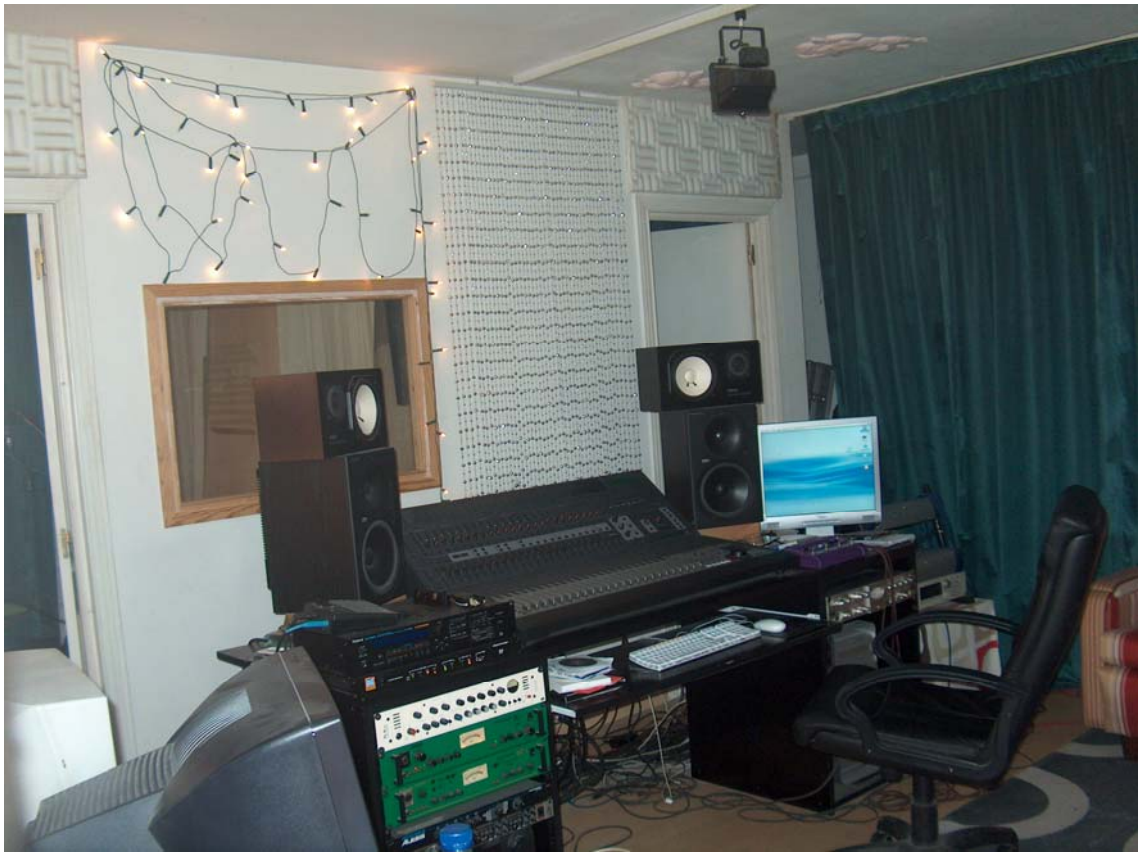
Es recomana la possessió d'un sistema d'altaveus de gran qualitat i amb diafragmes grans que cobreixi, si pot ser, tota la part de l'espectre audible de l'ésser humà d'una forma bastant plana (sense amplificacions sobtades, positives o negatives, en certes bandes de freqüència), però també uns monitors secundaris de dimensions més petites. Això té una raó essencial i trivial: la gent a la que majoritàriament va destinat un enregistrament no té uns altaveus de grans dimensions a l'abast, per tant, s'haurà de garantir que la mescla final soni perfectament en qualsevol mida de monitors. Si fem una feina dura mesclant amb uns monitors de petites dimensions, i fem servir els altaveus de diafragma més gran per a mesclar la part de freqüències que no cobreixen els monitors petits, obtindrem una mescla que, al sonar en monitors domèstics, tindrà un so potent a totes les bandes de freqüència i no es confondran instruments.

Tot això i més, és el que es tindrà en compte en aquest projecte, que consistirà en el disseny d'un nou estudi de gravació que a data d'entrega d'aquest PFC s'està acabant de construir al poble de Salt, tocant la ciutat de Girona. Veurem com s'han dut a terme tots els passos d'aquesta gran inversió que, mitjançant un bon disseny, mirarem de reduir tan com es pugui. Veurem la distribució de les sales en l'espai arquitectònic de l'estudi, l'aïllament dut a terme per eliminar qualsevol soroll provinent de l'exterior i viceversa (que no molestis ni siguis molestat per nivells de soroll massa alts), el condicionament de cada sala per complir els requisits que es volen i la descripció de l'equipament, així com la seva interconnexió, tant pel que fa a nivell de sala de control com a nivell d'interconnexió entre les sales (per mitjà de caixetins).

Si comparem tot el que s'analitzarà en el decurs d'aquest projecte amb els coneixements adquirits a la carrera, és inevitable trobar una versemblança directa entre el projecte i les assignatures d'acústica i Adquisició i reproducció audiovisual, on s'ha vist tot el relacionat amb aïllament i condicionament que es veurà, així com tota la part de col·locació d'altaveus en les sales. Però no acaba aquí. Una part d'aquest projecte es basa en l'estudi de l'equipament que hi haurà a l'estudi, pel qual aquest PFC també estarà lligat als coneixements adquirits a l'assignatura d'equips i sistemes acústics i de vídeo.

1. Estat inicial del projecte i requisits

Lluís Costa (Barri baix, Adrià Puntí, Kitsch), guitarrista gironí nascut al poble de Salt, es va introduir al món dels estudis de gravació l'any 1998. En una caseta de la mida d'un garatge que s'havia construït uns anys abans, hi va muntar un petit estudi de gravació format per una sala de control de 3.5 x 3.5 (uns 11 m^2) i una sala de gravació de dimensions molt petites, bàsicament per a les seves gravacions i les dels músics més propers a ell. Aquest estudi es va anomenar L'studi, i fins que el nou estudi, objectiu d'aquest projecte, estigui acabat, segueix en funcionament. En un principi, grups petits de la ciutat que necessitaven una maqueta de presentació per enviar a les discogràfiques van començar a utilitzar els seus serveis. Poc a poc, l'augment de la demanda va propiciar l'ampliació de L'studi, augmentant la sala de control, convertint l'antiga sala de control en sala de gravació i afegint una sala de gravació més petita (1 x 3 metres) i amb un temps de reverberació més baix per gravar-hi bàsicament amplificadors (de guitarra, baix, teclat, bateries electròniques...) i afegint també més equipament, fins a quedar en el seu actual estat (fotografia 1).



Fotografia 1: estat actual de L'studi

Amb el temps, la demanda de L'studi ha augmentat encara més, i s'ha optat per comprar el terreny del costat de la construcció actual i, a part de construir-hi una casa en les plantes superiors, la planta baixa s'ha dissenyat des de bon principi pensant en la instal·lació d'un estudi de gravació professional i competent, i preparat pel que vingui en quant a avenços tecnològics. Aquest estudi és el que es té per objectiu dissenyar en aquest projecte final de carrera.

La idea des d'un principi ha estat la construcció d'una sala gran de gravació i, col·locades dins d'aquesta sala dues cabines de diferent mida i disseny acústic (una cabina viva i una cabina morta). Aquesta idea té dues vessants pràctiques molt importants: per una banda s'aprofita tot l'espai de la planta baixa destinat a la construcció de l'estudi, i per l'altra es fa que la sala de gravació principal tingui una forma irregular, que propiciarà, amb les dimensions adequades, la dificultat de la creació d'ecos flotants i d'altres anomalies acústiques. En l'apartat següent es veurà com s'ha dissenyat l'espai destinat a les cabines i l'espai destinat a la sala de gravació principal.

1.1. Estat de les obres

En el moment d'inici d'aquest projecte, la paret divisòria de la sala de control amb la sala de gravació principal (la que conté el vidre que proporciona comunicació visual entre les dues sales i que se sol anomenar peixera) ja estava dissenyada i construïda (fotografia 2), si bé el seu disseny no ha estat un obstacle en cap moment a l'hora de dissenyar les dimensions, ja que la paret posterior a la sala de control (fotografia 3) és només provisional i s'ha de tirar a terra.

Fotografia 2: paret divisòria

Fotografia 3: paret posterior provisional

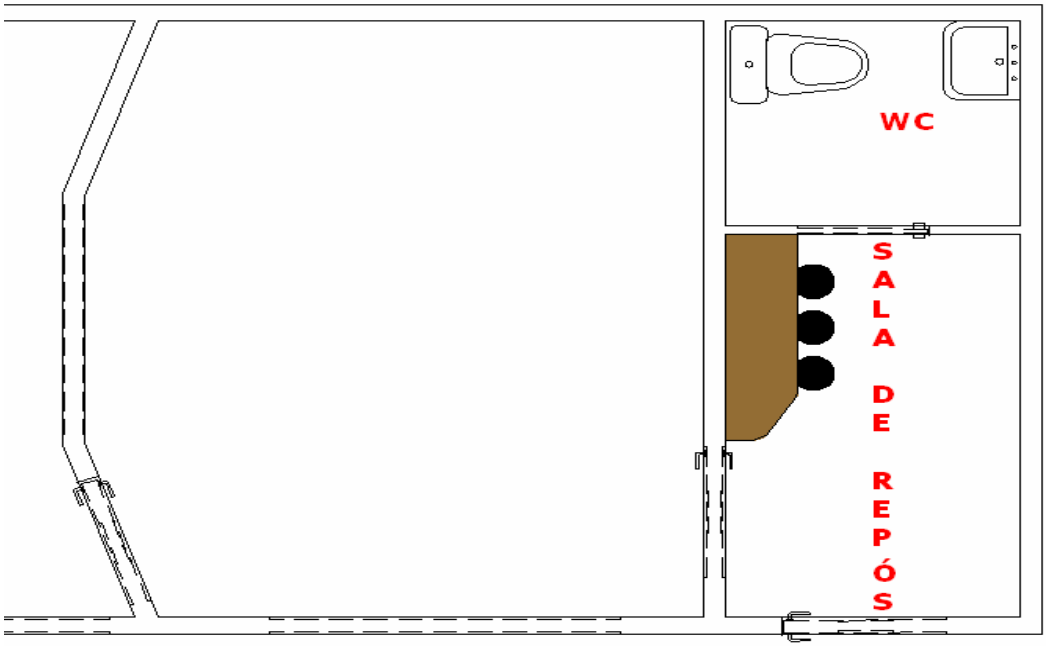
En la fotografia 2 podem veure la paret que separa la sala de control amb la sala de gravació. És una paret de rajol de 300 mm d'amplada que del costat de la sala de control estarà coberta de guix (fotografia 4), mentre que del costat de la sala de gravació hi haurà col·locat el material per a l'aïllament entre les sales[1]. Com es pot apreciar, aquesta paret està formada per tres mòduls (a la fotografia se'n poden veure dos). El mòdul del mig conté el marc de fusta que recolzarà el vidre o peixera, que és de grans dimensions (2 x 0.9 metres), i que és paral·lel a la paret posterior de l'estudi. Les altres dues formen un angle tancat amb aquesta paret, per evitar l'aparició d'ecos flotants i per evitar un mode axial entre aquesta paret i la posterior. També podem veure la porta, que ja estava posada en el moment d'inici del projecte (veure apartat 3).

En la fotografia 3 podem veure la paret posterior (provisional) de l'estudi mirada des de fora. L'edifici de l'actual estudi queda a l'esquerra d'aquesta fotografia, al costat de la porta de reixa metàl·lica. L'espai cobert amb una capa de Porland que queda al darrera de la paret és l'espai on es podrà construir (fins al límit del nivell) i, per tant, serà el màxim de longitud possible de l'estudi (que està aproximadament a 6.5 metres de la paret divisòria de la fotografia 2).

[1] Veure apartat 3. Aïllament de l'estudi

Fotografia 4: Paret divisòria des de la sala de control

Al darrera de la porta des de la que s'ha fet la fotografia 4, hi ha una part de 5.5 x 2 metres, dels quals 2 x 2 metres estan destinats a la construcció d'uns serveis. La resta serà una saleta amb una taula a mode de barra de bar i uns quants tamborets (també a l'estil barra de bar), i s'hi col·locarà una cafetera, així com un petit frigorífic, un equip de música i hi hauran, organitzats en lleixes, els cd's que es vagin gravant i que ja s'han gravat a L'studi (plànol 1).



Plànol 1 : sala de repós i WC

1.2. Requisits del projecte

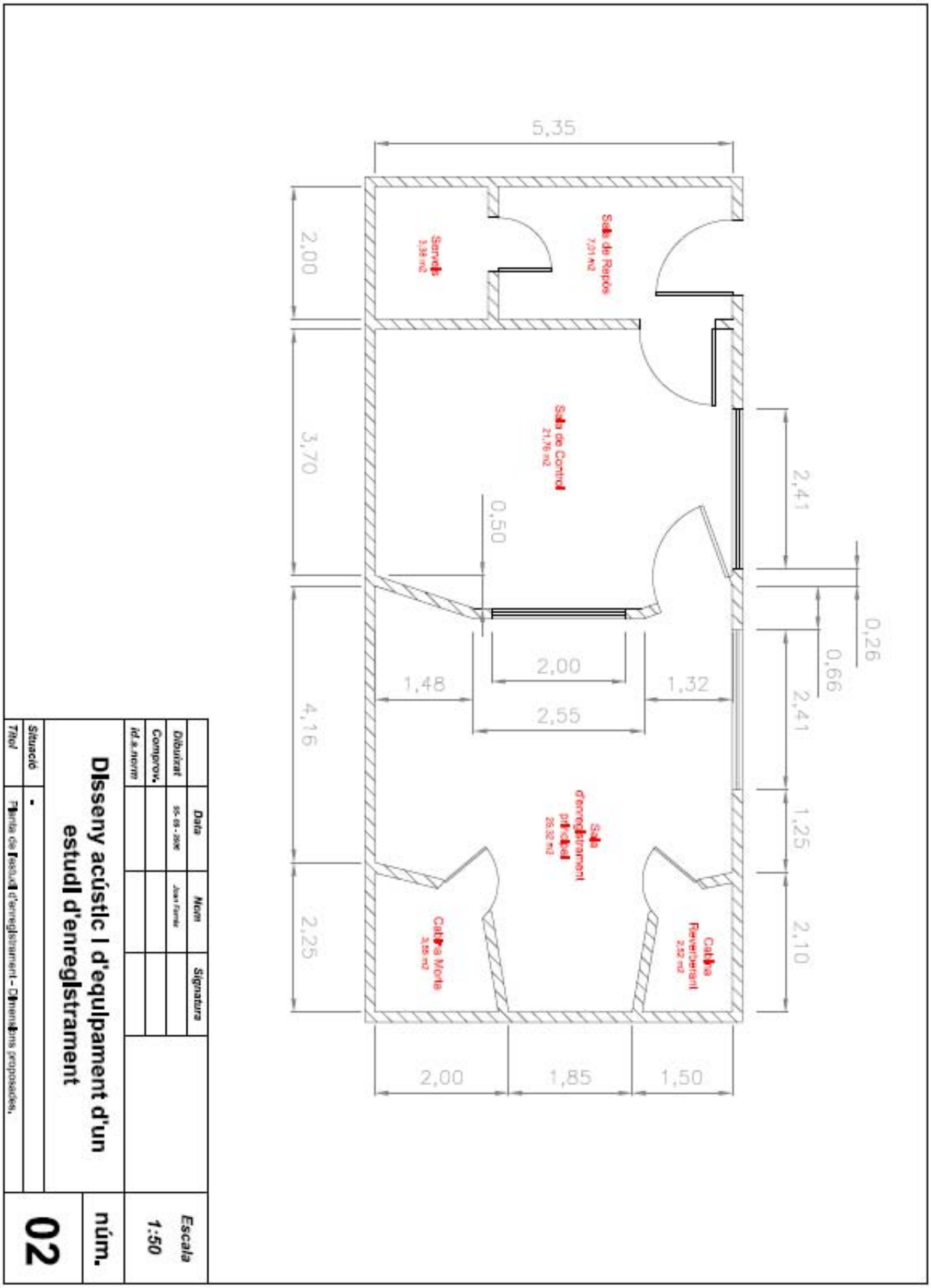
Un cop vist el que és tot l'espai de l'estudi i el que ja estava decidit i construït en el moment de començar a dissenyar, haurem de tenir en compte els requisits que s'hauran de complir, si pot ser ajustant el pressupost tan com es pugui. Anem a veure aquests requisits:

1. Primerament, s'haurà de dimensionar l'espai de sala de gravació destinat a la sala de gravació principal i l'espai destinat per a les cabines.
2. La forma exterior de les cabines haurà de dissenyar-se pensant en l'acústica de la sala principal, ja que es vol tenir una sala d'entre 10 i 12 parets.
3. La sala principal haurà de ser una sala bastant versàtil i estarà orientada bàsicament a gravacions de percussió, de presa de so d'instruments acústics i a la gravació de veus al mateix temps, com per exemple, gravacions *a cappella*.
4. De les dues cabines, se n'haurà de dissenyar una pensant en aplicacions de veu (una sala amb un RT més aviat baix) i l'altre pensant en aplicacions de gravació d'instruments. S'ha pensat en una sala amb un RT alt per obtenir una reverberació natural que doni un toc de vivesa i efecte de sala de més mida a, sobretot, els amplificadors de guitarra i de baix, així com de teclat.
5. La cabina destinada a veus haurà de tenir l'espai suficients per acomodar-hi fins a tres cantants com a mínim.
6. La sala de control haurà de tenir un disseny equilibrat acústicament. Això voldrà dir que la resposta en freqüència de la sala sigui plana o que no mostri massa variacions en el conjunt de l'espectre audible. En la part 4, en la que es tractarà l'acondicionament de cadascuna de les sales, es veurà que s'ha optat per crear, en la sala de control, una zona sense reflexions de primer i segon ordre. D'aquesta manera es garanteix l'equilibri acústic i a la vegada es té la sensació d'estar a una sala més gran.
7. La interconnexió entre les sales es farà mitjançant caixetins, i els cables de connexió entre els caixetins de les cabines, de la sala de gravació principal i la sala de control es farà per terra mitjançant tuberes de PVC.

8. L'ambient en la sala haurà de propiciar la concentració que fa falta tant a músics com a enginyers per a fer la seva feina com cal. Per això s'haurà de ser meticulós en el disseny del sistema de climatització i de ventilació de cadascuna de les sales de l'estudi.

2. Distribució de l'espai de gravació

En la següent pàgina podem veure el plànol acotat i a escala (plànol 2) sobre les dimensions finals de l'espai de gravació.


5,35
2,00
3,70
4,16
2,25
2,41
0,26
0,66
2,41
1,25
2,10
0,50
2,00
1,48
1,32
2,55
2,00
1,85
1,50
Sala de Repós
7,91 m2
Servei
1,38 m2
Sala de Control
21,76 m2
Sala d'enregistrament principal
28,32 m2
Cabina Reverberant
2,52 m2
Cabina Morta
3,55 m2
Disseny acústic I d'equipament d'un estudi d'enregistrament
Dibuixat
Comprov.
Id.a.norm
Data
Mom
Signatura
Escala
1:50
Situació
-
Títol
Planta de l'estudi d'enregistrament - Dimensions proposades.
núm.
02

Plànol 2

3. Aïllament acústic de l'estudi

Probablement no hi ha cap veí en aquest món que toleri els nivells de pressió sonora elevats, sobretot si hi està exposat moltes hores seguides, com és el cas d'un estudi de gravació, en el que, com a mínim, s'està treballant sense descans 8 hores al dia entre setmana, inclòs algun cap de setmana.

L'aïllament és un aspecte molt important a tractar en un recinte d'aquestes característiques, i no només pel fet de que l'excessiu nivell de pressió sonora que poden emetre els instruments com, per exemple, de percussió, poden molestar allò que ens envolta; també hem de tenir en compte que estem en un estudi, és a dir, on es pretén gravar so d'alta qualitat, i això significa que la sala de gravació ha de ser el més silenciosa possible perquè la microfonia present en la sala no pugui captar cap soroll de fons. Per tant, amb un bon aïllament no només estaran tranquils els veïns, també quedaran unes gravacions amb més qualitat degut a la poca presència de soroll.

Començant pels ciments, el més important és saber com es transmet el soroll d'una estructura cap a l'exterior. Ho pot fer de dues maneres:

1. **Soroll aeri:** soroll propagat a través de la via aèria, és a dir, directament (és el cas d'una finestra, oberta o no, des de la qual sentim el tràfic dels carrers de l'exterior, per exemple).
2. **Soroll estructural:** soroll propagat a través d'una estructura per la vibració d'aquesta. És important saber que només pot generar soroll estructural alguna cosa que estigui en contacte directe amb la superfície. Aquest tipus de soroll també s'anomena soroll d'impacte.

Per disminuir la transmissió aèria només hi ha una manera: dissenyar la cobertura acústica de les parets que limiten l'espai musical posant-hi diferents capes de diferents elements el més porosos possible (és a dir, de baixa densitat → poca massa i molt volum). Per evitar la transmissió estructural del so, teòricament s'hauria de tenir una sala formada per parets que no fossin solidàries a les parets del recinte, o sigui, una mena de falsa sala o sala flotant suportada per molles metàl·liques que, a part de suportar tot el pes de l'estructura, vibressin a un ample de banda determinat i evitessin així la transmissió del so del mode estructural. El problema bàsic d'aquest sistema és que la seva instal·lació és molt cara. A part, disminueix l'alçada del conjunt, ja que una falsa sala ocupa molt d'espai i l'alçada, en el nostre cas, i tenint en compte que sobre l'estudi hi ha una casa construïda, és limitada. Tot i així, hi ha maneres més senzilles de poder fer que una paret no sigui solidària a l'estructura. Ho anirem veient

més endavant, però primer haurem de fixar-nos en els requisits necessaris que hem de tenir en compte de cara al càlcul i construcció de l'aïllament.

3.1. Requisits d'aïllament

S'entén per soroll de fons tot aquell que es percep en una sala quan no s'hi està duent a terme cap activitat. Aquest soroll pot ésser causat, per exemple, pel sistema de climatització[2], pels sistemes elèctrics (com els ulls de bou) o, simplement, pels sorolls que provenen de l'exterior. El problema és que el grau de molèstia d'aquest soroll depèn de la freqüència, per això es defineixen una sèrie de corbes anomenades NC (*Noise Criteria*) que, no només ens serviran per avaluar els efectes del soroll de fons en cada octava de freqüència de 63 a 8000 Hz, sinó que també és la norma que se segueix per determinar els nivells màxims recomanats de soroll de fons per a diferents tipus de sales. En la següent figura (figura 1) podem veure representades aquestes corbes.

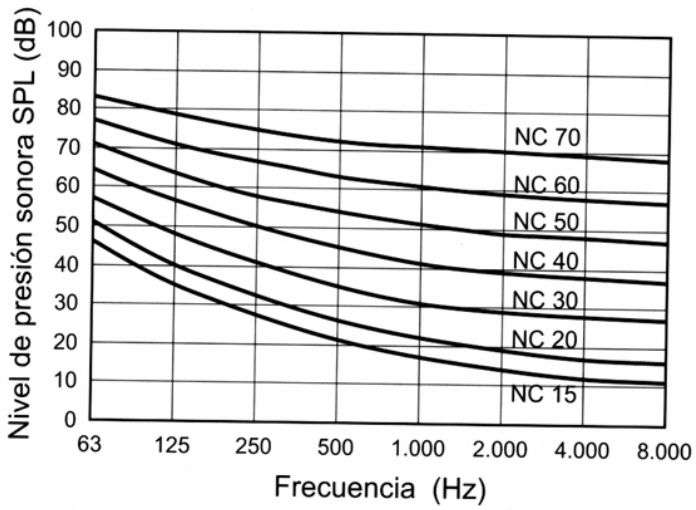


Figura 1: Corbes NC (*Noise Criteria*)

D'aquestes corbes, la més indicada per a un estudi de gravació és la NC 15, que equival a un nivell de soroll de fons màxim de 28 dBA en tot el rang de freqüències (cal dir que la ponderació A discrimina les baixes freqüències, ja que aquestes, en propagar-se fora l'edifici, poden molestar tot i estant a un nivell de pressió sonora molt baix). Hi ha qui diu que amb la corba NC 20 s'aconsegueix el mateix resultat i que és el més equilibrat entre qualitat de silenci i cost constructiu, però la majoria d'autors coincideixen a estipular la norma NC 15 com la més adequada.

[2] Veure apartat 8.- Sistema de climatització i ventilació

Un cop sabem el nivell màxim de soroll que ens hem de proposar complir, podem veure els requisits bàsics per a l'aïllament:

1. Haurem de tenir en compte totes les possibles fonts de soroll internes de l'estudi i intentar fer-les tan poc sorolloses com sigui possible.
2. Haurem d'avaluar el nivell de soroll exterior provinent, per exemple, del tràfic, i dissenyar l'aïllament segons els valors obtinguts.
3. Haurem de reduir al màxim la transmissió estructural (sobretot del sostre), ja que sobre l'estudi hi ha una vivenda.
4. Comptant que estem en una zona residencial on hi ha pisos a un costat i cases a l'altre (amb una separació d'uns quatre metres per costat), haurem de garantir que els nivells de soroll transmesos a l'exterior siguin el més baixos possible.
5. Garantir també un aïllament raonable entre la sala de control i les sales de gravació, ja que l'excessiu nivell de soroll en la sala de gravació pot emmascarar el nivell dels monitors (òbviament, només en el cas que aquests estiguin a un nivell mitjà – baix) i pot confondre a l'enginyer de so en les equalitzacions que, tot i que les que funcionen a partir de *plugins* es poden retocar després, les que provenen dels previs no es podran retocar amb tanta facilitat i poden disminuir la qualitat de la gravació.

Ara que hem estudiat el que hem de tenir i per què en quant a aïllament, anem a veure les solucions per les quals hem optat. Primerament, veurem l'aïllament que, per si mateix, proporciona la construcció de l'edifici. Després veurem com s'ha fet l'aïllament de les sales i seguidament l'aïllament que hi ha entre aquestes. Per últim, veurem les característiques de les portes (que ja estaven posades al inici d'aquest projecte) i dels finestrals exteriors.

3.2. Aïllament de l'edifici

La llei estipula que, entre les parets mitgeres[3] dels edificis, hi ha d'haver un aïllament bàsic de 45 dBA. Aquest aïllament és el mínim per garantir que els nivells de soroll d'una vivenda no molestin al veí que comparteix aquestes mitjaneres amb nosaltres. En el cas d'una paret exterior, haurem de garantir aquests 45 dBA igualment, però haurem de tenir en compte dues coses:

[3] Paret de rajola que sol tenir una amplada de 150 mm. Divideix dues vivendes i pot o no suportar una part de la càrrega de l'edifici.

a) Al no tenir un espai compartit directament amb cap altre veí, ens estalviem els problemes de transmissió estructural.

b) El soroll de transmissió aèria haurà de passar per tres medis diferents per propagar-se fins a les cases i pisos del voltant: la paret mestra de l'edifici de l'estudi, l'aire (sabem que per cada metre que avança una ona sonora per l'aire hi ha una reducció de 6 dB i hi ha, com s'ha dit anteriorment, uns quatre metres de separació mínima entre l'estudi i el veí més proper) i haurà de tornar a travessar la paret mestra de l'edifici afectat.

Ara bé, el fet al que es destina un estudi de gravació no és el mateix que el d'una vivenda i, per tant, no crea el nivell de soroll d'una vivenda, sinó que el que crea és molt més elevat. Per això haurem de garantir, amb l'aïllament de les parets mestres de l'edifici, un mínim de 45-50 dBA, i després ho acabarem d'arrodonir amb l'aïllament intern, que tractarem en el següent punt d'aquest apartat.

Anem a veure el disseny de les parets mestres. Aquestes estan formades per tres espais diferents, cadascun amb característiques diferents per garantir que les seves freqüències de coincidència no siguin les mateixes, que veurem a continuació començant des de l'exterior:

1. **Façana de l'edifici:** la façana és d'obra vista, però no del que se sol posar en els nostres temps que consisteix en una capa de decoració formada per un quart de rajola, sinó que consisteix en rajoles massisses (sense foradar) de 150 mm unides per ciment. Això dóna lloc a una capa amb una densitat molt alta, la qual cosa és molt bona per a l'aïllament i pels possibles efectes de vibració. En la fotografia 5 es pot veure la façana de l'edifici.

Fotografia 5: Façana de l'estudi

Aquest tipus de construcció no la tindrà la paret posterior. Aquesta serà un paret de rajola foradada de 150 mm. Això vol dir que, a la paret posterior no hi haurà tant d'aïllament com en les altres. Aquest fet no és gaire preocupant, ja que per darrera de l'edifici de l'estudi hi ha uns 20 metres sense cap vivenda, perquè l'espai utilitzat entre els límits del terreny en el que estem i el carrer s'utilitza com a zona de pàrquing privat, on s'hi ha construït una sèrie de garatges amb porta individual. Per tant, l'aïllament d'aquesta paret no serà tan important com el de les altres, i amb l'aïllament que posem dins les sales més el de la pròpia paret n'hi haurà prou.

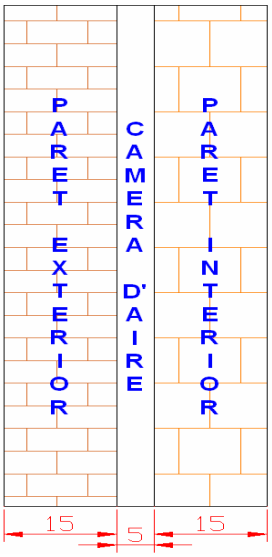
2. **Part intermitja:** s'han aprofitat 50 mm d'espai entre la part exterior i la interior, i hi ha una càmera d'aire. Això propicia que una part de l'ona sonora, en arribar a la cavitat d'aire, reboti entre les dues parets i vagi perdent energia per, d'aquesta manera, impedir que es propagui dins l'estudi. El problema bàsic que podria tenir aquest sistema és que, segons el nivell de pressió sonora que tingui l'ona quan creui la cavitat d'aire, aquesta podria fer l'efecte contrari per la que ha estat dissenyada. És a dir, si el so que travessa la cavitat va rebotant per les dues parets que té a cada costat, i la freqüència d'aquesta ona sonora és la freqüència de ressonància del conjunt[4], la paret doble podria funcionar com un sistema massa – molla – massa[5], amb la qual cosa actuaria de forma similar a un tambor i vibraria; la solució és fàcil. Com més pesin les parets, més baixa serà la freqüència de ressonància, per tant, en el nostre cas, en el que tenim una paret formada per rajols massissos de 150 mm que té un pes excepcionalment elevat. La freqüència de ressonància del conjunt tindrà un valor molt baix, valor que difícilment puguin reproduir els monitors (que si no tenen sistema de subgreus rarament baixen de 35 Hz de límit inferior d'ample de banda).

[4] La freqüència de ressonància és inversament proporcional a l'arrel de la massa de cadascuna de les parets i de l'amplada de la cavitat.

[5] Ho podríem comparar amb l'efecte de ressonància d'un timbal, on hi ha dues membranes vibrant i un volum d'aire al mig.

3. **Paret interior:** és una paret de rajola foradada de 150 mm collada amb ciment. Aquesta paret la usarem per dues coses: primer perquè l'ona sonora hagi de tornar a canviar d'ambient abans de propagar-se en la sala, i segon per col·locar tot l'aïllament que hem dissenyat per a la part interior.

Amb aquesta solució s'obtenen uns 50 dBA d'aïllament entre l'exterior i la part de la paret mestra interior. En el plànol 3 podem veure un tros de perfil d'aquestes parets agafant el costat esquerra com a costat exterior i el costat dret com a costat interior.



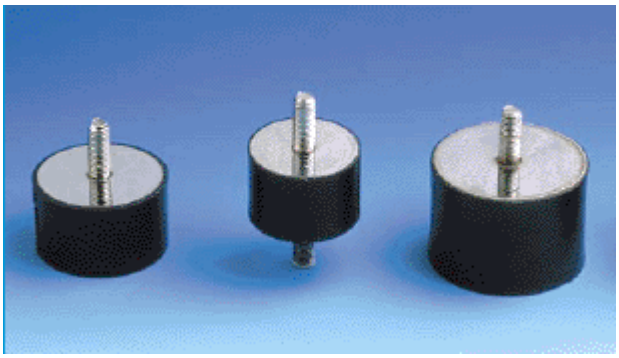
Plànol 3: Vista de les parts de la paret mestra (cotes en cm).

3.3. Aïllament dins les sales

Tan important és l'aïllament en la paret mestra com en les parets interiors de l'edifici. De fet, la importància de debò la té l'aïllament del conjunt. Fins ara hem vist cada part de la paret mestra de la sala. Anem a veure ara quins passos hem seguit per a la part d'aïllament interior. L'objectiu més important és que el soroll que provingui de l'estudi tingui dificultats per propagar-se per transmissió estructural o d'impacte.

En l'inici d'aquest apartat es comentava que, per aïllar el soroll estructural es necessita una sala que no sigui solidària a les parets de la resta de l'edifici. El sistema que hem dissenyat es basa en una estructura metàl·lica que conté tot el material per a l'aïllament que veurem seguidament. Aquesta estructura metàl·lica està agafada a les superfícies de l'edifici mitjançant *silent blocks*. Un *silent block* (fotografia 6) és un aïllament mitjançant elements d'elastòmer, adherits o no a la seva estructura metàl·lica que, suportant esforços multidireccionals i filtrant les freqüències d'excitació

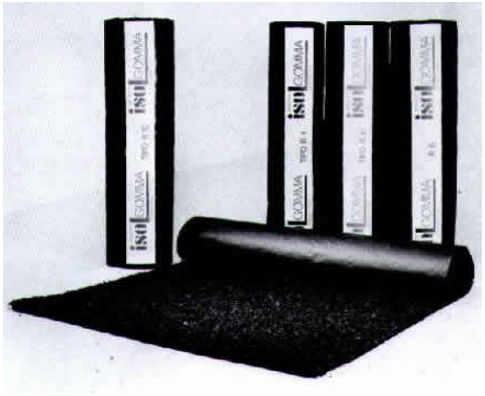
neutralitzen la transmissió de soroll estructural i les vibracions. D'aquesta manera s'aconsegueix que els punts de recolzament de les fonts de soroll (altaveus, amplificadors de guitarra, bateries acústiques, ...) estiguin en una estructura no solidària a les parets principals i, per tant, s'anul·la la transmissió de soroll estructural a l'exterior. Un problema menys, però encara queda eliminar el soroll aeri, que és el que més ens pot molestar, sobretot a l'hora de complir la corba NC 15 que ens proposem i que, com hem comentat, és la recomanada per a estudis de gravació.



Fotografia 6: diferents tipus de *silent blocks*

L'aïllament a l'interior de l'estudi consta de quatre capes de diferents materials. Anem a veure-les una per una començant, com en l'apartat anterior des de la capa més externa a la més interna.

1. **Isolgoma:** Isolgoma és una empresa italiana que es dedica, entre altres, al camp de l'aïllament acústic. El material que hem escollit és una capa de cautxú trinxat de 10 mm (fotografia 7). És molt eficient com a aïllant acústic, però també com a aïllant tèrmic. El cautxú a partir del qual està format prové de neumàtics de cotxe usats i gastats, als quals se'ls hi dóna un segon ús. És una bona manera d'evitar la seva crema, que comporta molta contaminació atmosfèrica per les partícules que desprèn.



Fotografia 7: plaques de cautxú trinxat ISOLGoma

2. **Llana de roca:** podríem dir que mundialment coneguda. És un material que possiblement no falta en cap aplicació acústica. El seu principial avantatge és la seva alta porositat, que la fa un material molt bo tan per aïllament com per condicionament acústic. En el mercat també hi trobem la llana o fibra de vidre, amb característiques similars. De fet, a igualtat de gruix i de densitat tenen característiques acústiques molt semblants. Potser la raó per la qual sembla que s'utilitza més la llana de roca és pel fals mite que la llana de vidre pot despendre pols que pot dipositar-se en els alvèols provocant el que s'anomena silicosi. Això potser era així en èpoques passades, però estem al segle XXI, i la Unió Europea fa un control rigorós per comprovar que el que desprenen no es dipositi en els alvèols. Tornant a l'estudi, en el nostre cas hem optat per llana de roca d'un gruix de 40 mm i amb una densitat de 70 Kg/m^3. En la fotografia 8 podem veure la capa de llana de roca, que es troba en el buit de 40 mm que hi ha en l'estructura metàl·lica.

Fotografia 8: plaques de llana de roca col·locades en l'estructura d'alumini.

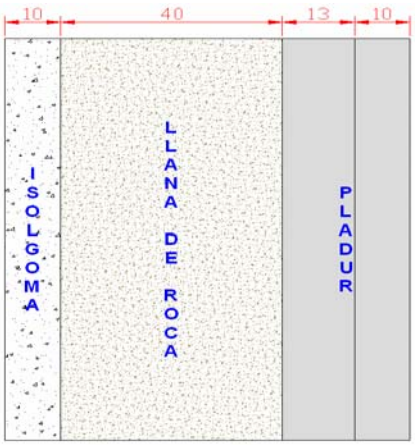
3. **Capa de pladur de 13 mm:** un altre material mundialment conegut. També anomenat cartró guix[6] s'utilitza, muntat en estructures d'alumini com la nostra i en format de paret doble amb càmera d'aire (pladur – càmera d'aire – pladur), com a paret interior o envà. D'aquesta manera

[6] Degut a la seva composició (cartró – guix – cartró).

s'estalvien molts diners en construcció, perquè es triga menys a muntar i perquè simplement és més barat. Com a aïllant acústic, si pensem en la seva composició, més porosa que una paret de rajola, podem pensar que absorbeix més que aquesta (tot i que normalment, si les rajoles formen part de la capa d'acabat se les cobreix amb guix, la qual cosa els hi dóna més absorció). Això vol dir que transforma una part de l'energia de l'ona incident en una altra energia, com calor. L'únic desavantatge que presenta davant d'una paret de rajola és la seva menor rigidesa, que es tradueix en una possibilitat de vibració més alta i, per tant, de ressonància.

4. **Capa de pladur de 10 mm:** és molt interessant la col·locació de dues plaques de guix unides de diferent gruix, ja que ens beneficia per dues raons: augmenta la rigidesa del conjunt (la freqüència de ressonància, per tant, serà més baixa que amb la paret de 13 mm), i fa que la freqüència de coincidència sigui diferent per a cada capa, amb la qual cosa obtenim una menor possibilitat de producció de vibracions. A part, el fet que la paret més gruixuda sigui la que està més a l'exterior ens garantirà que el front d'ona provinent de l'interior es trobi sempre al seu pas amb impedàncies acústiques creixents, la qual cosa millora l'aïllament. Hom podria pensar que el so provinent de l'exterior es trobarà amb impedàncies acústiques decreixents i no tindrà el mateix aïllament que el so que prové de l'interior, però també és cert que el so transmès des de l'interior sempre tindrà un nivell més alt que el que provingui de l'exterior.

En el plànol 4 es poden veure les capes que formen l'aïllament a la sala:



Plànol 4: Perfil de les parets (cotes en mm)

Es pot apreciar que el gruix total de la paret serà de 72 mm. Aquest espai sobresurt de les parets de la sala i està coberta pels costats amb trossos de placa de pladur de 10 mm de gruix i 63 mm d'amplada. En la fotografia 9 podem veure com sobresurt el pladur del marc de la porta d'entrada de l'estudi, que sí que està col·locada en la paret de rajola.

Fotografia 9: Pladur en la sala de control

Aquestes plaques laterals també estan adherides a l'estructura d'alumini, i estan separades (tot i que en la foto no s'aprecia) de la paret de rajola per poc més d'un mil·límetre, amb l'objectiu de no transmetre part del que hem evitat posant els *silent blocks*. Amb l'acabat final, que constarà d'un marc d'acabat del color de la paret de l'estudi (és una solució estètica; si no es veuria la capa de Porland de la paret de rajola) s'aconseguirà que no es vegi aquesta separació. Aquest marc serà solidari a la paret de rajol però en cap cas tocarà la capa lateral de pladur.

Per totes les parets de l'estudi que donen a l'exterior s'ha seguit el mateix mètode amb les quatre capes descrites menys pel sostre. S'ha pensat en dotar el sostre de més aïllament al soroll aeri ja que, com hem dit anteriorment, hi ha una vivenda just a sobre de l'estudi que està ocupada la majoria d'hores del dia. La diferència que hi ha és que entre l'estructura d'alumini (naturalment agafada amb *silent blocks*) i el sostre d'obra hi ha una càmera d'aire de 80 mm que s'ha emplenat amb dues capes llana de roca del mateix gruix i densitat que el de les parets. En aquest cas no s'ha posat res dins l'estructura, ja que en les parets les plaques van cargolades a l'estructura, però en el sostre van per dins. En la fotografia 10 podem veure el disseny

just abans de col·locar-hi les plaques. Es poden apreciar les dues capes superposades de llana de roca que hi ha abans d'arribar al sostre.

Fotografia 10: Aïllament del sostre

Pel que fa al terra, aquest constarà de parquet flotant. L'estructura d'unió amb el terra d'obra es farà mitjançant plaques de DM on hi hauran materials elastòmers que ajudaran a eliminar el soroll estructural. Aquest sistema també és beneficiós pel condicionament acústic[7]. El soroll aeri que es pugui transmetre al terra no ens preocupa gaire, ja que sota l'estudi només hi ha els seus ciments.

3.4. Aïllament entre les sales

3.4.1. Aïllament de la paret divisòria

En l'inici d'aquest apartat es comentava la importància que té l'aïllament de la paret divisòria de l'estudi, és a dir, la paret que separa la sala de control de la sala de gravació. Aquest aïllament permetrà sentir el so que prové de la sala de gravació només pels monitors, que és el que ens interessa sentir a l'hora de sonoritzar la microfonia, ja que ens basarem en el que sentim per amplificar més o menys el so d'entrada[8].

En un principi el que s'hagués pogut fer era un envà de pladur amb estructura metàl·lica i càmera d'aire al mig plena de llana de roca. Llavors aplicar el mateix aïllament que a la resta de les parets. Però la rigidesa que s'obté amb aquest sistema

[7] Veure apartat 4. Condicionament acústic de l'estudi per a més informació.

[8] Òbviament ens podem guiar amb el nivell de saturació dels VU-meters, però l'oïda sempre té la última paraula.

és petita comparada amb la rigidesa d'una paret de rajola i, donat que la paret ha de suportar el pes elevat de la porta acústica es va decidir decantar-se al mètode clàssic: paret de rajola.

El disseny és ben senzill. S'ha construït una paret de rajola foradada de 200 mm que, per la part de la sala de control, va coberta amb una capa de guix d'obra (fotografia 11). A la part de la sala de gravació hi ha exactament el mateix tractament que a la resta de parets de les sales (fotografia 12).

Fotografia 11: paret divisòria vista des de la sala de control.

Fotografia 12: paret divisòria vista des de la sala de gravació.

Tota l'estructura està adherida al sostre i al terra mitjançant *silent blocks*. Pel que fa a la paret de guix que dóna a la sala de control, s'ha intentat que l'estructura de

les parets laterals no toqués aquesta, si bé amb la fina capa d'acabat quedarà cobert. Això podrà ser sinònim de transmissió de soroll estructural, però si ens fixem en la superfície de paret de pladur que té un contacte directe amb la paret d'obra, veurem que és un percentatge molt petit comparat amb la superfície total. A més, comptem amb l'avantatge (depèn de com es miri, desavantatge) que en la paret divisòria no hi va cap tipus de monitor empotrat ni cap font de so secundària, o sigui que eliminem la possibilitat de transmissió per contacte directe.

Ens falta només la part destinada a vidre, essencial en un estudi de gravació perquè permet la comunicació visual entre les dues sales. Sabem que tenim al voltant de 300 mm de separació entre les sales, i que la mida del vidre és considerable (2 x 0.9 metres). El disseny que seguirem és la col·locació de dos vidres laminats de diferents gruixos (8 mm a la sala de gravació i 6 mm a la sala de control), un a cada costat de sala i a l'alçada del marc.

El vidre que dóna a la sala de gravació tindrà una certa inclinació cap al sostre[9], i tindrà diferent gruix que el seu oposat per garantir diferents freqüències de coincidència, com hem fet amb les plaques de pladur. La càmera d'aire que quedarà en mig dels dos vidres no la podem emplenar de material (òbviament, perdríem el contacte visual), però es cobrirà la part del marc amb polietilè expandit en forma de cunya, que garantirà un mínim d'aïllament. En molts estudis es posa moqueta en comptes de la cunya, però està demostrat que el sistema de cunya es comporta com una trampa de so, ja que el so que incideix sobre la superfície de la cunya es reflexa vàries vegades en ella mateixa i en la seva contigua (figura 2). El resultat és un augment de superfície efectiva de tres cops o més, que beneficiarà la reducció de l'energia de l'ona sonora incident. Per acabar, l'espai que queda de càmera d'aire anirà emplenat de gas acústic[10], que afegeix un aïllament addicional al conjunt d'entre 2 i 3 dB.

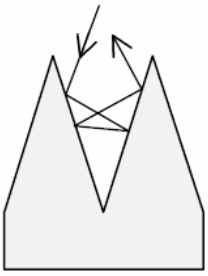


Figura 2: Cunya acústica

[9] Veure apartat 4.2.2.

[10] Format normalment per 80% de SF6 (*Sulfur Hexafluoride*) i 20% d'argó.

3.4.2. Aïllament de les cabines

Les cabines són una altra part important de l'estudi. Donaran la possibilitat de treballar en ambients acústics diferents sense haver de comptar amb una acústica variable, que probablement sortiria més cara. De cara a l'aïllament, hem de tenir en compte que poques vegades estarem gravant a la vegada un amplificador de guitarra en una de les cabines i una bateria, per exemple, en la sala de gravació principal. La única cosa que sí que podrà donar-se és, per exemple, que es vulgui enregistrar un conjunt coral en el que es vol donar una presència i un volum i panoramització a la veu principal. En aquest cas, els components de la coral aniran a la sala principal de gravació amb un parell de micròfons (per poder oferir una imatge estèreo de les veus), i el component principal en una de les cabines.

En el cas comentat, ens interessarà que hi hagi un aïllament mínim entre les sales, però pel comentat no caldrà que sigui més elevat de 30 dB. El disseny que es farà en aquest cas constarà d'un envà de pladur en forma de paret doble amb una càmera d'aire que s'emplenarà de llana de roca. El gruix del pladur es veurà augmentat a 18 mm (ja que ha de ser més rígida que les altres zones cobertes amb aquest material) per la placa de l'interior i 10 mm per la placa que dóna a la sala de gravació principal. La càmera d'aire tindrà un gruix de 40 mm, i s'utilitzarà el mateix gruix de llana de roca que per a la resta de l'aïllament dissenyat.

Pel que fa a la porta, aquesta serà tota de vidre laminat d'una capa que, mitjançant una estructura d'elements elàstics col·locats en el marc i un pany metàl·lic, quedarà perfectament tancada. El fet de col·locar bàsicament goma en la junta de la porta amb el marc quan aquesta queda tancada, provoca que la goma faci una força a la porta de vidre en la direcció en la qual s'obre i, a la vegada el pany contraresta aquesta força fent una força en sentit contrari (quan encaixa en el seu suport). A part, d'aquesta manera ens assegurem que la porta de vidre no tendeixi a vibrar per nivells de pressió sonora elevats, la qual cosa podria provocar un augment del soroll durant la gravació (no del soroll de fons, ja que quan definíem soroll de fons dèiem que es produïa quan les fonts de la sala no emetien).

3.5. Aïllament de portes i vidres

Aquests dos elements són essencials en qualsevol construcció. El problema és que un estudi no és qualsevol construcció. Necessitem aquests elements, sobretot si el que es vol (que ho és) és tenir llum natural a les sales (això no només ens fa estalviar en la factura elèctrica, que ja és una molt bona raó. La llum natural dóna obertura visual al local, la qual cosa pot ser un evitant de l'estrès), però poden ser el punt dèbil de la nostra instal·lació en quant a aïllament. Si no tenen el disseny adequat, podrien donar-nos problemes, sobretot els finestrals, col·locats a la paret lateral de l'estudi, a la vista de tota la balconada de l'edifici del cantó.

Pel que fa a les portes, haurem de garantir un aïllament mínim igual al de les parets (sobretot en el cas de la paret divisòria) i, pel que fa a les finestres, tot i que serà molt difícil tenir-hi el mateix aïllament que en les parets mestres, haurà de ser el més elevat possible.

Ara que tenim els criteris bàsics de disseny, veurem els productes escollits. No es farà tan èmfasi en aquest apartat, ja que les portes ja estaven col·locades en el moment d'inici d'aquest projecte[11], i les finestres ja estaven decidides, si bé s'hi ha dut a terme un petit afegit.

3.5.1. Portes

Un dels millors sistemes per aïllar totalment (si més no, amb un percentatge molt alt) la sala de control amb la sala de gravació és que hi hagi una càmera entre les sales. Aquest mètode consisteix en posar a la sala de gravació una porta acústica, a continuació es construeix una sala petita el més hermètica possible que només serveix d'unió amb la sala de control, que també es fa mitjançant una porta acústica. Això fa, quan les dues portes estan tancades, que la sala d'unió es comporti com una càmera d'aire gegant, la qual cosa proporciona un aïllament molt alt.

Un altre bon sistema és, simplement, col·locar la porta d'entrada de la sala de gravació fora de la sala de control, la qual cosa implica un passadís o un espai comú per comunicar les sales amb la resta de les instal·lacions. Aquesta és una opció molt comuna en estudis de grans dimensions (amb més d'un estudi en l'edifici). En el nostre cas no hem optat per cap d'aquestes dues maneres, ja que, tot i que hi ha espai suficient per a un estudi, la construcció d'un passadís implicaria una pèrdua molt valuosa d'espai i la construcció d'una sala d'unió també.

[11] Veure apartat 2. Distribució de l'espai de gravació

S'ha optat per una porta de 50 mm de gruix fabricada a partir de dos cossos independents de xapa d'acer de 1.5 mm d'amplada (fotografia 13). Aquesta independència impedeix la transmissió estructural. La càmera d'aire que queda entre aquestes dues xapes (47 mm) està omplerta de capes de materials per a l'aïllament acústic. El marc a partir del qual va agafada a la paret conté una càmera d'aire per permetre l'expansió del material quan és sotmès a pressió. El model escollit té unes mides de 2.2 x 1.2 metres.

Fotografia 13: porta de la sala de gravació

Amb aquest gruix i aquestes característiques, aquesta porta dóna un aïllament ponderat de 47 dB, i un índex d'aïllament global al soroll rosa de 45.8 dBA. S'ha col·locat un visor circular (fotografia 14) a 1.70 metres d'alçada per donar menys sensació de sala hermètica i perquè passi una mica més de llum. Aquest visor està format per dos vidres de 4 mm de gruix. La càmera d'aire que queda enmig d'ells està coberta amb polietilè expandit, i en la cavitat s'hi ha injectat gas acústic.

Fotografia 14: visor de la porta

3.5.2. Vidres

Com s'ha dit abans, els finestrals de cada sala són molt importants per garantir, durant les hores de llum, que l'estudi estigui impregnat de llum natural. Normalment, quan es vol tenir llum natural sense perdre aïllament es recorre a un sistema similar al de la peixera, és a dir, dos vidres (si són de diferent gruix millor) separats per una càmera d'aire, si pot ser coberta (no omplerta!) amb material per a l'aïllament. En el nostre cas, degut al disseny del sistema de climatització[12], hem optat per un finestral amb estructura d'alumini de disseny domèstic però amb vidres més gruixuts i càmera d'aire de més amplada. Aquest finestral (fotografia 15) està format per tres vidres, dos dels quals són mòbils i permetran renovar l'aire de la sala.

Fotografia 15: finestral de la sala de gravació.

Aquest disseny, tot i tenir els vidres i la càmera d'aire de més mida, ens dóna un aïllament sobradament vàlid per a una vivenda, però no per a un estudi. És per això que s'ha cregut convenient fer una petita modificació. Davant d'aquest finestral es troba tota la paret mestra, la qual cosa ens deixa els 350 mm de marc lliure (fotografia 16). El que es farà és posar un altre finestral al final (o principi, segons com es miri) de la paret mestra. L'estructura serà bàsicament la mateixa, però els vidres seran d'un gruix més elevat, ja que, les ones sonores, quan hagin travessat la càmera d'aire, es trobaran amb un ambient d'impedància creixent respecte a l'ambient del vidre anterior, la qual cosa millorarà el rendiment. La part de càmera que queda enmig dels vidres es

[12] Veure apartat 8.- Sistema de climatització i ventilació.

cobrirà amb xapa d'acer inoxidable. S'ha decidit no posar-hi material porós perquè, comptant que ens trobem en una càmera d'aire no estanca, la obertura constant de les finestres podria causar desgast en aquest per efectes com per exemple l'exposició a temperatures extremes (el polietilè té un punt de fusió molt baix, no deixa de ser un plàstic) o la humitat.

Fotografia 16: detall de finestra oberta.

4. Condicionament acústic de l'estudi

En l'apartat anterior hem vist tot el que calia veure sobre l'aïllament de les sales; però això només ens serveix per complir la llei (que pel que sembla, complirem amb rigor) i perquè el soroll de fons degut a l'exterior o a la sala de control no sigui molt alt, la qual cosa assegurarà la qualitat final de les gravacions. Ara bé, amb un bon aïllament no s'acaba el tractament acústic, no aconseguirem que la sala "soni bé", és a dir, que sigui el suficientment equilibrada com per dur-s'hi a terme un bon enregistrament. Es necessita també el condicionament acústic.

S'entén el condicionament acústic (també anomenat acústica arquitectònica) com aquells processos destinats a millorar les propietats acústiques d'un recinte. Aquests processos poden ésser relacionats amb la geometria del recinte (canvis en les parets i en la seva orientació), o amb els materials que cobreixen la sala. Existeixen molts tipus de materials destinats a l'acondicionament acústic que donen propietats molt diferents. Per adaptar-se a totes les necessitats, vaja.

Però abans d'endinsar-nos en el tema, hem de tenir clars uns quants conceptes. Sabem que el so, al topar amb una superfície, pot actuar de quatre maneres diferents:

1. **Reflexió:** es produeix pel rebot d'una ona acústica sobre un objecte la longitud del qual és més gran que la longitud d'ona d'aquesta (figura 3). En un cas teòric de reflexió pura, és a dir, amb un material totalment reflectant (es podria pensar en el vidre, però mai és un reflectant ideal en la realitat), tota l'energia de l'ona incident es veuria reflectida. Realment, però, no és així, degut a a l'absorció, que veurem més endavant.

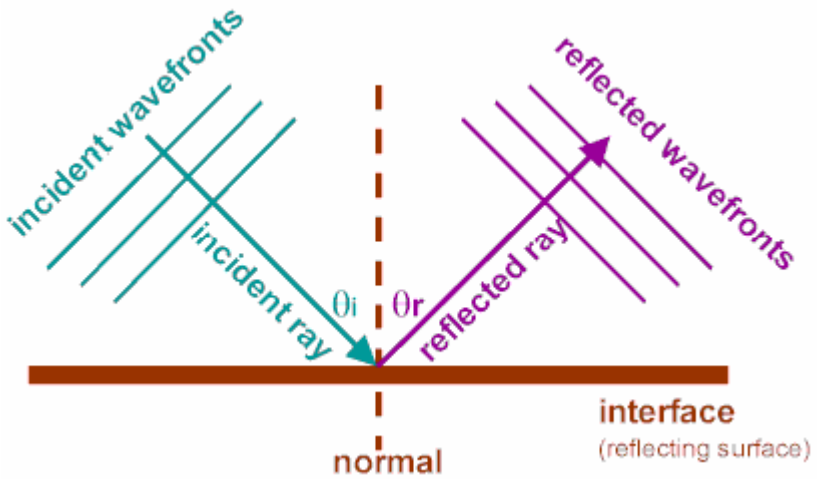


Figura 3: Reflexió

2. Refracció: es produeix quan una ona canvia de medi. Segons quin dels dos medis tingui una velocitat de propagació superior, l'angle d'aquesta ona es veurà modificat segons la ja coneguda llei de Snell (figura 4).

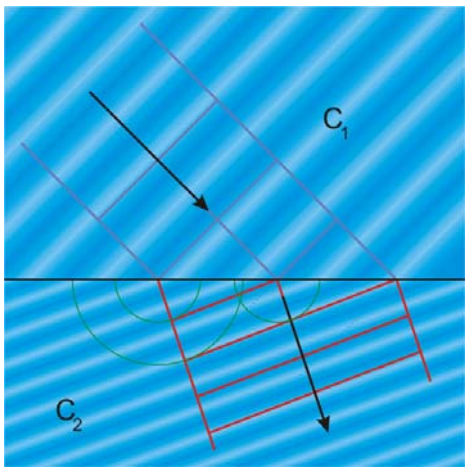


Figura 4: refracció

3. Difracció: es produeix per la creació d'un nou front d'ona quan l'ona incident es troba amb un objecte o obertura de dimensions molt inferiors a la seva longitud d'ona (figura 5).

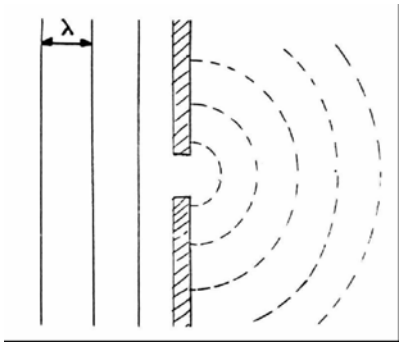


Figura 5: difracció d'una ona sonora

4. Difusió: es produeix quan una ona incident es troba un obstacle amb una longitud d'ona semblant a la seva. Quan això passa hi ha múltiples reflexions.

D'aquests quatre fenòmens, els dos que més ens interessaran són la reflexió i la difusió. La difusió pot donar lloc a un ambient molt bo per l'escolta musical amb el disseny adequat. Pel que fa a la reflexió, podem manipular la quantitat d'energia que es reflecteix segons els materials que hi hagi a les superfícies del recinte. Per saber com manipulem aquesta energia, cal tenir clars tres característiques:

1. Reflexions properes: quan una font sonora està envoltada per vàries superfícies un oient rebrà el so directe, però a més el so reflectit en cadascuna de les superfícies. Les primeres reflexions rebudes, que depenent de les dimensions de la sala es trobaran més a prop o més lluny en el temps reben el nom de reflexions properes.

2. Absorció sonora: quan s'esmentava la reflexió s'ha introduït aquest fenomen. Les superfícies d'un recinte reflecteixen només part del so incident. Segons el tipus de material o recobriment d'una paret aquesta podrà absorbir més o menys el so, pel qual es defineix el coeficient d'absorció, resultant de dividir l'energia absorbida per l'energia incident. Donat la importància que per el disseny acústic té aquest coeficient, existeixen taules que relacionen diferents materials amb els seus coeficients acústics a diferents freqüències.

3. Temps de reverberació (RT o RT_{60}): Després del interval de temps en el que es troben les reflexions properes, apareixen les reflexions d'aquestes, i així successivament, donant lloc a un patró molt complicat i amb una densificació creixent. Això origina una permanència del so quan la font és apagada, que s'anomena reverberació. Ara bé, acabem de comentar que en cada reflexió s'absorbeix una part d'energia incident, i així en cada reflexió, per tant, arribarà a un punt on les ones siguin inaudibles. Això és el que mesura el temps de reverberació, que es defineix com el temps en el que el so d'una sala redueix el seu nivell en 60 dB (amb aquesta caiguda es té la sensació que el so s'ha extingit totalment. Pel que s'ha vist fins ara, es pot deduir que el temps de reverberació està lligat al coeficient d'absorció. Com més alt sigui el coeficient d'absorció, més baix serà el temps de reverberació.

Un cop vistos aquests conceptes, ens centrarem en el disseny del condicionament acústic del nostre estudi. Com s'ha vist anteriorment[13], l'estudi consta d'una sala de gravació principal d'uns 26 metres quadrats, i dues cabines de gravació a les que volem dotar d'acústiques totalment oposades. A part, és clar, tenim la sala de control, el disseny acústic de la qual és molt important, ja que d'aquest dependrà la qualitat de l'escolta de l'enginyer de l'estudi i, per tant, de les mescles i dels màsters que puguin sortir del recinte.

Dividirem aquest apartat en tants punt com sales hi ha. De cadascuna de les sales, estudiarem primer les ressonàncies i acabarem amb el recobriment de les parets i el càlcul de RT. Per simplificar els càlculs i aprofitant els avantatges dels

[13] Veure apartat 2.- Distribució de l'espai de gravació.

ordinadors, l'estudi de materials, així com el traç dels rajos de les ones sonores (que seria molt difícil de calcular a ma i, si es volgués fer en tres dimensions, seria quasi impossible) s'ha utilitzat el programa EASE que té bases de dades amb molts materials i els altaveus de la majoria dels fabricants (veurem que en el nostre cas, no hi són) del mercat.

Començarem amb la sala de control, donat que és el disseny més complex que s'ha hagut de fer, seguirem amb la sala de gravació principal, i després estudiarem cada cabina per separat.

4.1. Tractament acústic de la sala de control

La sala de control en un estudi de gravació és, probablement, l'equipament més important i, per tant, s'ha de tenir una precisió cautelosa en el seu disseny. Actualment, el disseny de sales de control és una ciència inacabada. Hi ha diferents mètodes, però el problema és que la qualitat de so és quelcom molt subjectiu, que no es pot mesurar. La conclusió a la que hom pot arribar és que depenent de l'espai que hi hagi i de com es pugui aprofitar i, sobretot, del pressupost, es durà a terme un mètode o un altre o, simplement, una mescla de mètodes diferents. Però abans de poder dur a terme qualsevol disseny, haurem de tenir en compte les ressonàncies, un element que incideix molt en la qualitat acústica.

4.1.1. Estudi de les ressonàncies

Les ressonàncies (o modes normals de vibració) apareixen en les sales petites com a conseqüència de les reflexions successives en parets oposades. Si en una habitació es genera una ona sonora que viatja perpendicularment a dues parets enfrontades, es generarà una ona estacionària, és a dir, la suma d'una ona i la seva reflectida, que depenent de la fase entre les dues podrà donar lloc a una interferència destructiva (ones en oposició de fase, amplitud resultant igual a zero) o a una interferència constructiva (ones en fase, l'amplitud es veu doblada). Aquesta ona sonora s'escoltarà precisament com un so, la freqüència del qual es podrà calcular mitjançant la fórmula f=c/2L, on c és la velocitat del so (345 m/s) i L la distància entre les parets. Si, per exemple, la distància entre les parets és de 3 m, la freqüència del so resultant serà f=345/(2·3)= 57.5 Hz, que equival a un si bemoll quasi tres octaves més baix que el la central (440 Hz). Però no només hi haurà aquesta, sinó que també hi haurà els harmònics, és a dir, 115 Hz, 172.5 Hz, 230 Hz, etc.

Per tant, si un instrumentista, per exemple un baixista, toca un si bemoll, l'acústica de la sala semblarà amplificar aquesta nota. Per altra banda, el temps de

reverberació en les freqüències de ressonància és més prolongat, pel qual aquesta nota, no només s'amplificarà més que les altres, sinó que tindrà una durada superior a aquestes. A més, la difusió del so en la ressonància no és bona (la distribució espacial del so en la sala no és uniforme). Això és, sens dubte, un defecte acústic. Tot i així, a mesura que el mida d'una sala augmenta, les ressonàncies tendeixen també a estar cada cop més properes entre elles i es transformen en reverberació, millorant també la difusió.

En el disseny d'una sala com la nostra, podem evitar les ressonàncies de diferents maneres:

1. Evitant les simetries. Una sala quadrada, per exemple, dóna resultats acústics molt deficients.

2. Evitant, en la mesura que es pugui, els paral·lelismes.

3. Cobrint amb material absorbent o difusor aquelles superfícies propenses a la ressonància per reduir el temps de reverberació.

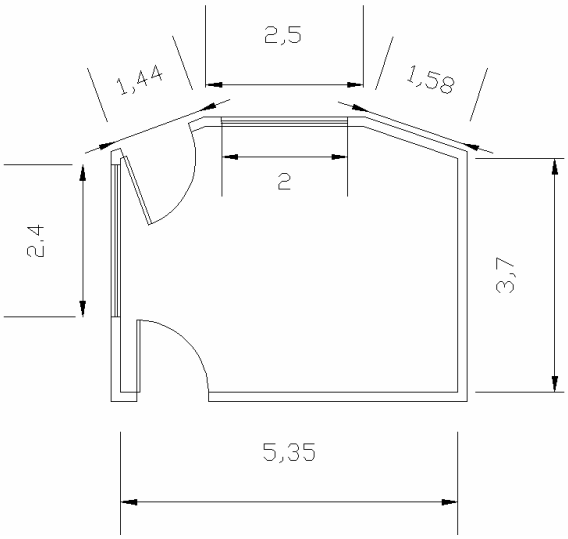
En un cas extrem en el que no s'hagi dut a terme cap d'aquestes opcions, les ressonàncies es podran eliminar equalitzant el sistema de so atenuant les freqüències properes a les de ressonància o amplificant les altres. Tot i així, haurem de garantir que la distribució dels modes corresponents a cada paret sigui uniforme, és a dir, que no hi hagi diferents freqüències de ressonància de diferents superfícies de la sala que estiguin molt properes, cosa que donaria lloc a una amplificació múltiple molt alta i es convertiria en un problema greu per mesclar amb precisió i fidelitat.

Després de comentar tot el que és necessari, podem començar a dissenyar la sala de control. S'ha trobat un programa per la xarxa anomenat ModeCalc, que utilitza la teoria exposada anteriorment i calcula la distribució de modes normals en una sala. El problema és que només ho fa per sales rectangulars, ja que per una sala amb forma irregular el càlcul de les freqüències de ressonància es fa molt complicat. Tot i així, els estudis asseguren que el repartiment de modes normals d'una sala poligonal de quatre costats amb la mateixa superfície de la sala irregular és molt semblant, i en això ens basarem per dur a terme els càlculs.

La nostra sala de control (plànol 5) té una superfície de 21.76 m^2, però la paret que comunica amb la sala principal de gravació està formada, com s'ha dit abans, per tres mòduls, l'angle dels quals és de 20º respecte l'horitzontal en el mòdul esquerra i de 162º respecte l'horitzontal en el mòdul dret. A part, l'alçada del sostre serà variable, és a dir, en la paret divisòria estarà a 2.75 m d'alçada i en la paret posterior estarà a 3 m, la qual cosa, a part de beneficiar el disseny que comentarem després, evita la

possibilitat de creació d'una ona estacionària. Passarà el mateix doncs, amb la paret divisòria, ja que també té una forma variable.

Per a dur a terme els càlculs amb el programa esmentat, hem simulat una sala de 4 m d'amplada (aproximant els 3.7 que hi tenim realment), amb la qual cosa s'obté una llargada de 5.44 m (també molt similar a la nostra, 5.35 m). Pel que fa a l'alçada, simplement ham fet la mitjana entre l'alçada màxima i la mínima, ja que aquesta varia de forma constant en tota la superfície del sostre, amb la qual cosa obtenim 2.875 m. Els valors obtinguts es poden veure en la figura 6.



Plànol 5: sala de control (cotes en m)

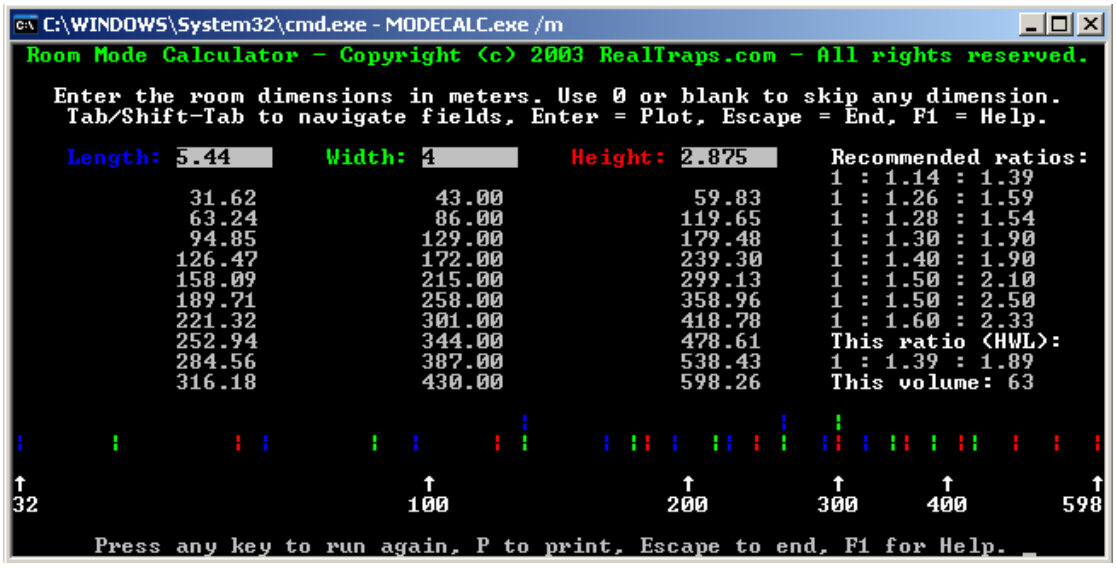


Figura 6: càlcul de freqüències de ressonància amb ModeCalc

El sistema de funcionament d'aquest programa és molt senzill d'entendre. Calcula la freqüència de ressonància de cadascun dels tres parells de parets paral·leles i la dels seus harmònics. Llavors les superposa totes en una gràfica amb l'eix x equivalent a la freqüència i, si hi ha dues freqüències properes, les posa una sobre l'altra. A part, ens calcula també el *ratio* de la sala, és a dir, la relació de les parets amb alçada 1, i el compara amb diversos valors recomanats.

En el nostre cas, tenim una distribució excepcionalment uniforme, tret d'una cosa: es pot veure que hi ha tres acumulacions de freqüències de ressonància, una entre 100 i 200 Hz i una entre 200 i 300 entre la llargada i l'amplada, i una molt a prop dels 300 Hz entre el l'alçada i l'amplada. Si ens fixem en el *ratio*, però, veurem que és de 1:1.39:1.89 i, si ho comparem amb els valors de sobre, veurem que és aproximadament igual que 1:1.40:1.90. Estem molt a prop dels valors recomanats.

Analitzem ara on es produeixen les acumulacions. Si mirem la taula de freqüències de ressonància que el programa ha calculat i que mostra sota cada mesura, veurem clarament que la primera acumulació que es produeix entre la llargada i l'amplada es troba a 126.47 Hz pel que fa a la llargada i a 129.00 Hz pel que fa a l'amplada. La segona, que també és entre la llargada i l'amplada, es produeix a 252.94 Hz en la llargada i a 258 Hz en l'amplada. Per últim, la tercera, que es produeix entre l'alçada i l'amplada, es produeix 299.13 Hz i 301.00 Hz respectivament.

Però no hem d'oblidar que la sala amb la que s'ha dut a terme la simulació no és la nostra. Té la mateixa superfície i la mateixa alçada i prou. En el nostre cas, serà poc probable la creació d'una ona estacionària entre el sostre i el terra, ja que el sostre forma té una inclinació de 5 graus. Això vol dir que, quan una ona es reflecteixi de forma perpendicular al terra i arribi al sostre, no es tornarà a reflectir en la mateixa direcció, la qual cosa impedirà que les dues ones es sumin. També serà difícil la creació d'una ona estacionària entre la paret divisòria i la paret posterior, ja que l'únic lloc on les parets són paral·leles és en els 2.5 m on hi ha el vidre, i s'ha calculat, per a la paret posterior, un difusor de dimensions molt similars a aquesta paret per evitar aquest efecte i perquè forma part del mètode escollit, com es podrà veure en el sub apartat següent.

On sí que podem tenir problemes de ressonància és entre les dues parets laterals. Es va proposar, en el moment de començar el disseny, inclinar el finestral de la paret esquerra cap al sostre, però no es va poder fer per causa de les portes d'obertura d'aquest. De fet, també hi va influir que el marc estava posat ja en la construcció inicial, i resultava molt dificultós i sobretot, molt car, posar-se a foradar.. Per tant, el que s'haurà de fer serà cobrir la paret lateral dreta d'un material absorbent

que, si pot ser, ho sigui a baixes freqüències, la qual cosa no serà fàcil. La distància entre les parets és de 5.35 m, la qual cosa ens porta a una freqüència de ressonància de 32.24 Hz amb els seus harmònics: 64.48 Hz, 96.72 Hz, 128.97 Hz, 161.21 Hz, etc. Una cosa més que haurem de tenir en compte, doncs, quan posem material a la sala.

4.1.2.- Disseny de la sala de control

Al principi d'aquest apartat definíem el disseny de sales de control com una ciència inacabada. Com hem dit abans, hi ha molts mètodes per a dissenyar un ambient per a cada necessitat. Nosaltres ens hem basat en el mètode LEDE.

El concepte LEDE (*Live End – Dead End*) va ser desenvolupat per Don Davis i Chip Davis el 1978. La idea bàsica consisteix en evitar que l'arribada de reflexions amb excessiu nivell produeixi el típic efecte de filtre en pinta (*comb filter*) que es genera quan a una senyal se li suma la seva rèplica retardada, fet que produeix una alteració de la resposta freqüencial del senyal. Per exemple, si estem gravant una pista de veu, quan el cantant emeti un so el micròfon captarà aquest so i el rebot d'una ona amb una paret a distància d d'aquest, que arribarà retardat en el temps. Si en la sala de control tenim una superfície reflectant a una distància menor a d, aquesta ens produirà un retard amb un temps inferior que, si té el nivell suficient, ens emmascararà la reflexió de la sala de gravació, amb la qual cosa no estarem escoltant l'acústica de l'estudi sinó la de la sala de control. Això ens pot dur a prendre decisions equivocades de volum, equalització...

Inicialment la solució simple per evitar reflexions emmascarades en la sala de control és fer el frontal el més absorbent possible (Dead End) per evitar les primeres reflexions amb un nivell molt alt. La part posterior es fa el més difusora possible, ja que ajuda a tenir sensació de sala gran en una sala petita.

A mitjans de la dècada dels 80, però, Peter D'Antonio i John H. Konnert milloren el concepte LEDE a partir dels difusors ideats per M.R. Schröeder, i prescindeixen del frontal absorbent gràcies al seu concepte de zona sense reflexions (FRZ[14]). L'anulació de primeres reflexions s'aconsegueix ara donant al frontal de la sala de control una forma geomètrica tal que les possibles primeres reflexions són enviades a la paret del darrere, on són alterades per mitjà dels difusors (figura 7).

[14] De l'anglès, *Free Reflection Zone*, zona lliure de reflexions.

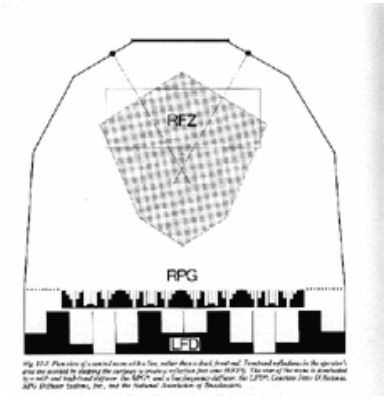


Figura 7: El concepte LEDE

La nostra sala de control no té aquesta forma, però si té un frontal amb una forma tal que, si l'orientació dels monitors és la adequada (ja que no van empotrats), podem aconseguir desviar algunes de les primeres reflexions a la paret posterior, o si més no podrem evitar que les primeres reflexions passin per la zona d'escolta de l'enginyer. Les que no vagin als difusors probablement acabin en les parets laterals que com que són paral·leles, podrien donar lloc a ecos flotants. Una altra raó per fer d'una de les dues parets laterals una paret absorbent. Les que acabin al sostre, acabaran probablement a la paret posterior.

4.1.3. Selecció dels altaveus i de la posició d'escolta

Però per saber exactament com aniran les reflexions en la sala de control el millor mètode és traçar-les. Això es pot fer amb Ease, sempre que es defineixin els monitors i la seva posició, per la qual cosa, abans de res, haurem de saber on van els monitors i on es col·locarà el tècnic o enginyer a l'hora de fer l'escolta. Per a fer això hem dibuixat, amb AutoCAD, una superfície en dues dimensions que simula el moble que hi haurà a l'estudi[15]. A partir d'aquestes mesures, hem jugat amb els valors possibles de distància entre els altaveus per veure a quin punt complien un triangle equilàter en la posició natural (de descans, si es vol) del tècnic o enginyer. Això ha estat molt fàcil, ja que el moble sembla estar dissenyat per posar-hi els monitors a sobre. En la figura 8 es pot veure aquest disseny:

[15] Veure apartat 6.- Equipament de l'estudi.

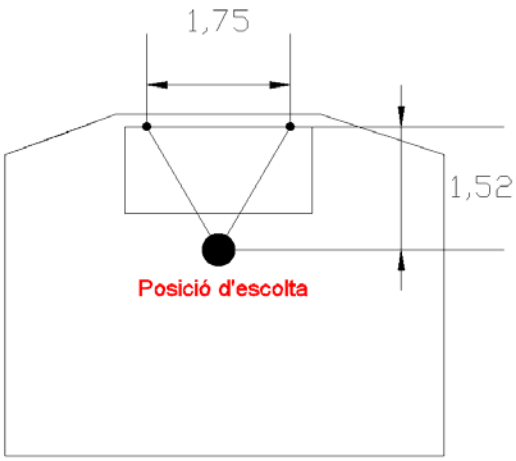


Figura 8: Situació dels altaveus

Els monitors estan separats per 1.75 metres. Si tracem un triangle equilàter amb aquest valor de costat (i, òbviament, amb un angle de 60 º entre cada parell de costats), obtenim una distància en línia recta de la taula a la posició d'escolta de 1.52 m. Si dibuixem aquesta posició en AutoCAD veurem que és molt adequada respecte a la col·locació de la taula, és a dir, que és aproximadament la posició de treball del tècnic o enginyer de l'estudi. Tot i que el dibuix està en dues dimensions, sabem que l'alçada de la taula és d'aproximadament 1.10 metres, que és l'alçada on haurem de col·locar els altaveus per a la simulació.

Donat que Ease no té en la seva base els nostres monitors[16], i donat també que mai seran esfèrics (que és els que porta Ease per defecte), hem utilitzat uns altaveus de la marca Celestion (www.celestion.com). Concretament, hem utilitzat el model KR8 (fotografia 17), un model que, tot i estar pensat més aviat per a instal·lacions de directe o de monitoratge portàtil, és molt semblant al nostre per dos detalls: està format pel mateix tipus d'altaveus (woofer de 8 polzades i tweeter d'una polzada fabricat en neodimi: l'estructura és d'alumini)i té una resposta en freqüència molt semblant al nostre.

Per fer la simulació, hem col·locat els monitors al lloc dissenyat anteriorment i hem jugat amb diferents orientacions d'aquests per veure amb quina obteníem millors resultats, és a dir, amb quina s'aconseguien desviar les reflexions a la paret del darrera. Hem fet traçar a Ease els rebots fins a ordre 4, per veure quants rebots feien les ones abans d'arribar a la paret posterior. A part, també haurem de detectar

[16] Mackie HR824, veure apartat 6.- Equipament de l'estudi.

possibles anomalies com el rebot en cadena entre dues parets, que se solucionarà amb un recobriment absorbent d'una de les dues parets.

Fotografia 17: Celestion KR8

4.1.4. *Ray tracing* amb Ease

Un cop definits els altaveus i la seva posició, anirem revisant els resultats del *ray tracing* fet amb Ease. Començarem per una inclinació de 0 graus per veure si els resultats són satisfactoris. Amb aquesta simulació també veurem quines superfícies són problemàtiques per la seva forma, i podrem actuar en conseqüència. En les següents figures podem veure les primeres simulacions amb un angle d'inclinació dels altaveus de 0 graus.

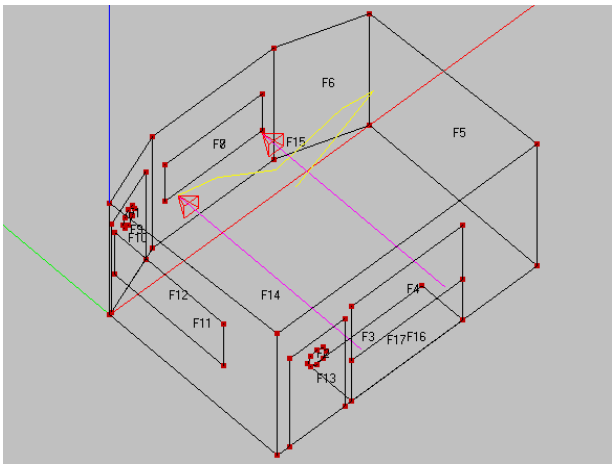


Figura 9: *ray tracing* amb Ease. Altaveu esquerra 0 º. Raig 1

Com es pot veure, comencem per l'altaveu de l'esquerra. Si a partir del mig del vidre de la paret divisòria la sala fos simètrica, la resposta dels dos altaveus seria la mateixa, però les simetries no són bones per a les ressonàncies. Per tant, haurem

d'analitzar cada monitor per separat. En la figura 9 podem veure un d'aquests rajos. Veiem que rebota primer en al terra, i després va al mòdul dret de la paret divisòria. Si aquesta paret fos recta, l'ona hagués començat a rebotar per les partes laterals, la qual cosa hagués pogut provocar l'aparició d'una ona estacionària entre aquestes. Després de rebotar en el mòdul dret, rebota amb la paret lateral i va al sostre. Del sostre, si ens fixem en l'angle amb el qual hi entra, aniria a parar molt probablement a la paret exterior i, el que és més important, en cap moment passarà per la zona d'escolta.

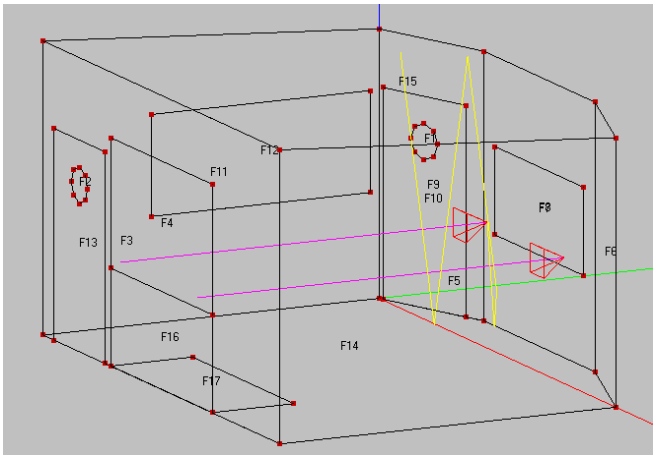


Figura 10: *ray tracing* amb Ease. Altaveu esquerra 0 º. Raig 1

En la figura 10 podem veure el que podria ser una anomalia. L'ona que genera l'altaveu rebota al terra i seguidament al mòdul del mig de la paret divisòria. Això provoca que l'ona es posi a rebotar entre el terra i el sostre. Si el sostre tingués una alçada fixa, és a dir, fos recte, es generaria una ona estacionària. Tot i així, i encara que a la figura no s'apreciï, l'ona esta desviada cap al lateral, i si augmentéssim el mòdul de les reflexions veuríem com acaba a la paret posterior.

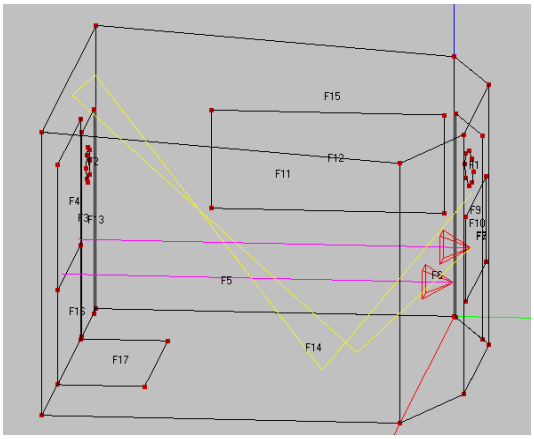


Figura 11: *ray tracing* amb Ease. Altaveu esquerra 0 º. Raig 2

En la figura 8 podem veure un efecte que ens servirà a l'hora de dissenyar el difusor. L'ona provinent de l'altaveu rebota al terra i va directament a la paret posterior. En la figura també podem veure marcada la zona amb el bloc difusor, que no arriba al sostre. Les zones marcades com F16 i F17 s'han definit com a sofà (Ease disposa de les especificacions acústiques d'un coixí , que és el que s'ha fet servir). Si comparem la zona a la que es volia destinar el difusor amb on ha rebotat l'ona, veurem que aquesta ha rebotat més amunt. La solució serà separa més el difusor del sofà, ja que en el plànol amb AutoCAD s'ha fet tot junt, sense separació. Actualment està a un metre d'alçada, i es farà una correcció de 20 cm perquè quedi a 1.20 m..

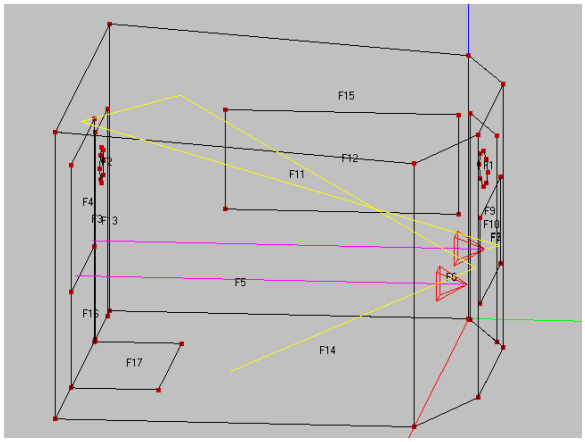


Figura 12: *ray tracing* amb Ease. Altaveu esquerra 0 º. Raig 3

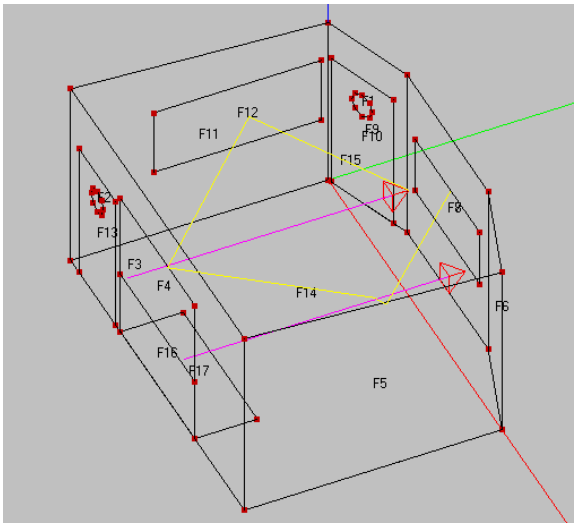


Figura 13: *ray tracing* amb Ease. Altaveu esquerra 0 º. Raig 4

En aquesta figura podem veure una altra raig que va directament a l'espai dissenyat per al difusor. Tot i que augmentem l'alçada de tot el bloc 20 cm, aquest raig hi tocarà igualment. Un cop vistos els problemes que podem tenir amb el primer

altaveu, anem a veure què passa amb l'altaveu de la dreta, ja que, com s'ha dit abans, la sala no és del tot simètrica gràcies al diferent angle que formen cadascun dels dos mòduls amb l'horitzontal.

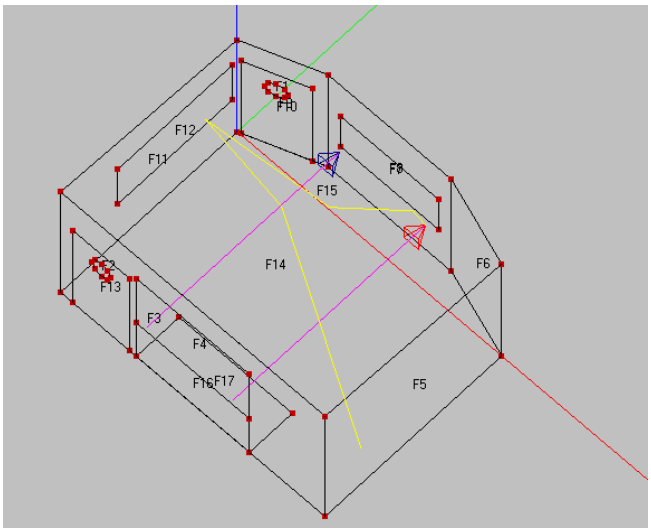


Figura 14: *ray tracing* amb Ease. Altaveu dret 0 º. Raig 1

El primer raig a analitzar és el de la figura 14. Podem veure com aquest raig rebota primer en la paret divisòria, després al terra, després a la paret lateral i després al sostre. Aquesta ona arribaria a la zona dels difusors quan en ordre 5, però donat el temps de reverberació de la sala, que veurem després, i donat també el recobriment de les parets, es veurà que quan tingui aquest ordre no tindrà l'energia suficient per donar-li importància.

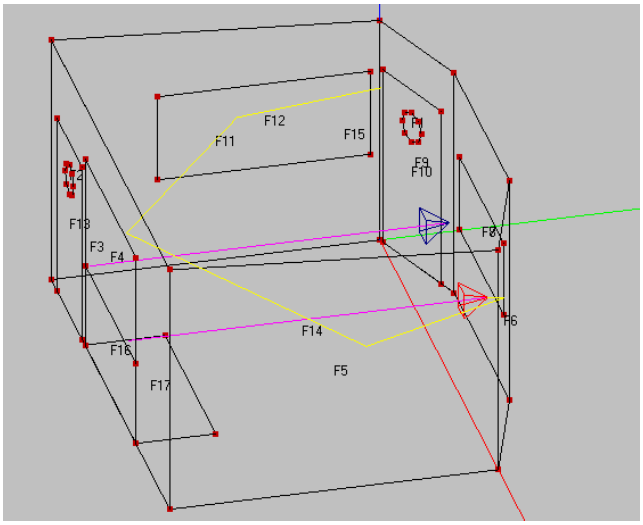


Figura 15: *ray tracing* amb Ease. Altaveu dret 0 º. Raig 2

En la figura 15 podem veure el mateix efecte amb el que ens trobàvem quan analitzàvem l'altaveu esquerra. L'ona rebota primer amb la paret divisòria, després amb el terra i acaba una mica més amunt d'on està, en principi, l'espai destinat al difusor. Això no és un problema, ja que ja s'ha comentat que s'augmentarà l'alçada del difusor en 20 cm.

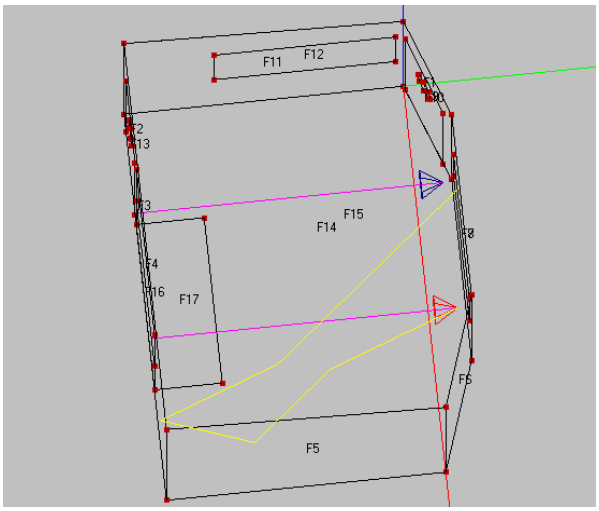


Figura 16: *ray tracing* amb Ease. Altaveu dret 0 º. Raig 3

En la figura 16 podem veure una ona que, en sortir de l'altaveu, rebota primer amb el sostre, després amb la paret lateral dreta i després se'n va a la paret posterior, però no a la zona dels difusors. Aquesta zona està reservada per a un armari aïllat acústicament i unes lleixes, així que no hi pot anar part del bloc difusor. Tot i així, suposant que no hi hagués res, aquesta ona rebotaria amb aquesta paret posterior i acabaria més o menys en el punt d'escolta del tècnic, de la qual cosa es dedueix que la paret lateral i el sostre han de tenir absorció per impedir que aquesta ona arribi amb molta energia.

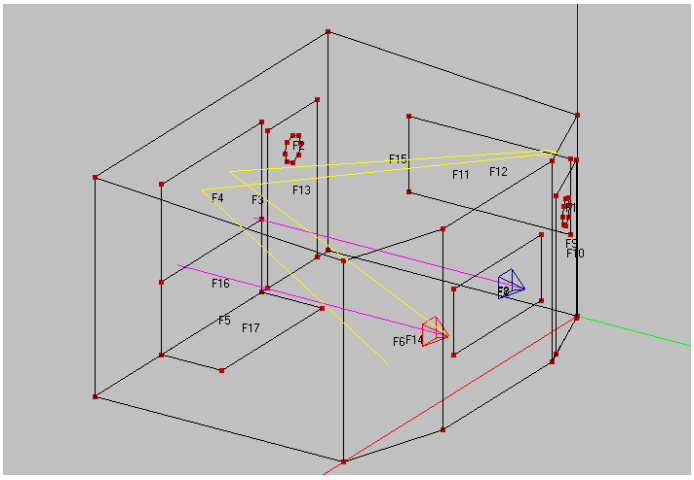


Figura 17: *ray tracing* amb Ease. Altaveu dret 0 º. Raig 4

Per finalitzar, en la figura 17 podem veure un raig que, directament des de l'altaveu, va a parar al difusor. Això serà un concepte a tenir molt en compte, ja que en augmentar la difusió de la sala aconseguim un nivell més equilibrat en totes les freqüències. Però això és només amb uns altaveus sense inclinació. Si canviem la inclinació dels altaveus (s'ha provat amb 5 º i 10 º), aconseguim uns resultats bastant semblants a aquests, però amb una diferència: dels rajos que van a parar a la paret posterior, molts no van a parar al difusor, ja que l'angle dels altaveus fa que els rebots es desviïn i acabin, moltes vegades, a la zona de la porta o de l'armari ja comentat. És per això que s'ha decidit escollir 0 º com la inclinació dels altaveus en la nostra sala de control. S'han fet proves a L'studi amb els altaveus sense inclinar per veure la qualitat d'imatge estèreo que s'obtenia, i ha resultat molt satisfactòria.

Un cop decidida aquesta orientació, primordial per saber la col·locació dels difusors i per assegurar la qualitat de so en la zona d'escolta, veurem la tria de materials que s'ha dut a terme per a obtenir el temps de reverberació desitjat. Pel que fa a aquest valor, s'ha decidit optar per un valor no massa alt, però tampoc un valor de sala semi anecoica, d'entre 0.5 i 0.7 segons en tot l'espectre de freqüència.

Primer de tot, però, anem a veure el disseny dels difusors en l'espai destinat a ells, i que s'ha pogut ajustar mitjançant el *ray tracing*.

4.1.5. Disseny dels difusors

El que es vol és que la difusió es dugui a terme en un ample de banda el més elevat possible, donant un primordial interès en una alta difusió per freqüències mitjanes i agudes, mentre que, pel que fa a les baixes, no ens importarà tant la seva difusió pel fet que són ones que per sota d'una certa freqüència es poden considerar

omnidireccionals i, per tant, el repartiment de nivell en la sala serà més uniforme. Tot i així, es desitja una mínima difusió d'aquestes freqüències, amb una freqüència de disseny tan baixa com sigui possible.

Els difusors proposats són difusors de residu quadràtic (QRD[17]). Consisteixen en una sèrie de ranures paral·leles de forma rectangular, d'igual amplada i diferent profunditat, generalment separades per uns divisors molt prims (fotografia 18) . Funcionen en base al principi d'interferència entre ones. Quan l'ona sonora incideix en una de les ranures del difusor QRD, es propaguen en l'interior d'aquesta amb una direcció paral·lela. Quan rebota en la ranura, l'ona incident i la reflectida se sumen, i donen lloc al fenomen d'interferència. Depenent de la profunditat de la ranura, aquesta diferència de fase serà més alta o més baixa, i es donarà un tipus d'interferència o un altre.

La seqüència de profunditats d'aquests difusors es pot calcular mitjançant la fórmula:

$$s_n = n^2 \bmod p$$

on p serà el nombre del mòdul del difusor (nombre primer), que també ens definirà la quantitat de ranures d'aquest, i n serà un altre nombre primer que anirà de 0 a p-1.

Fotografia 18: QRD

La forma més fàcil per tenir un difusor en la sala de control era, en un principi, adquirir-lo ja fabricat per RPG Diffusor Systems Inc. (www.rpginc.com). Aquest fabricant és el més especialitzat que es pot trobar en el disseny i fabricació de difusors QRD, i pel que sembla té un prestigi mundial. El problema és que el prestigi es paga, i adquirir els difusors sortia molt car. A més, no s'adeqüen del tot a les nostres necessitats, pel que es va decidir dissenyar-los i construir-los per part nostra.

A continuació s'exposen els valors del disseny dels difusors, En total n'hi haurà tres, que es combinaran de manera que formin un bolc rectangular. S'haurà de poder

[17] De l'anglès, Quadratic Residual Diffuser.

muntar per separat cadascun dels períodes i ajuntar després. Els exposarem per ordre de freqüència de disseny creixent, és a dir, primer veurem el difusor de baixos:

1. **Difusor QRD de baixa freqüència:** el problema del disseny d'un difusor de baixa freqüència és que, per aconseguir una freqüència de disseny (f_0) baixa, que és justament el que volem, es necessita un valor de profunditat màxima d_{max} molt elevat, de l'ordre de 0.5 m. Sabem que a partir d'una profunditat màxima superior a 20-25 cm començarem a tenir absorció, i no es recomana. A part, si fem que d_{max} tingui un valor baix, no aconseguirem un grau de difusió m_{max} gaire alt, i si es vol augmentar s'haurà d'incrementar la freqüència de disseny. En aquest cas, però, tindrà una prioritat un valor baix de freqüència de disseny i de d_{max}, en detriment del grau de difusió. Anem a veure el disseny geomètric del difusor:

   a. **W** (distància entre les ranures)= **0.11 m**.

   b. **T** (separador)= **0.005 m**

   c. **p** (mòdul del QRD)= **7**

   d. **s_{max}** (nombre màxim de la seqüència)= **4**

   e. **d_{max}= 0.24 m.**

Amb aquests valors, obtenim un ample de banda **BW= 410.7 – 1500 Hz**, i un grau de difusió **m_{max}= 0.96**, el qual és un valor baix. Cal dir que aquest valor ens servirà per determinar el nombre d'ones per les que es crearà una interferència constructiva en el difusor, i que ve donat per la fórmula $2m_{max} + 1$. Quan més alt sigui el seu valor, més difusió es crearà.

2. **Difusor QRD de baixa – mitjana freqüència:** en aquest cas, volem un difusor amb un ample de banda que vagi aproximadament des de la freqüència màxima del difusor de baixos fins a uns 7000 Hz, amb un grau de difusió m_{max} més elevat, en concret un valor de 3 (que tot i no ser molt elevat, equival a $2 \cdot 3 + 1 = 7$ interferències constructives, molt superior al de baixos). El fet de no posar un objectiu més alt en el grau de difusió ha estat donat per la falta d'espai (tan d'alçada com d'amplada) per a la col·locació dels difusors; donat un valor de m_{max} elevat, es necessita un QRD de mòdul elevat. Tot i així, no és un mal valor. El disseny doncs, haurà de ser just l'invers del de l'anterior QRD, ja que en aquest cas tenim des d'un principi l'ample de banda **BW=1500 – 7000 Hz**, i el grau d'absorció **m_{max}=3**. Veiem com queda:

   a. **W** (distància entre les ranures)= **0.0235 m (2.35 cm)**.

   b. **T** (separador)= **0.0015 m (1.5 mm)**.

   c. **p** (mòdul del QRD)= **31**.

   d. **s_{max}** (nombre màxim de la seqüència)= **28**.

   e. **d_{max}= 0.104 m**.

3. **Difusor QRD de mitjana – alta freqüència:** aquest és l'últim dels tres difusors que conformen el bloc dissenyat. En aquest cas, voldrem una difusió molt alta i una freqüència màxima de difusió el més elevada possible, però sense fer un disseny impossible. Això vol dir que estem limitats per l'amplada de les ranures ja que, si ho volem construir nosaltres, hauran de ser dissenys possibles de fer sense necessitat d'equipament massa específic. S'ha optat pels següents valors:
    a. **W** (distància entre les ranures)= **0.012 m (1.2 cm)**.
    b. **T** (separador)= **0.001 m (1 mm)**.
    c. **p** (mòdul del QRD)= **37**.
    d. $\mathbf{s_{max}}$ (nombre màxim de la seqüència)= **36**.
    e. $\mathbf{d_{max}}$**= 0.036 m**.

Amb aquests valors s'obté un grau de difusió molt alt de $\mathbf{m_{max}=7}$, la qual cosa vol dir que es crearan 2·7 +1 = 15 interferències constructives, un valor molt bo. L'ample de banda aconseguit és de **BW= 4662.16 – 12321.4 Hz**.

Pel que fa als materials amb els que els construirem, el difusor de baixa freqüència estarà fet íntegrament amb fusta. El de baixes – mitjanes freqüències estarà fet amb fusta, si bé els separadors es faran amb una làmina d'alumini de 1.5 mm, donat que l'alumini és molt més rígid que la fusta i, per valors de gruix tan baixos la tolerància és més baixa. El mateix procediment de construcció serà aplicat al difusor de mitjanes – altes freqüències.

A data d'entrega d'aquest projecte encara no està decidit el tipus de fusta que es farà servir, però si ens fixem en el que volem d'un QRD, haurà de ser una fusta poc porosa, la qual cosa ens portarà a fusta amb un acabat de vernís. Si considerem el vernís com una capa a part de la fusta, podem arribar a la conclusió que qualsevol fusta és bona, la qual cosa ens pot dur a decidir adquirir un tipus de fusta econòmica i de menys qualitat que una fusta massissa (però amb més qualitat que un simple aglomerat) com el DM.

Aquests seran els tres difusors que conformaran el bloc difusor dissenyat per allotjar-se en una part de la paret posterior de la sala. Cal dir que el disseny del bloc és simètric a la vertical en el punt mig, i ocupa gairebé la totalitat d'amplada del mòdul del mig de la paret divisòria, cobrint tota la superfície de la peixera. En la figura 18 es pot veure com serà el disseny d'aquest bloc:

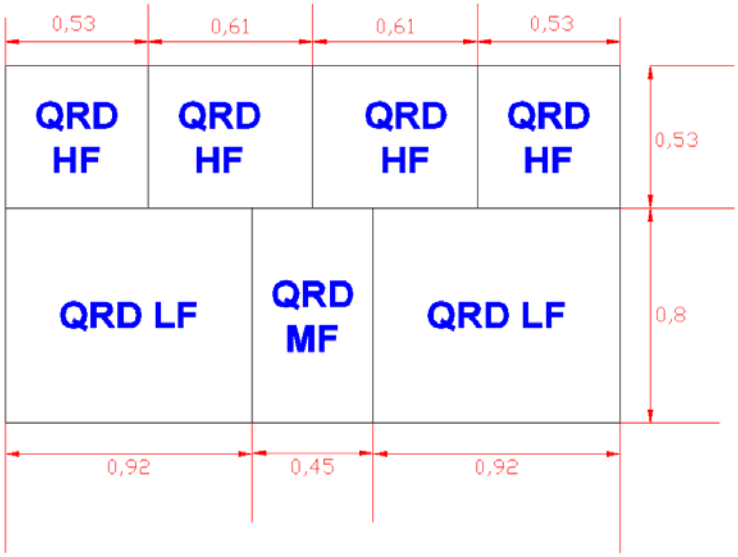


Figura 18: Bloc difusor (cotes en metres)

Com es pot observar, el bloc està format per un bloc inferior de baixes – mitjanes freqüències i un bloc superior per a mitjanes – altes. En cada cas hi ha difusors posats per cada tipus d'incidència (horitzontal o vertical), ja que pel que hem vist quan fèiem el *ray tracing* amb Ease, les ones tan ens arribaran després de rebotar al sostre (incidència vertical), com després de rebotar en una de les parets laterals (incidència horitzontal). La utilització d'aquest mètode també és bo per a la difusió per un altre detall: es pot demostrar que com més gran sigui el nombre de períodes d'un determinat bloc difusor (entenem un període com una seqüència de nombres obtinguts mitjançant la fórmula $s_n=n^2$ mod p), menor serà la difusió. Si posem, per tant, dos períodes separats per un altre difusor amb un altre ample de banda i una altra incidència, aquest fet no es donarà, ja que no tenim dos períodes junts.

En la part inferior del bloc, hem seguit estrictament aquest disseny, col·locant el dos difusors de mòdul 7 a cada costat per a incidència horitzontal (cada mòdul ocuparà 0.92 m d'amplada) i el difusor de mòdul 31 al mig, per a incidència vertical i ocupant 0.45 m d'amplada i 0.8 m d'alçada, que és el que ens defineix l'alçada d'aquesta part inferior.

En la part superior del bloc hi ha col·locats quatre difusors, tots de mòdul 37. Els dels costats són per a incidència horitzontal i els del mig per a incidència vertical. De fet, es podrien entendre els dos difusors del mig com una sola entitat, i no caldrien, doncs dues estructures. El fet pel qual s'ha tendit a fer-ne dos és per la amplada dels separadors, ja que només són de 1 mm i no estem segurs de la seva resistència al llarg del temps, sobretot a l'hora de netejar-los.

4.1.6. Determinació del temps de reverberació

Ara sí. Un cop dissenyat el bloc difusor, podem posar-nos a dissenyar el recobriment de les parets per obtenir el temps de reverberació desitjat. Per simular el sofà, hem recorregut al material definit per Ease com *bed*. Simula un llit, la qual cosa és bastant semblant al nostre sofà, ja que és un sofà antic format per una estructura de fusta i diversos coixins tapissats en roba. Com que aquests coixins els podem entendre, en el fons, com a matalassos, ja que la composició s'assembla, s'ha decidit optar per aquesta opció. Per poder simular els difusors, donat que Ease el que vol són coeficients d'absorció, hem recorregut al difusor QRD definit en el mateix programa, basat en un dels dissenys de RPG.

Primer de tot, l'important és saber quina és la relació entre el volum de la nostra sala i la superfície útil, ja que utilitzarem la fórmula de Sabine per a calcular el coeficient d'absorció global de la sala necessari per a obtenir el RT desitjat, 0.5-0.7 segons. Sabem que la sala té un volum de 62.56 m^3. Si calculem la suma de les superfícies de la sala, obtindrem 96.06 m^2. Això voldrà dir, aplicant la fórmula de Sabine, que necessitarem un coeficient d'absorció global α_{mitj}**= 0.21** per a un temps de reverberació de 0.5 s i un α_{mitj}**= 0.15** per a un RT= 0.7 s, un coeficient molt baix. El problema serà com s'absorbiran d'igual manera les baixes freqüències i les mitjanes i altes, sent les primeres un problema ja que, els materials que absorbeixen bé a baixes freqüències, a altes absorbeixen encara més.

Després de moltes proves, s'ha aconseguit el temps de reverberació que es pot veure en la figura 19. Per a aconseguir-ho, s'ha simulat el sofà, el difusor i s'han indicat tots els materials de les superfícies que no variaran (finestres, portes). En la paret lateral dreta, on quan fèiem el *ray tracing* ja hem comentat que hi hauria d'anar quelcom absorbent, ja que es podria produir un rebot repetitiu entre les dues parets si no ho fèiem, hem decidit col·locar-hi un ressonador de Helmholtz a base de llistons amb una freqüència de disseny de 250 Hz. Aquest tipus de ressonador dóna una absorció molt elevada a la freqüència de disseny per després anar baixant els seus valors d'absorció. Es construeix per mitjà de llistons amb una separació entre ells seguits d'una càmera d'aire, que pot tenir llana de roca o no. Si hi posem llana de roca, que és el que s'ha decidit fer, aquesta absorció no és tan selectiva, i s'aconsegueix una absorció també bastant alta en les freqüències del voltant. S'ha decidit fer-ho a una freqüència de disseny de 250 Hz per dues raons: en primer lloc, perquè quan hem estudiat les ressonàncies hem calculat una freqüència de ressonància en les parets de 46.62 Hz, de la qual 233 i 279 Hz en són harmònics. Amb aquest tipus de ressonador

aquests dos harmònic es veuran molt atenuats; en segon lloc, s'ha optat per aquesta freqüència de disseny pe aconseguir absorció en baixos sense haver de matar els aguts.

Figura 19: RT de la sala de control

Com es pot veure, el valor de temps de reverberació és alt fins que el ressonador actua. Per freqüències de 150 Hz i inferiors, el ressonador gairebé no dóna absorció, i per això dóna un temps de reverberació tan elevat en aquestes freqüències. En principi, la manera de solucionar-ho podria ser posant un altre ressonador de Helmholtz a base de llistons, sense llana de roca i amb una freqüència de disseny inferior a 150 Hz. Llavors aconseguiríem una absorció molt selectiva en aquella freqüència, que és el que necessitem. El problema és que caldria veure com respon la sala a les freqüències, fet que a data d'entrega d'aquest PFC no s'ha pogut fer per causa de la falta del vidre divisor de les sales, que malmetria els càlculs.

Pel que fa a la resta de l'espectre, veiem que fins a uns 6000 Hz el temps de reverberació és correcte, però que després baixa fins a valors de 0.30 en les freqüències més altes de l'espectre audible. Això tindrà solució amb els difusors de la part posterior de l'estudi.

Tornant als materials, el ressonador està en la paret lateral dreta fins a una alçada de 1.90 metres. Llavors es canvia el material per encenall de fusta, mateix material que es fa servir al sostre que, a part de donar una gran absorció inclús sense llana de roca (nosaltres no n'hi hem posat), estèticament no és lleig i molts estudis d'enregistrament o de radiodifusió l'utilitzen. La resta de la sala està coberta de guix, tret del terra, que està format de parquet sintètic, més econòmic i igual de bo que el parquet de fusta, amb l'avantatge respecte a aquest d'un manteniment molt més barat.

4.2. Tractament acústic de la sala de gravació principal

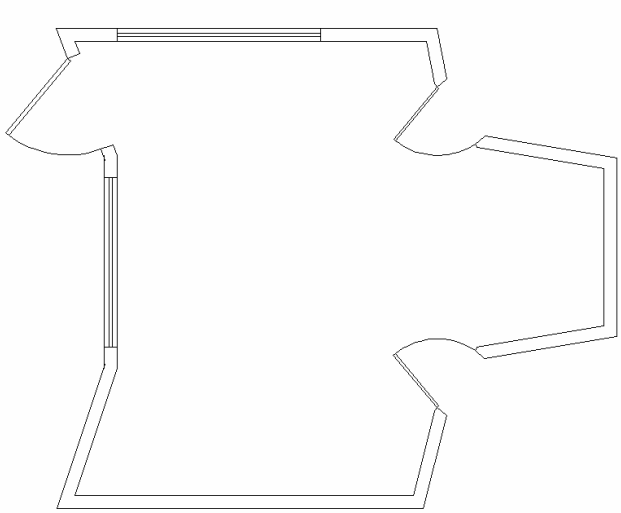
Com s'ha dit en apartats anteriors, es vol que aquesta sala tingui vivesa, però que el temps de reverberació no sigui massa elevat. Inicialment, s'ha pensat en valors d'entre 0.6 i 0.8 segons per tot l'ample de freqüències audible. Però abans de posar-nos a cobrir les parets, haurem de estudiar les ressonàncies de la sala, i ho farem amb el mateix procediment que hem seguit en l'estudi de les ressonàncies de la sala de control.

4.2.1. Estudi de les ressonàncies

En aquest cas, s'ha donat molta prioritat a aquest aspecte, per això s'ha dissenyat una sala amb quasi cap paral·lelisme i asimètrica per qualsevol dels costats. Aquesta sala (plànol 6) està formada per 12 parets, només dues de paral·leles. Aquestes tornen a ser les mateixes que en la sala de control, és a dir, les dues parets laterals. A més, en la paret lateral esquerra hi ha també una finestra. A part, en aquest cas no es té pensat inclinar el sostre, o sigui que comptarem amb l'afegit d'un terra i un sostre paral·lels. Això però, no ens ha de preocupar tant perquè es posarà una moqueta a una part del terra (on es col·locarà l'instrumentista o el cantant, i aquesta absorció extra impedirà que es produeixi una ona estacionària, que en aquest cas només es podrà produir per la radiació a 90 º de l'emissor.

Tot i així, en al plànol 2 també podem apreciar paral·lelisme entre el mòdul del mig de la paret divisòria i la paret posterior. Aquest paral·lelisme s'ha evitat de dues maneres: donant al vidre divisor de la part de la sala de gravació una inclinació cap al sostre de 2 graus, que si calculem per trigonometria equival a desviar el vidre 3.1 cm del marc superior, i posant pedra en la paret posterior que, amb les seves formes irregulars, impedeix una propagació perpendicular a la superfície, afegint a més (encara que de manera molt pobra) una mica de difusió a la sala. Però això ho veurem més endavant. Centrem-nos primer en les ressonàncies.

Per dur a terme el càlcul amb el programa ModeCalc, no hem d'oblidar en cap moment que li hem de donar les dimensions d'una sala rectangular, i que tenim 12 parets. Per sort, com comentàvem abans, el comportament ressonant d'una sala irregular de superfície S s'assembla molt al comportament d'una sala poligonal de quatre costats amb la mateixa superfície S. En aquest cas, tenim un volum de 25.32 m^2. Hem partit, com en el cas de la sala de control, d'una amplada de 4 m (en aquest cas no s'aproxima a la nostra, 5.35 m), pel que obtenim una llargada de 6.33. L'alçada en aquesta sala serà de 2.95 m.



Plànol 6: sala de gravació principal

Si introduïm aquests valors a ModeCalc, ens donarà els resultats que podem veure en la figura 20. Pel que es pot veure, els modes estan molt ben repartits, i en aquest cas només hi ha una acumulació, que es dóna entre la llargada i l'amplada entre 200 i 300 Hz. Concretament, es dóna per un harmònic de 217.38 Hz en la llargada i de 215.00 Hz en l'amplada. D'això podem deduir que de la part de paret que és paral·lela en les dues parets laterals, una d'aquestes haurà de tenir material absorbent per impedir una energia massa alta d'una possible ona estacionària. Pel que fa a la part de paret posterior que és paral·lela amb el mòdul del mig de la paret divisòria ja s'han comentat anteriorment les seves solucions.

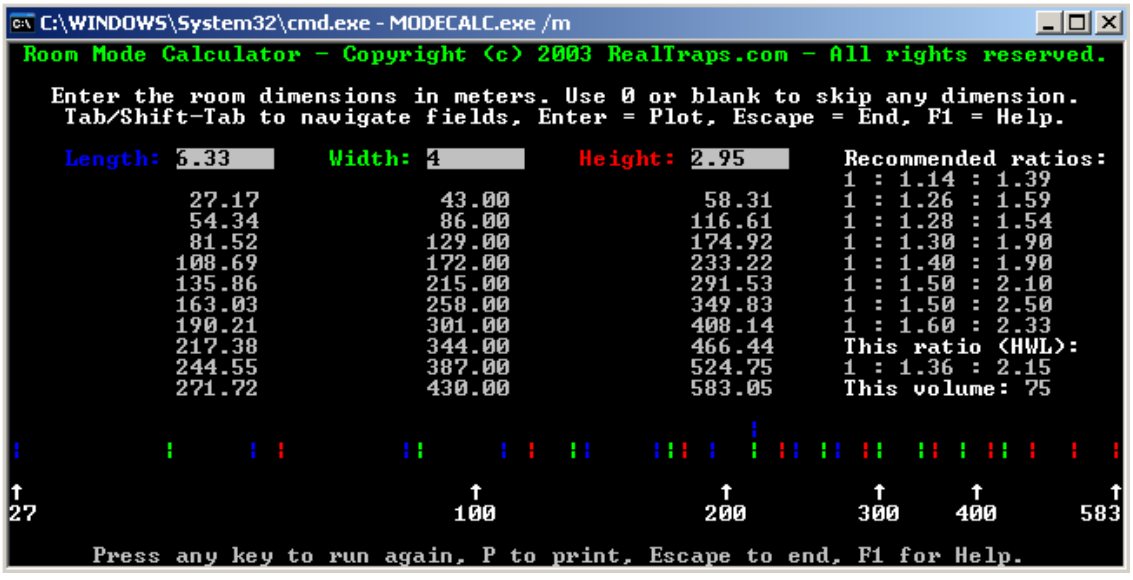


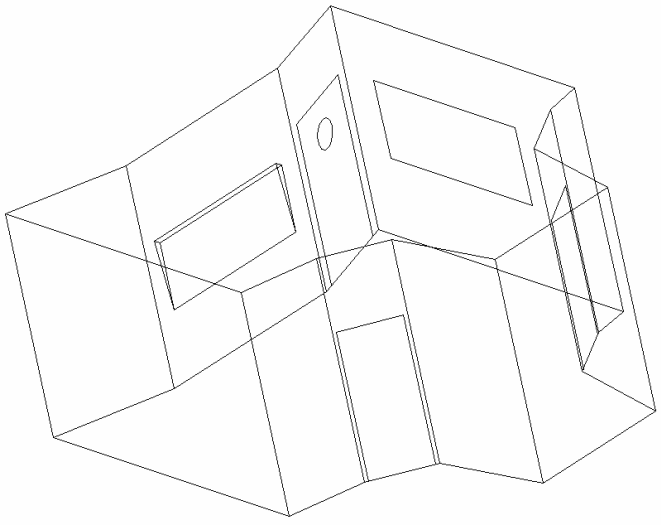
Figura 20: modes propis amb ModeCalc. Sala de gravació principal

A part del comentat, es pot veure que no complim cap dels *ratios* recomanats, de fet no ens acostem a cap d'ells, però si ho mirem amb una gràfica delimitadora de mides recomanades, veurem que estem just dins, per això es dóna aquesta distribució tan homogènia de modes normals.

4.2.2. *Ray tracing* amb Ease

Es seguirà el mateix procediment que en la sala de control. En aquesta sala, però, no haurem de calcular cap posició dels altaveus, simplement posarem un altaveu esfèric en la posició aproximada a la que estarà l'instrumentista. El fet d'escollir un altaveu esfèric s'ha donat perquè és l'aproximació més clara a un bombo de bateria, ja que aquest desprèn ones de baixa freqüència (hi ha bombos de fins a 24 " de diàmetre, amb la corresponent càrrega de baixa freqüència que això suposa) que, en la teoria, han de ser omnidireccionals.

L'únic problema que s'ha tingut en la simulació ha estat la impossibilitat de treballar amb el vidre torçat, ja que el programa donava problemes al tenir un vidre que sortia de la sala. Com a conseqüència, totes les mesures mitjançant *ray tracing* s'han fet amb el vidre pla. Per altra banda, però, això no suposarà un problema, ja que per les ones que rebotin al vidre hi haurem d'afegir una inclinació (imaginària, és clar) corresponent a la inclinació del vidre (2 º). Tot i així, en el plànol 7 es pot veure el plànol inicialment importat al programa Ease amb el vidre inclinat.



Plànol 7: sala de gravació principal en 3D

La senzillesa d'aquest plànol respon a les necessitats d'Ease. No es necessiten gruixos de parets, simplement la forma principal. Les cares (parets) es poden definir en el mateix programa i simplement se'ls hi aplica un material (molts ja tenen el gruix

programat, per això no fa falta especificar-lo) i el programa fa els càlculs necessaris. Tot i així, es veu clarament la inclinació del vidre.

Un cop sabem en què ens basarem, analitzarem els resultats de diferents ones obtingudes mitjançant el *ray tracing*.

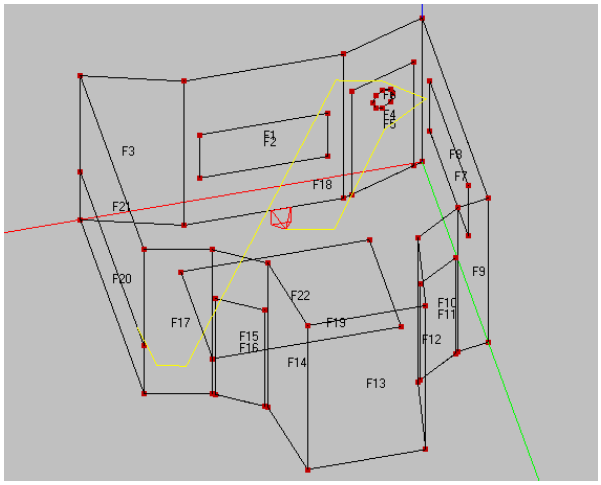


Figura 21: *ray tracing* de la sala de gravació principal. Raig 1

Abans de res, hem de tenir en compte que on hi ha la font és on hi ha el micròfon, ja que per això és aquella font la que volem enregistrar. Haurem de garantir doncs, que el front d'ones passi per la zona de l'altaveu només en reflexions d'ordre petit. En aquesta sala, hem fet traçar al programa les reflexions fins a ordre 7, per veure com es mouen en aquestes primeres reflexions però també en les posteriors.

En la figura 21, podem veure la primera ona a analitzar. Aquesta toca primer el terra, després rebota a la porta, després toca la paret lateral i torna al sostre per acabar rebotant en aquest i anar a parar a l'altra paret lateral. En aquesta paret hi haurem de dur un tractament absorbent pel tema de ressonàncies vist abans, o sigui que matarem dos ocells d'un tret, ja que qualsevol ona que incideix en aquesta superfície quedarà quasi sense energia. Però el més important que podem deduir d'aquest primer anàlisi és que en cap cas les reflexions podran ser captades pel micròfon o, en tot cas, ho seran en el rebot del sostre en el que la reflexió té ordre 5 que, donat la poca distància que ha recorregut l'ona, es traduirà amb una distància temporal també baixa.

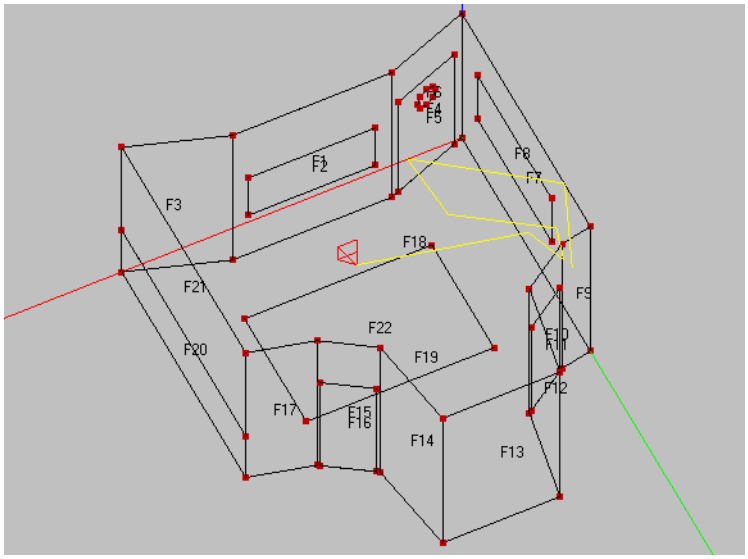


Figura 22: *ray tracing* de la sala de gravació principal. Raig 2

En la figura 22 podem veure l'efecte de tenir formes irregulars. En aquest cas, podem veure que l'ona surt de l'altaveu i toca al sostre, per després rebotar en la paret lateral i acabar rebotant entre el mòdul lateral de la paret divisòria, la paret lateral de la sala i el primer mòdul que conforma una de les cabines de gravació. No es produirà en cap moment una ona estacionària, ja que els rebots van en direccions molt diferents però, tot i així, no estaria malament dur a terme un tractament absorbent en una o part d'una d'aquestes cares.

L'important, però, segueix sent el fet que els rebots en cap cas podran ser captats pel micròfon, ja que esdevenen a varis metres d'aquest, però si augmentaran el temps de reverberació de la sala, que depenent del tractament absorbent que donem a la resta de les parets, ens podrà interessar.

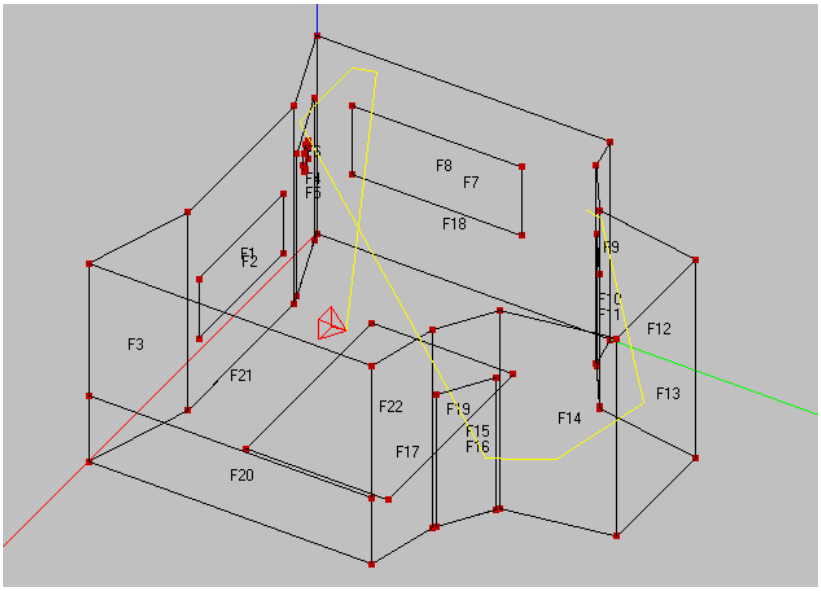


Figura 23: *ray tracing* de la sala de gravació principal. Raig 3

Un altre exemple del disseny de superfícies irregulars. En la figura 23 podem veure una ona que, després de rebotar en la paret lateral i el sostre, acaba a les parets posteriors de la sala, on haurem de garantir que aquesta no tingui suficient energia per a tornar a la zona de microfonia.

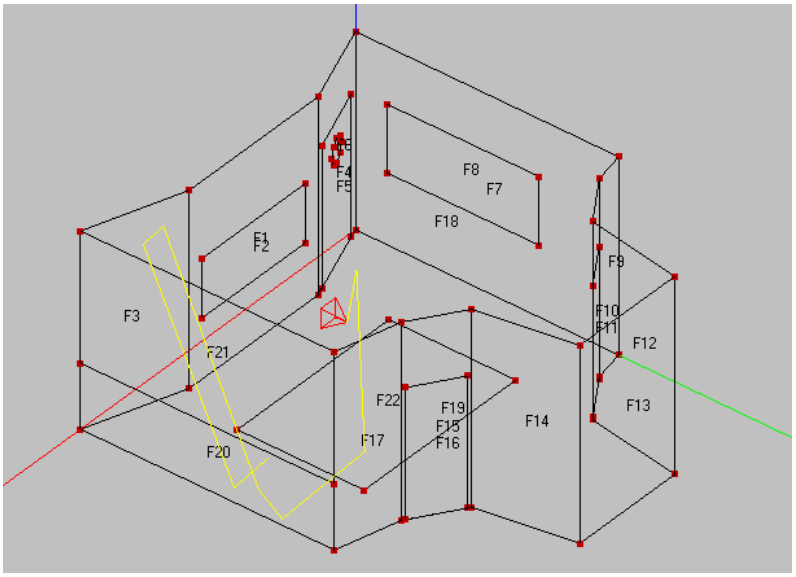


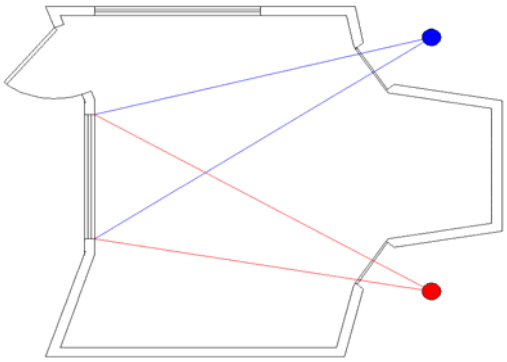
Figura 24: ray tracing de la sala de gravació principal. Raig 4

L'últim raig a anàlisi no porta bones notícies. Estem davant del que podria ser una anomalia. L'ona que surt de l'altaveu rebota al sostre, va a parar a la paret més a l'esquerra que forma una de les cabines de gravació i, al rebotar amb el terra i amb la paret lateral, esdevé dues ones paral·leles que es podrien sumar i esdevenir, tot i la

seva distància espacial, una ona estacionaria. L'explicació del perquè passa això en aquest costat i no en l'altre és ben senzilla: la sala no és simètrica. La forma d'aquesta part de la sala propicia l'aparició d'aquest efecte. La solució inicial és canviar l'orientació d'aquesta paret, però si la canviem fent un angle de desviació més alt no podem posar la porta de 0.80 metres que es vol, i no es vol treure espai en cap moment a la sala de gravació principal. El que farem és tractar aquesta paret lateral de la sala amb una absorció el més equilibrada possible per totes les freqüències.

Un cop vist el *ray tracing*, veurem per quins materials s'ha optat en cada superfície, i quin és el temps de reverberació. Per començar però, anem a veure una limitació o, més ben dit, una qüestió de comoditat que ha esdevingut prioritària respecte qualsevol disseny de materials en aquesta sala: les portes de les cabines. En cap cas es desitja tenir una cabina tancada, és a dir, sense cap vidre de comunicació amb la sala grossa i amb la sala de control. Lògicament, aquesta comunicació sempre es podrà tenir per mitjà de la microfonia, però ja que s'han posat uns finestrals amb l'objectiu de tenir llum natural a la sala, si les cabines també tenen accés a una part d'aquesta llum donaran una sensació d'espai superior i, per tant, més comoditat.

La solució pensada en un principi era posar un vidre en la paret esquerra per a la cabina esquerra i un vidre en la dreta per a la cabina de la dreta, però, a part de no millorar massa la presència de llum natural, no es tenia comunicació amb la sala de control. La solució final ha estat fer les portes de la cabina de vidre i orientar la porta de manera que hi hagi contacte visual directe amb la sala de control. Aquest detall es pot veure en el plànol 8.



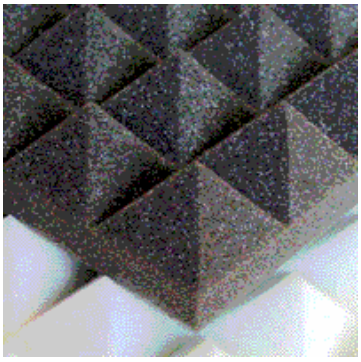
Plànol 8: angle de visió des de les cabines

Com es pot veure, qualsevol instrumentista situat en la cabina podrà tenir contacte visual amb la sala de control sense cap esforç. Es més, li suposa una petita part de l'angle de visió que es pot tenir en aquesta posició. Un altre avantatge de tenir tota la porta de vidre és l'augment de superfície que rebrà llum natural. A més, amb el

ray tracing, i estudiant molts més rajos dels comentats aquí, s'ha arribat a la conclusió que, amb un altaveu esfèric, de les 50 ones que s'han fet traçar a Ease, gairebé cap tocava aquesta part de la sala. Tenint clara aquesta limitació, veurem els materials amb els que s'ha cobert la sala.

4.2.3. Determinació del temps de reverberació

En la paret lateral, on hem vist a partir de les simulacions anteriors que es produïa un efecte que es podia entendre com una ona estacionària, i després de vàries proves, s'ha dividit la paret en dos mòduls amb diferents absorcions: a la part de baix i fins a 100 cm d'alçada s'ha ha posat un ressonador de Helmholtz a base de llistons amb una freqüència de disseny de 500 Hz, mentre que a la part restant de paret s'ha ha posat polietilè expandit en forma de cunya acústica de la marca Sonex[18] (fotografia 19).



Fotografia 19: panells Sonex de 2"

Pel que fa al ressonador, en aquest cas no s'ha tendit a la freqüència d'un harmònic del modes de la sala, sinó que s'han provat diferents valors de freqüències de disseny fins que s'ha obtingut una absorció més equilibrada, però el disseny serà exactament el mateix, amb la diferència que la distància D entre llistons serà més baixa. També hi haurà llana de roca en la càmera d'aire.

Els panells piramidals s'han col·locat en la major part de superfície de la paret ja que, a part de tenir bons valors d'absorció a baixa freqüència, tenen valors d'absorció a alta freqüència encara més bons, mentre que el ressonador és molt selectiu i l'utilitzarem només per a augmentar l'absorció en freqüències baixes.

Si continuem amb la resta de superfícies, el terra serà del mateix parquet sintètic i amb el mateix sistema de muntatge que el de la sala de control, però amb una diferència: s'hi ha col·locat una moqueta de 2 x 3 m per marcar la posició òptima dels

[18] En l'apartat 3.- Aïllament de l'estudi, explicàvem perquè aquesta forma beneficia l'absorció.

instruments, per recolzar un bombo de bateria sense que aquest es mogui[19] i per augmentar l'absorció d'aquesta part de la sala. Al sostre, s'ha optat per un panell de fusta de 16 mm d'amplada amb una càmera d'aire de 40 mm. Aquest material no ens dóna uns valors d'absorció molt alts, però si es posa un material molt absorbent el sostre, al ser una superfície molt gran, els valors de temps de reverberació baixen en picat. En tot cas, sí que ens dóna uns valors mínims d'absorció a baixes freqüències (figura 25).

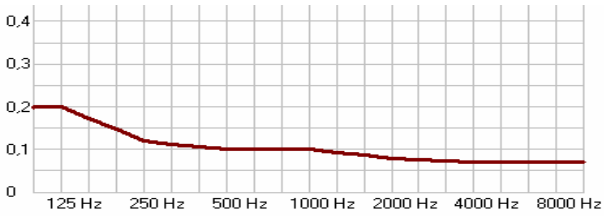
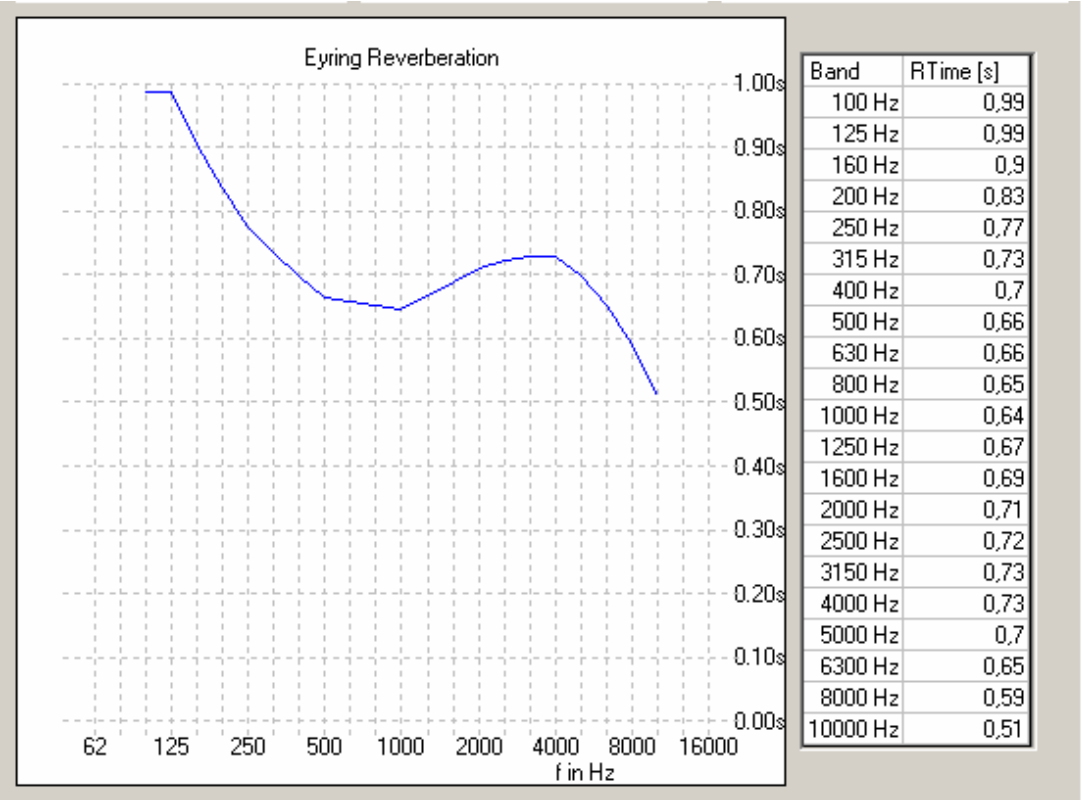


Figura 25: absorció dels panells de fusta

La paret posterior que queda paral·lela al mòdul del mig de la paret divisòria està coberta de pedra. Per simular-ho amb Ease, hem optat pel material *marble*, ja que no deixa de ser molt semblant a la pedra, tot i que la pedra té unes mínimes propietats difusores donada la seva forma irregular. Per acabar, la part entre la porta i el sostre de cada cabina també s'ha cobert de Sonex de 2". La resta de parets seran enguixades, amb acabat fi i pintades. Amb aquest repartiment de materials, ens dóna el temps de reverberació que es pot veure a la figura 26.

Veiem que, a freqüències inferiors a 200 Hz, el temps de reverberació és de 0.99 s. És un temps de reverberació alt, però està dins els nostres objectius. A partir de 250 Hz, però, el disseny del ressonador es deixa notar i hi ha una davallada important fins a arribar a 0.66 segons a la freqüència de disseny (un valor perfecte per als nostres objectius). El més important, però, és que a mesura que va augmentant la freqüència aquest temps es manté entre 0.64 i 0.73 segons fins a 800 Hz, on baixa fins a assolir 0.51 a 10 000 Hz. A partir d'aquesta freqüència i fins que el programa dibuixa, podem veure que el temps de reverberació disminueix, però en cap cas baixa de 0.5 segons. Hem complert els nostres objectius, en quant a ressonàncies i a temps de reverberació. Sens dubte, el disseny de la paret lateral ha estat molt important per aconseguir aquest mínim equilibri.

[19] Un detall molt freqüent quan es toca sobre superfícies molt rígides.



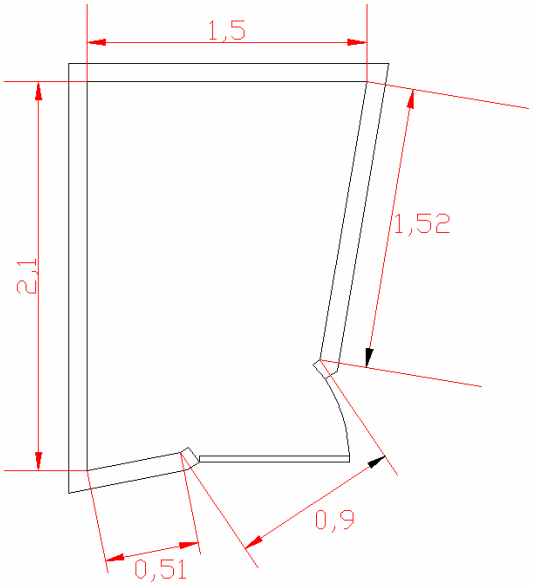
Band	RTime [s]
100 Hz	0,99
125 Hz	0,99
160 Hz	0,9
200 Hz	0,83
250 Hz	0,77
315 Hz	0,73
400 Hz	0,7
500 Hz	0,66
630 Hz	0,66
800 Hz	0,65
1000 Hz	0,64
1250 Hz	0,67
1600 Hz	0,69
2000 Hz	0,71
2500 Hz	0,72
3150 Hz	0,73
4000 Hz	0,73
5000 Hz	0,7
6300 Hz	0,65
8000 Hz	0,59
10000 Hz	0,51

Figura 26: RT en la sala de gravació principal

4.3. Tractament acústic de la cabina reverberant

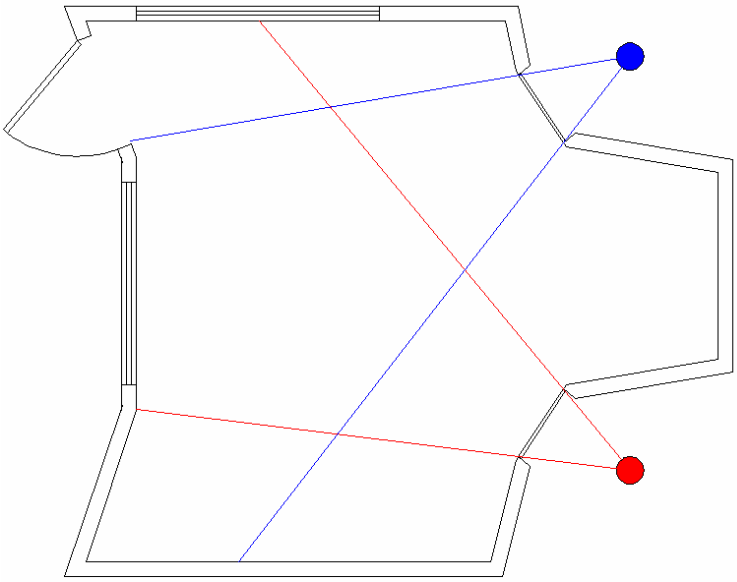
El disseny d'aquesta cabina és molt peculiar. La inspiració bàsica és tenir una cabina amb un so semblant al que es pot trobar en un lavabo, però sense l'efecte que la ressonància té en aquest, De fet, la raó per la que quan cantem a la dutxa sembla que cantem més bé ve de les ressonàncies, ja que aquestes, donat la poca distància que hi ha entre les parets de la dutxa, tenen una freqüència alta, i els harmònics es poden veure amplificats.

Per garantir un so amb un temps de reverberació alt però sense l'existència de ressonàncies, s'ha dissenyat una cabina on cap superfície és paral·lela, només el sostre i el terra. Aquesta cabina està formada per cinc parets de diferent angle respecte a l'horitzontal cadascuna. La paret que conté la porta de vidre s'ha dissenyat per encabir-hi una porta de 0.80 metres d'amplada, donada la possibilitat que hi hagin d'entrar equipaments grans i de difícil transport com altaveus d'amplificador de guitarra o baix (normalment formats per 4 altaveus de 12 " i una carcassa que els envolta). El disseny de la cabina es pot veure en el plànol 9.



Plànol 9: Cabina reverberant. Cotes en m

Referint-nos altra vegada a la porta d'entrada i fent referència també a l'esmentat en l'apartat anterior quan demostràvem que un músic situat en qualsevol de les cabines tenia contacte visual directe amb la sala de control, el fet que la porta sigui d'aquesta amplada ens dóna un angle de visió molt ample de la sala de gravació principal (plànol 10), la qual cosa donarà una sensació d'obertura bastant gran a la cabina, que sempre s'agraeix en un ambient petit i molt tancat.



Plànol 10: angle de visió des de les cabines

Com es pot veure, l'angle de visió en cadascuna de les cabines és molt semblant, si bé hi ha una diferència: en la cabina que no s'analitza en aquest apartat es té contacte directe amb una part del finestral, la qual cosa dóna, a part de sensació d'obertura, contacte visual amb l'exterior. La raó per la qual això és així és perquè en la cabina morta, que veurem en el següent apartat, és en la que s'hi gravaran més pistes de veu i, per tant, serà més probable que hi hagi gent en aquesta cabina que en la cabina reverberant, ja que aquesta està més pensada per a l'enregistrament de pistes de guitarra amb un toc de reverberació natural afegit, tot i que no es descarta per fer experiments amb efectes per a veu.

Un cop sabem les dimensions i perquè les hem dissenyat d'aquesta manera, veurem el tractament acústic que s'ha dut a terme. El procediment, tot i ser el mateix que el de les altres sales, serà molt més curt, ja que el disseny és molt més senzill.

4.3.1. Estudi de ressonàncies

En aquest cas, és té una sala amb una superfície molt petita de 2.52 m^2. Donat que de totes les superfícies només n'hi ha dues de paral·leles (el terra i el sostre), serà poc probable la generació d'un mode normal entre la resta de les parets, si bé s'haurà de tenir en compte aquest paral·lelisme.

Per a fer els càlculs amb ModeCalc hem suposat una llargada de 2 m, la qual cosa ens dóna una amplada de 1.26 m. L'alçada d'aquesta cabina serà constant i de valor 2.9 m. Si introduïm aquestes dades en el programa, obtenim els resultats mostrats en la figura 27.

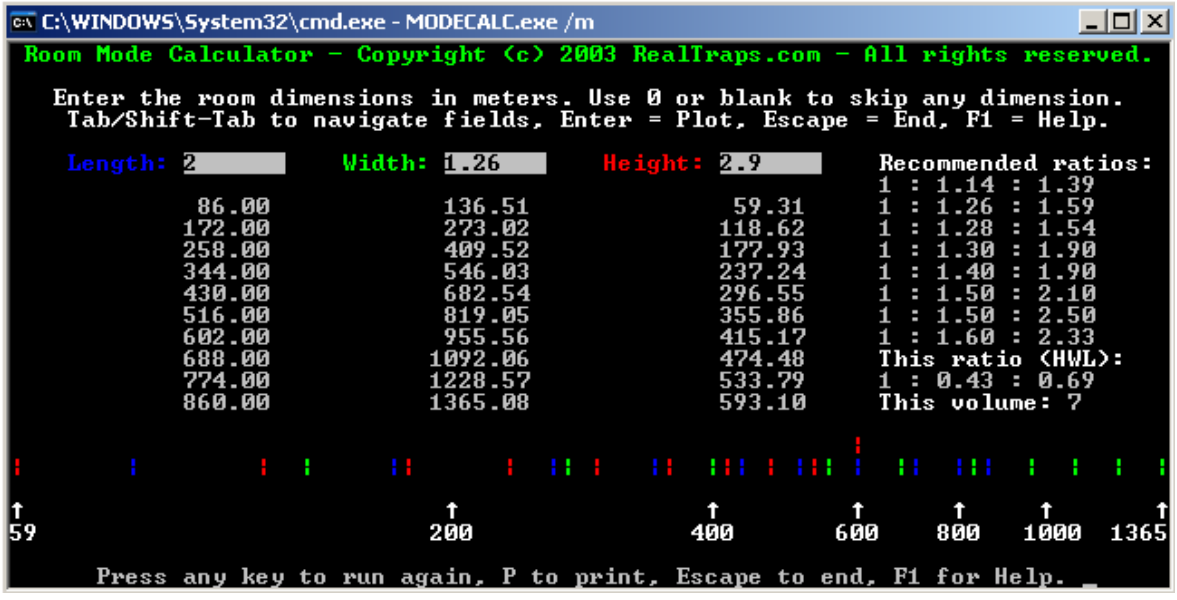


Figura 27: ressonàncies amb ModeCalc. Cabina reverberant

Com es pot veure, el repartiment de freqüències no és tan homogeni com en les altres dues sales, cosa que era d'esperar considerant les petites dimensions de la sala respecta la seva alçada, però tot i així no hi ha masses acumulacions perilloses. Se'n produeix una al voltant de 600 Hz entre l'alçada i la llargada, concretament a 593.10 Hz i 602.00 Hz respectivament. Donat que la cabina és totalment reverberant, haurem de tenir una mínima absorció en greus, sobretot al voltant d'aquesta freqüència. Un temps de reverberació més baix garantirà que, si es produeix una ressonància, l'amplificació del nivell d'aquesta freqüència que això comporta no es deixarà notar tant com en un indret sense tractament acústic.

4.3.2. *Ray tracing* amb Ease

L'element que farà d'aquesta sala no només una sala reverberant, sinó també una sala amb una reverberació semblant a la d'un lavabo, són les rajoles a partir de la qual està basada. Aquestes rajoles tenen unes dimensions petites (aproximadament 5 x 5 cm) que recorden també a les que es posen en una piscina d'obra, i es combinaran diferents colors per fer un tapís modern i amb molta presència de colors forts, com el vermell o el groc, el disseny del qual encara no està triat. Però abans de res, haurem de fer un *ray tracing* de la sala per veure si alguna ressonància és possible, per actuar en conseqüència i tractar menys parets amb la rajola comentada. En aquest cas, s'han traçat reflexions fins a ordre 8 ja que, donades les petites dimensions de la sala, els rebots es produiran en molt poca distància temporal i n'hi haurà molts en poc temps.

Pel que fa a l'altaveu, s'ha simulat un altaveu esfèric la posició del qual es pot veure en la figura 28, ja que és la posició on aniria un amplificador de guitarra o de baix per a ésser enregistrat.

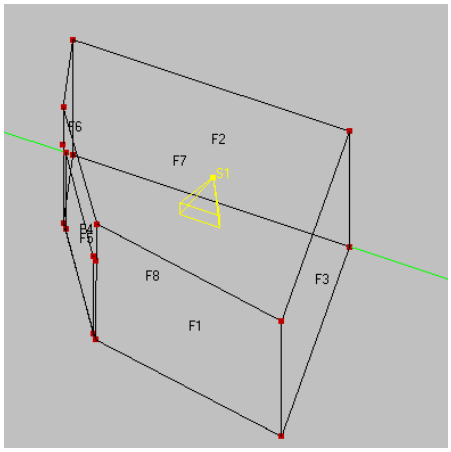


Figura 28: posició de l'altaveu en la cabina reverberant

Podem veure que l'altaveu està encarat cap a la paret que té al davant, que no és paral·lela a la paret posterior. Anem a veure ara el resultat del *ray tracing*.

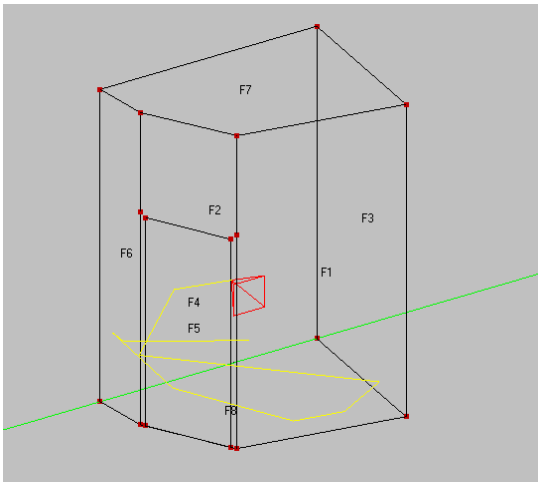


Figura 29: *ray tracing* en la cabina reverberant. Raig 1

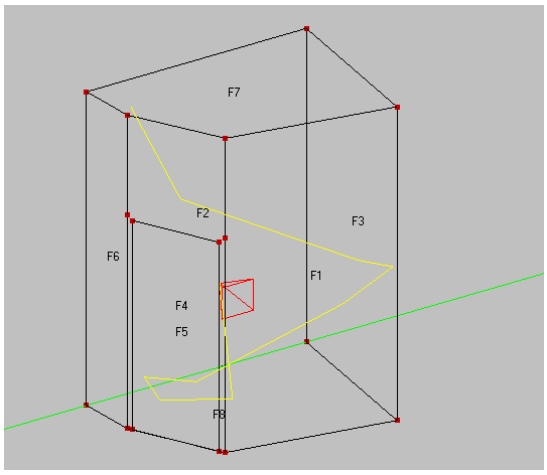


Figura 30: *ray tracing* en la cabina reverberant. Raig 2

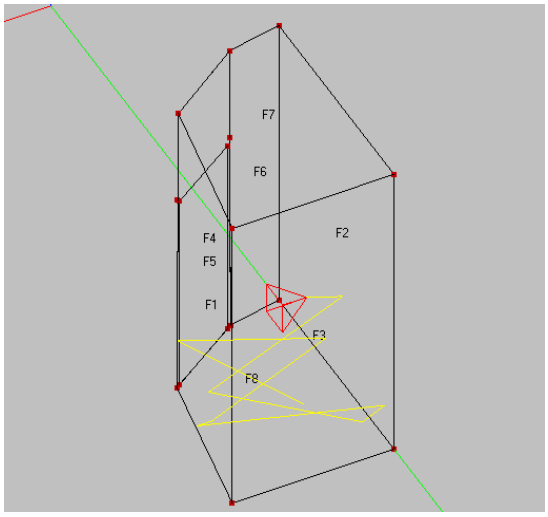
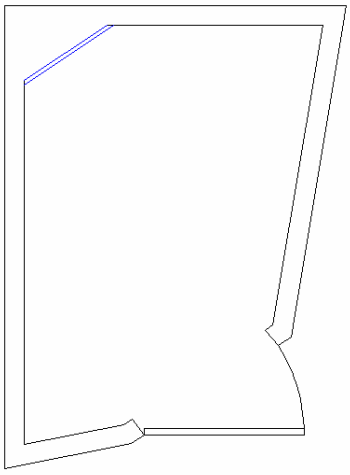


Figura 31: *ray tracing* en la cabina reverberant. Raig 3

Es pot veure en les tres figures que l'ona que emet l'altaveu es propaga en múltiples direccions, que és precisament el que ens interessa. No hi ha presencia aparent de rebots paral·lels, si bé en la figura 31 podem veure que s'acumulen molts rebots en la zona baixa de la cabina. Això es podria solucionar donant una inclinació a l'altaveu, però si el que estem gravant és un baix, el seu amplificador desprendrà una ona omnidireccional, en la qual la inclinació de l'altaveu no importarà. La solució més fàcil és eliminar l'angle de 90 º que hi ha entre dues de les parets de les cabines, parets delimitadores del recinte de l'estudi. Si ens fixem en les ones que són paral·leles, veurem que són provocades normalment per aquestes dues parets. Si es posa un petit mòdul a la paret (plànol 11), aquest angle recte s'evita i s'evita, per tant, la possibilitat de creació d'ones paral·leles.

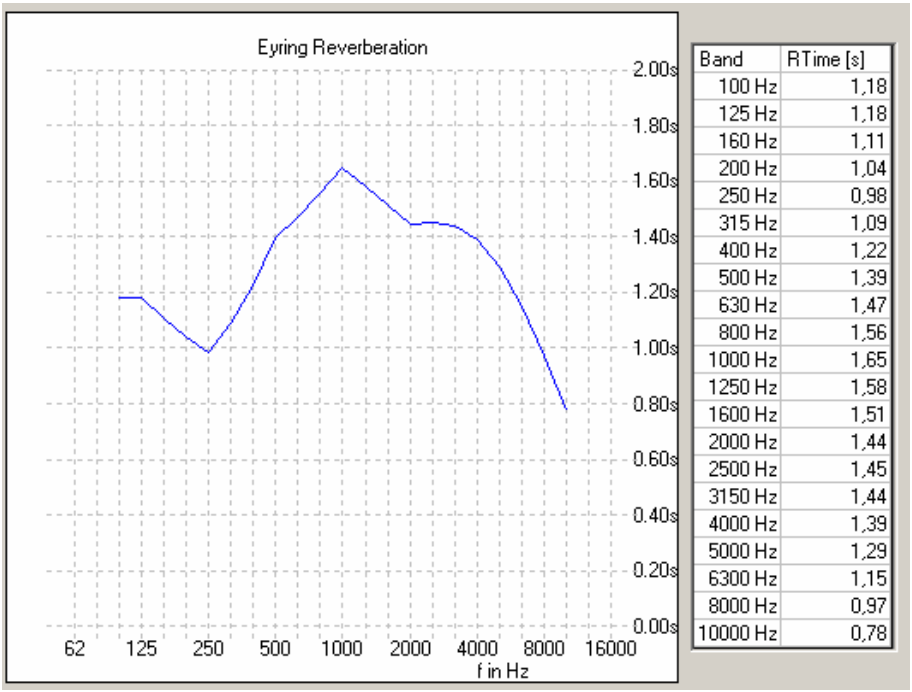


Plànol 11: proposta de mòdul a la cabina reverberant

Aquest mòdul forma un angle de 32 º amb una horitzontal traçada des del punt més baix del mòdul, però només és una proposició. Òbviament, la paret divisòria de l'estudi segueix existint, ja que en la seva part lateral és una paret mestra, si bé s'ha prescindit d'ella en aquest plànol perquè és més fàcil veure la forma final de la cabina. Els càlculs de temps de reverberació s'han fet amb la sala sense aquest mòdul, ,ja que abans de posar-lo i reduir espai de la cabina és necessari saber si realment fa falta,i per això es necessitaria analitzar la resposta de la sala a un escombrat de freqüències, cosa que no s'ha pogut fer perquè a data d'entrega d'aquest projecte aquesta cabina no està encara construïda.

4.3.3. Determinació del temps de reverberació

Anem a veure ara el recobriment de materials que s'ha dut a terme i el temps de reverberació que en resulta. Com s'ha mencionat abans, s'ha escollit un material que consta de petites rajoles a mode de piscina d'obra. Per simular-ho amb Ease s'ha posat, en totes les parets menys en la que conté la porta, el material anomenat *glazed tile*, que si ho traduïm al català vol dir rajola vernissada, que és exactament el que tindrem en aquesta sala, els valors baixíssims d'absorció de la qual podem veure en la figura 33. Al terra s'ha optat per parquet sintètic, com en totes les sales que hem estudiat fins ara, i en el sostre s'hi ha posat la mateixa làmina de fusta de 18 mm de gruix amb una càmera d'aire de 4 cm que hi haurà en la sala de gravació principal. Pel que fa a la paret que conté la porta, aquesta s'ha calculat amb una capa de guix d'acabat suau. Amb aquest materials, s'obté el temps de reverberació de la figura 32.



Band	RTime [s]
100 Hz	1,18
125 Hz	1,18
160 Hz	1,11
200 Hz	1,04
250 Hz	0,98
315 Hz	1,09
400 Hz	1,22
500 Hz	1,39
630 Hz	1,47
800 Hz	1,56
1000 Hz	1,65
1250 Hz	1,58
1600 Hz	1,51
2000 Hz	1,44
2500 Hz	1,45
3150 Hz	1,44
4000 Hz	1,39
5000 Hz	1,29
6300 Hz	1,15
8000 Hz	0,97
10000 Hz	0,78

Figura 32: RT de la cabina reverberant

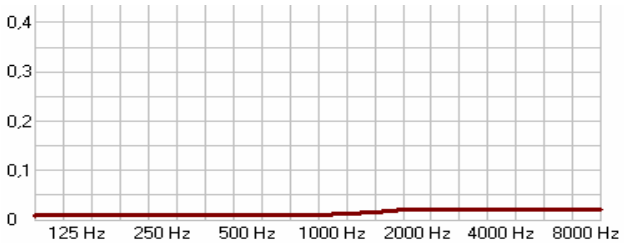
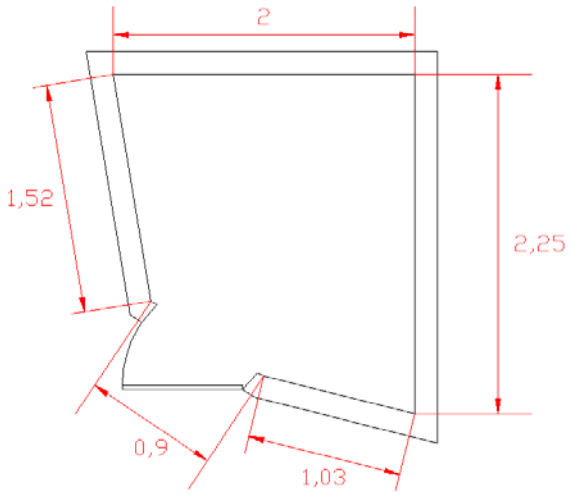


Figura 33: absorció de les rajoles

Com es pot observar en la figura 32, el temps de reverberació és més baix a baixes freqüències. Al 250 Hz es troba un mínim relatiu, que correspon a un temps de reverberació de 0.98 segons, un valor baix però, considerant l'acumulació de rebots que succeeix en aquesta sala i considerant també que les baixes freqüències tenen un patró omnidireccional, d'aquesta manera es produirà una atenuació que farà que no es produeixin ressonàncies al gravar, per exemple, un baix elèctric. En la resta de l'espectre, fins a arribar a 5000 Hz estem en un temps de reverberació d'entre 1.4 i 1.6 segons, la qual cosa compleix els nostres objectius. A partir de 8000 Hz però, aquest temps de reverberació baixa, però en cap cas es troba per sota de 0.8.

4.4. Tractament acústic de la cabina morta

En aquest cas ens trobem just amb el contrari que en la cabina reverberant. El que es vol és una sala morta, on l'objectiu principal de disseny és la gravació de pistes de veu. Per això s'ha tingut com a objectiu un valor molt baix de temps de reverberació d'entre 0.3 i 0.4 segons en tot l'ample de freqüència. Aquesta cabina té les dimensions que es poden veure en el plànol 12.



Plànol 12: Cabina morta

S'ha seguit el mateix mètode que en la cabina 1. Hi ha cinc parets, cap d'elles paral·lela. En aquest cas, però, la cabina morta té més superfície per acomodar-hi a dos cantants perfectament, sense falta d'espai. Com es deia anteriorment, s'ha donat especial importància a l'orientació de la porta perquè els cantants que estiguin gravant tinguin accés a la llum natural, per no produir la sensació de tancament que es té, per exemple, en un ascensor.

4.4.1. Estudi de les ressonàncies

En la cabina reverberant havíem d'anar amb molt de compte perquè les ressonàncies, si es produïen, es veurien molt amplificades per l'elevat temps de reverberació, però en aquest cas, donat que tenim una cabina amb un temps de reverberació molt baix, i qualsevol amplificació de freqüència serà atenuada molt ràpidament. Tot i així, haurem d'estudiar el repartiment de modes propis ja que, igual que abans, tenim una sala amb unes dimensions molt petites respecte la seva alçada.

El terra de la cabina morta té una superfície de 3.55 m^2 i una alçada de 2.95 m. Per a introduir les dades a ModeCalc, hem suposat una llargada de 2.5 (aproximant els 2.25 que tenim realment), amb el que resulta una amplada de 1.42 m. Els resultats de la simulació es poden veure en la figura 34.

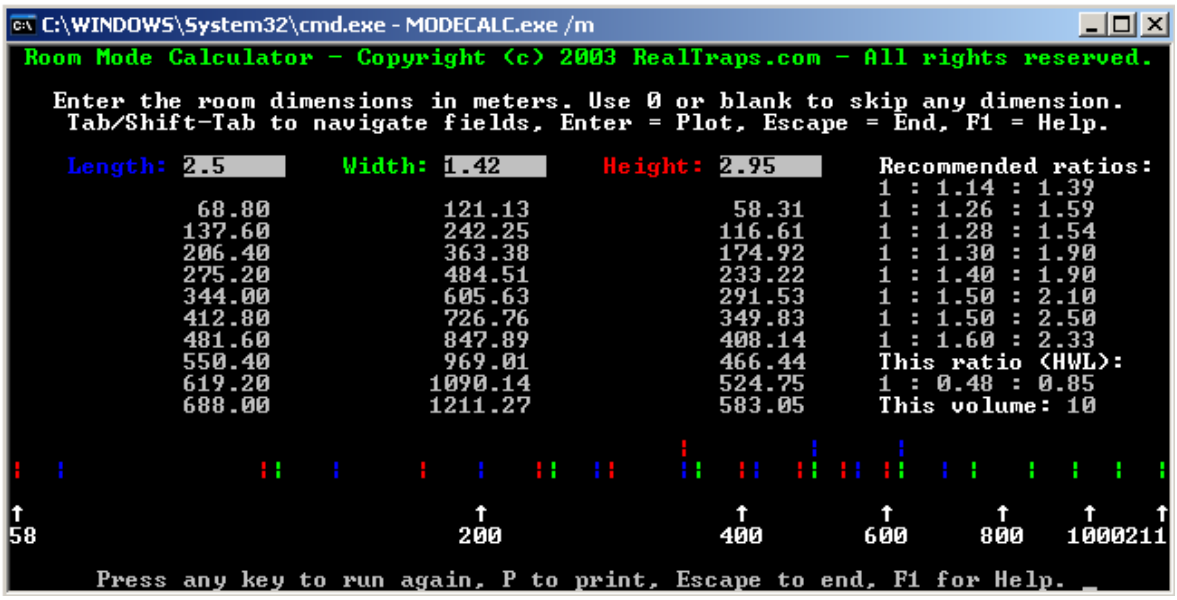


Figura 34: càlcul de ressonàncies de la cabina morta amb ModeCalc

Podem veure un repartiment de freqüències de ressonància molt semblant al de l'altra cabina, amb la diferència que aquesta cabina té tres freqüències de ressonància superposades en comptes d'una. La primera d'elles es produeix entre l'alçada i l'amplada, a 349.83 i 344.00 Hz respectivament. La segona d'elles es produeix entre la llargada i l'amplada, a 481.60 i 484.51 Hz respectivament. La tercera i última es produeix també entre l'alçada i l'amplada, a 619.20 i 605.63 Hz respectivament.

Pel que fa a les ressonàncies de l'amplada i de la llargada de la sala, no ens hem de preocupar gaire, ja que la forma irregular d'aquestes disminuirà molt la possibilitat de creació de ressonàncies, però haurem de garantir que no es produeix

cap ressonància entre el sostre i el terra. Per a fer-ho, haurem de tenir una absorció considerable al voltant d'aquesta freqüència, que és bastant baixa.

4.4.2. *Ray tracing* amb Ease

En un principi hom podria pensar que un *ray tracing* en una sala tan absorbent és innecessari, ja que les ones sonores es quedaran sense energia en els primers rebots; però per garantir l'efectivitat del disseny de materials que s'ha dut a terme, i que veurem més endavant, ens farà falta.

El que estem buscant és que les ones es reparteixin en tota l'alçada de la sala, ja que el disseny dut a terme es basa en deixar la part inferior de la sala sense cobrir, és a dir, amb guix. Per simular-ho hem col·locat un altaveu esfèric en el punt en el que abans calculàvem l'angle de visió, quan ho veiem per totes dues cabines. Per simular que el que està emetent ones sonores és un cantant, aquest altaveu s'ha col·locat a 1.70 metres d'alçada i amb un angle de 0º. Els resultats obtinguts es presenten en les següents figures:

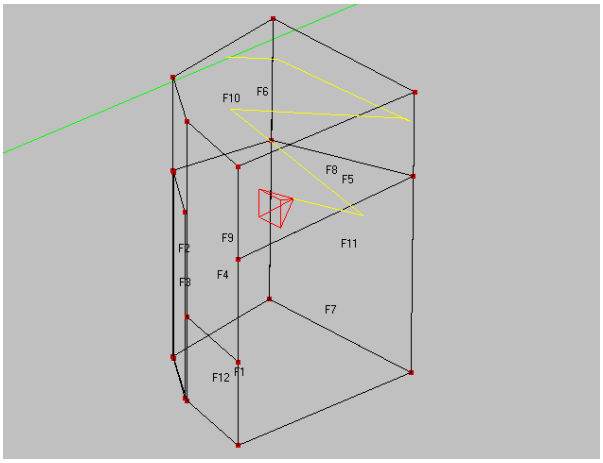


Figura 35: *ray tracing* en la cabina morta. Raig 1

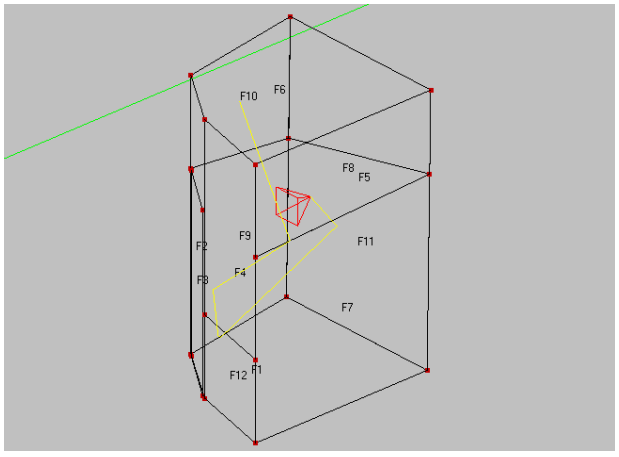


Figura 36: *ray tracing* en la cabina morta. Raig 2

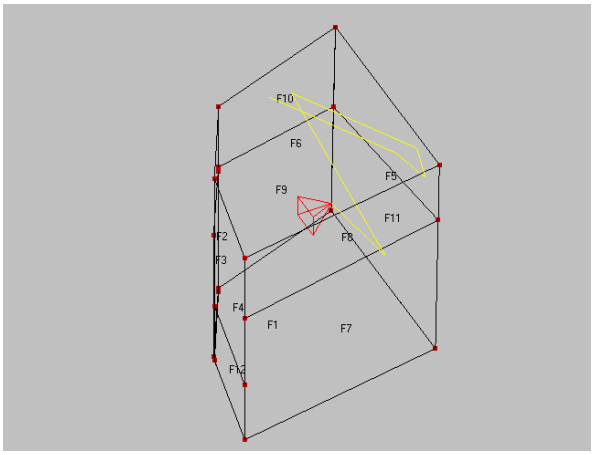


Figura 37: *ray tracing* en la cabina morta. Raig 3

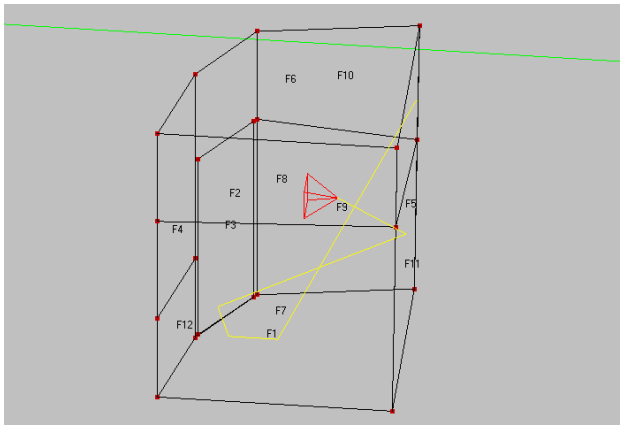


Figura 38: *ray tracing* en la cabina morta. Raig 4

Es pot apreciar que, en les tres fotografies, les ones acaben a la part superior de la cabina. Les que acaben a la part inferior, com en la figura 35, reboten sempre cap al sostre. Això és degut a l'alçada de l'altaveu, i també a la seva posició respecte a les parets. Tot i que les ones triguin fins a 5 reflexions en arribar al sostre, això no ens preocupa, ja que la distància espacial entre les parets és molt petita i, per tant, també ho serà la seva distància temporal. Tot i això, en la figura 37 s'obté la creació de dues ones paral·leles creades, com en l'anterior cabina, per l'angle de 90 º entre les parets delimitadores. En aquest cas la solució no serà afegir un mòdul, sinó que serà afegir molta absorció perquè les ones que puguin ser paral·leles tinguin una energia conjunta en cas d'interferència constructiva que sigui discriminable.

4.4.3. Determinació del temps de reverberació

Un cop hem vist la comprovació de l'efectivitat del nostre disseny, podem centrar-nos en els materials i en les formes. L'idea inicial era omplir tota la cabina de

material absorbent, inclòs el terra, per tenir una sala el més apagada possible, però quan es van introduir aquests valors al programa, cobrint tota la sala de fibra piramidal Sonex, aplicant un terra de moqueta i un sostre d'encenall sense llana de roca, es va obtenir un temps de reverberació baixíssim, de l'ordre de 0.04 s. El que s'ha fet, doncs, és posar el terra de parquet sintètic, com en totes les sales. El sostre és de la mateixa làmina de fusta de 18 mm que hem posat a l'altra cabina. Pel que fa a les parets, hem dissenyat una estructura irregular (purament per qüestions de disseny) de cobriment de la part alta de les parets amb fibra Sonex de 2 ". A la paret a l'esquerra de la porta, s'ha posat un ressonador múltiple de Helmholtz a base de llistons amb una freqüència de disseny de 250 Hz, només fins a 0.90 m d'alçada. La resta és paret coberta de guix. Aquesta distribució es pot veure a la figura 39.

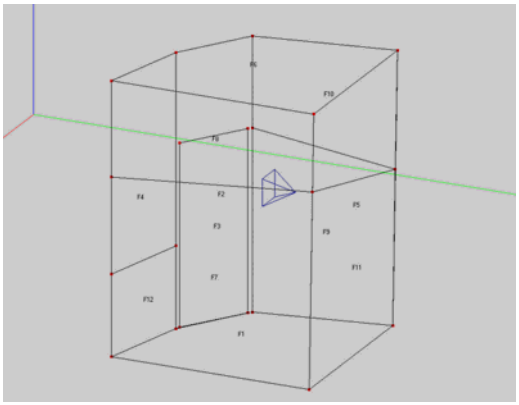
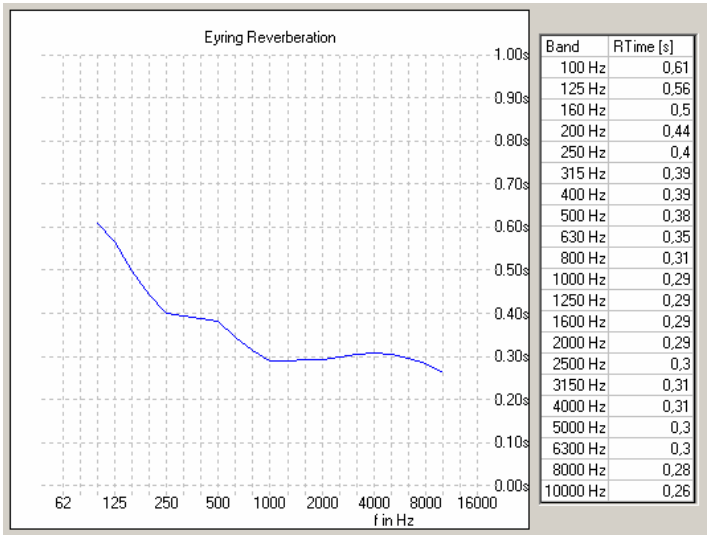


Figura 39: disseny del recobriment de les parets

La paret que conté la porta és tota coberta de guix, igual que la que conté el ressonador múltiple, que és de guix en tota la seva part. Amb aquesta distribució de materials, s'obté el temps de reverberació de la següent figura:



Band	RTime [s]
100 Hz	0,61
125 Hz	0,56
160 Hz	0,5
200 Hz	0,44
250 Hz	0,4
315 Hz	0,39
400 Hz	0,39
500 Hz	0,38
630 Hz	0,35
800 Hz	0,31
1000 Hz	0,29
1250 Hz	0,29
1600 Hz	0,29
2000 Hz	0,29
2500 Hz	0,3
3150 Hz	0,31
4000 Hz	0,31
5000 Hz	0,3
6300 Hz	0,3
8000 Hz	0,28
10000 Hz	0,26

Figura 40: RT de la cabina morta

Hem aconseguit una molt bona absorció en freqüències baixes a partir de 200 Hz. El temps de reverberació a freqüències més baixes que aquesta no és mai superior a 0.6. Això és gràcies al ressonador múltiple a base de llistons. A part, l'absorció selectiva d'aquest tipus de ressonador (que conté llana de roca) fa que a altes freqüències no intervingui en l'absorció global de la sala. A altes freqüències, el Sonex dóna un rendiment molt elevat, tot i ser de 2 ", i s'aconsegueixen valors amb un mínim de 0.29, quasi els 0.3 que ens proposàvem.

Aquest temps de reverberació pot resultar, tot i que es dubta que així sigui, massa baix. L'avantatge que tenim amb aquest disseny és que només haurem de retallar un bocí de fibra Sonex si volem disminuir l'absorció.

5. Equipament de l'estudi

Fins ara, hem vist tot el relacionat amb l'acústica de cadascuna de les sales, ja sigui d'aïllament o de condicionament . Però amb això no n'hi ha prou. Es necessitarà un bon equipament a l'alçada del disseny acústic. I l'equipament és una part molt important. Un equipament amb mals convertidors, per exemple, donarà poca fiabilitat del senyal analògic quan aquest sigui convertit en digital. Un preamplificador a base de vàlvules haurà de garantir un nivell de soroll molt baix amb guanys alts, on les vàlvules comencen a saturar i donen un nivell de soroll més alt que en guanys baixos. Però el més important és el cervell del sistema: l'ordinador.

En els temps que corren, pocs estudis de gravació segueixen utilitzant mètodes analògics d'enregistrament del senyal com per exemple, gravadors multipistes. Tot i que el procés d'amplificació sigui encara analògic[20] en la majoria dels casos (tot i que existeixen amplificadors digitals, és clar), tot s'acaba convertint en digital, la qual cosa ens acaba portant a un ordinador. Amb una computadora el suficientment potent podem aconseguir unes gravacions amb qualitat superior, gràcies bàsicament a la facilitat per inserir efectes digitals, que no deixen de ser programes informàtics inspirats en el funcionament dels seus homòlegs analògics. Actualment aquests programes, també anomenats *plugins*, són de molta qualitat i poden simular perfectament els elements electrònics a partir dels quals són dissenyats.

Ara bé, l'inserció de cadascun d'aquests programes utilitza una part de la memòria del processador, tant del tipus volàtil (RAM), com del mateix processador. Això fa que, si en cada pista que gravem hi ha un *plugin*, no podrem gravar moltes pistes, ja que arribarem al límit del processador i es començaran a produir talls en l'àudio, ja sigui durant l'enregistrament o durant l'escolta. Per solucionar-ho, haurem d'augmentar el *buffer* de la tarja d'adquisició de dades o tarja de so, amb el conseqüent augment del retard entre el senyal d'entrada i el de sortida, i que farà que la pista enregistrada pugui tenir un retard respecte les altres.

En un estudi casolà, però, no ens importarà gaire, perquè amb un pc o un mac i una tarja de so podrem gravar una cançó amb un plugin per pista, ja que mai tindran un nombre elevat. El problema és que en un estudi de so professional el nombre de pistes per cançó pot arribar a ser molt alt, pel que haurem de garantir que el processador estigui disponible en qualsevol moment i que tingui el suficient rendiment

[20] La veu o qualsevol instrument acústic despenen ones sonores, que s'han de captar amb transductors analògics.

sense saturar-se. Per això s'ha escollit la plataforma de gravació Digidesign Pro Tools HD.

La plataforma Pro Tools es basa en tres nivells. El primer, anomenat *interface*, interfície, és el que comunica l'entorn analògic amb l'ordinador. És un mòdul extern a aquest i que ens prové d'entrades i sortides, tant analògiques com digitals. El segon nivell, anomenat *Core*, està constituït per una o més targes allotjades en la carcassa de l'ordinador que, mitjançant tecnologia PCI-Express d'alta velocitat es comuniquen amb el processador de l'ordinador.

Cadascuna d'aquestes targes conté sis DSP's per al processament, de manera que tot l'àudio enregistrat es processa íntegrament en aquestes, deixant el processador lliure de treball durant tota l'estona. Com més targes, més pistes es poden gravar a temps real sense carregar l'ordinador.

El tercer nivell és el nivell software. El software Pro Tools té accés directe a les DSP's de les targes, pel qual podem programar el que vulguem, destinar més potència al que vulguem i, en tot moment, podem veure el rendiment en temps real d'aquestes targes, així com el percentatge d'ocupació. Tot i així, el sistema Pro Tools HD pot treballar amb altre software de producció d'àudio per ordinador, encara que no tindrem un control tan exhaustiu com amb el software específic.

A part, hi pot haver un quart nivell, que en aquest cas està entre les DSP's i el software. La superfície de control. Podem entrar al sistema les sortides d'una taula analògica o digital, i controlar primer els volums de la taula i després els del software per fer la mescla, o podem tenir una superfície de control. D'aquesta manera, només ajustem el guany en el preamplificador i després estem ajustant els guanys que hi ha en el software.

Arribats a aquest punt, i coneixent la base del nostre sistema, descriurem tot l'equipament més important de l'estudi, com són els previs, els monitors i tot el sistema pro tools, i farem menció de l'equipament restant, necessari igualment, com la microfonia, teclat... La descripció es farà començants pels previs, seguint pel sistema pro tools i l'ordinador i s'acabarà amb els monitors.

5.1. Preamplificadors

Com s'ha dit abans, la qualitat dels preamplificadors (també anomenats previs) pot determinar la qualitat del senyal que entri al sistema Pro Tools. En l'estudi es disposarà de quatre previs professionals, que s'afegiran als 16 que porta incorporada la controladora del sistema Control|24, que veurem més endavant.

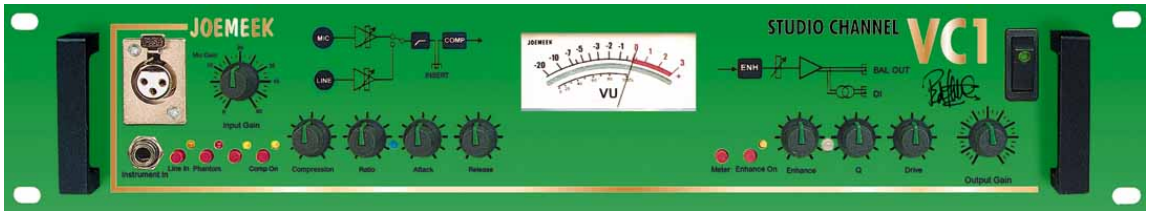
5.1.1. Preamplificador Avalon VT-737 SP

Fotografia 20: Avalon VT-737 SP

Dissenyat per Avalon Design (www.avalondesign.com), és una combinació de preamplificador i compressor a vàlvules, i equalitzador digital amb transistors d'alt voltatge de classe A (fotografia 20). Pot amplificar senyals provinents de qualsevol tipus de micròfon, senyals de línia i senyals d'alta impedància d'instruments com la guitarra elèctrica i el baix elèctric, pel qual és molt versàtil. El preamplificador està format per dos tríodes de vàlvules en sèrie, igual que el compressor, que a part també gaudeix de control de nivell òptic, que el fa molt precís i menys sorollós.

Segurament, però, el més important és la seva alta resposta en freqüència i el seu baix soroll. Per a l'entrada de línia té una resposta en freqüència de 1 Hz a 200 kHz, què correspon a un ample de banda deu vegades superior a l'ample de banda audible. El nivell de soroll també és molt baix, concretament de -116dB a un ample de banda de 22 Hz a 22 kHz. El nivell de sortida màxima que dóna pot arribar a + 30 dB en una sortida balancejada de 600 ohms. L'equalitzador que incorpora és paramètric de 4 bandes, el factor Q de dues de les quals és regulable.

5.1.2. Preamplificador Joemeek VC-1



Fotografia 21: Joemeek VC-1

Un estàndard en els estudis de gravació de tot el món en l'època del seu llançament (fotografia 21), la llàstima és que ja no es fabrica (www.joemeek.com). Està

format per una carcassa de dues unitats de rack[21] on hi ha el preamplificador, un compressor i un realçador dissenyat per a la gravació directa a gravadors analògics o targes de so amb entrada de línia.

Utilitza un transformador acoblat per a l'entrada, seguit d'un amplificador d'estat sòlid que ofereix un guany d'entre 15 i 70 dB. La connexió es pot fer mitjançant connexió balancejada XLR i un jack TRS de ¼" per a instrument. Possiblement, l'impedància de l'entrada d'instrument és una mica baixa (150 kΩ) per a utilitzar el previ com a caixa d'injecció directa per a la senyal del previ d'una guitarra acústica, però pot funcionar bé per a la majoria d'instruments.

L'entrada de micròfon (amb alimentació *phantom* per a micròfons de condensador) i d'instrument estan en la part davantera de la carcassa, però l'entrada de micròfon està duplicada en la part posterior, per a una connexió directa a un *patch bay*. Hi ha un punt d'inserció abans que el senyal passi per el compressor per si es vol agregar un efecte al senyal abans de comprimir, la qual cosa és molt útil, ja que no és el mateix, per exemple, aplicar una reverberació electrònica al senyal i després comprimir-lo que fer-ho a l'inrevés.

Potser el punt negatiu que té és que no hi ha cap limitador de sortida, que ens podria interessar per anivellar el senyal després de passar per el compressor, ja que aquest li variarà el nivell. A l'estudi hi haurà dos previs com aquest.

5.1.3. Preamplificador TL Audio Ivory 5051

Fotografia 22: TL Audio Ivory 5051

Més aviat un *channel strip*, és a dir, un canal d'amplificació i processament del senyal, constà de preamplificador de micròfon amb alimentador *phantom*, preamplificador de línia i preamplificador d'instruments, compressor amb tres modes diferents, porta òptica i equalitzador paramètric de quatre bandes.

[21] Una unitat de rack (1U) = 45 mm.

L'entrada té un atenuador de 30 dB per senyals de nivell molt alt i un filtre pas alt a una freqüència de 90 Hz per eliminar possibles nivells de soroll en l'entrada causats, per exemple, per unes males pastilles en una guitarra elèctrica. A part, disposa de funció *link* per a ésser connectat amb un altre 5051 o qualsevol preamplificador de la sèrie 50 i esdevenir així un preamplificador estèreo.

Pel que fa a l'electrònica, el 5051 consta de tres etapes de vàlvules, una en el preamplificador, una en el circuit de control de guany del compressor i una en l'equalitzador. En tots tres casos, aquesta etapa està formada per dos tríodes de vàlvules, un construït amb vàlvules ECC83 i un altre construït amb vàlvules 12AX7A. Les tres etapes estan alimentades des de la font interna de 150 V.

5.2. Sistema Pro Tools

Com s'ha comentat abans, l'anima de l'estudi és el sistema Pro Tools, del qual n'hem comentat el funcionament bàsic. En aquest cas, s'ha optat per un sistema *Core* amb dues targes PCI-E, dues interfícies d'entrada/sortida i la controladora Control|24, que veurem un a un:

5.2.1. Pro Tools HD 2 Accel

Fotografia 23: Pro Tools HD 2 Accel

Aquest sistema està format per dues targes de processament i entrada/sortida de dades. Una de les dues plaques és la placa mestra o *HD Core Card*, i l'altre serveix per a augmentar la capacitat de processament d'aquesta fins a quatre vegades. S'anomena *Accel Card*. El conjunt de les dues targes pot suportar 64 canals d'entrada/sortida i una reproducció amb efectes a temps real de fins a 192 pistes

simultàniament sense estressar l'ordinador. Pot funcionar tan en PC (només amb PCI) com en Macintosh (tant en PCI com en PCI-E). Per a ampliar el sistema, si és necessari, es pot fer fàcilment afegint una altra tarja *Accel Card* o adquirint una carcassa d'ampliació, en la que es poden posar tantes targes com es vulgui.

5.2.2. Interfícies

Les interfícies ens permeten el contacte del món analògic amb les targes que hi ha dins l'ordinador. La comunicació entre aquests dos es realitza mitjançant un o més cables amb un connector de 25 pins anomenat *DigiLink* (fotografia 24).

Fotografia 24: Cable DigiLink

En l'estudi s'ha adquirit una interfície 96i I/O (fotografia 25), amb 16 entrades i 2 sortides analògiques, E/S *spdif* i E/S Word Clock, i una interfície 96 I/O (fotografia 26), amb 8 entrades i analògiques, 8 canals de E/S *ADAT*, 2 canals AES/EBU i *spdif*, i E/S de *Word Clock*.

Fotografia 25: Interfície 96i I/O

Fotografia 26: Interfície 96 I/O

Pel que es pot comprovar, pel que fa a les entrades tenim 24 entrades analògiques (16 en el 96 I/O i 8 en el 96i I/O) i 11 entrades digitals (8 canals *ADAT*, un AES/EBU i un *spdif* en el 96 I/O i una entrada *spdif* en el 96i I/O). S'ha triat una interfície amb quasi la totalitat d'entrades analògiques i l'altra amb el mateix nombre d'entrades analògiques que digitals per una raó: en aquest moment, la majoria d'amplificadors del mercat inclouen sortides digitals, si més no de forma opcional, inclús en les gammes més baixes. Existeixen preamplificadors multicanal que envien la senyal directament per un cable òptic en format ADAT. Això vol dir que qualsevol compra que es faci en el futur tindrà, segurament ja de sèrie, una sortida digital, per el qual serà molt bo disposar d'aquest tipus d'entrades.

5.2.3. Controladora Control|24

En comptes d'escollir una taula de mescles a part del sistema, que tampoc és una mala opció, s'ha escollit una superfície de control específicament dissenyada pel hardware i software Pro Tools. Fruit d'una col·laboració entre Focusrite i Digidesign, incorpora 16 preamplificadors de micròfon de classe A amb alimentació *phantom* per grups de quatre previs[22] (fotografia 27). És compatible amb sistemes d'enregistrament i escolta 5.1, i des de la taula es pot manipular tot el software Pro Tools sense necessitat de teclat i ratolí (tot i que la combinació dels tres perifèrics dóna una rapidesa de treball superior).

[22] L'alimentació phantom no pot malmetre micròfons dinàmics, per això l'alimentació phantom és en grup

Fotografia 27: Control|24

Com es pot veure, a més, disposa d'una ampla secció de *metering* per a cada canal d'entrada i de sortida. Els *faders* són motoritzats i sensibles al tacte, i cada canal té una pantalla LCD on es mostra la informació a l'instant del paràmetre que s'estigui editant. També té una mòdul de *Talkback* amb micròfon incorporat. Es connecta a la resta del sistema via cable Ethernet, directament a l'ordinador.

5.2.4. Moble de la sala de control

Tot i que no forma part del sistema Pro Tools, aquest moble ha estat específicament dissenyat per a la Control|24 pel fabricant de mobiliari d'estudi per a les grans marques Argosy (www.argosyconsole.com). És per això que s'inclourà en aquest apartat.

En l'apartat anterior ja hem fet referència a aquest moble per calcular la posició dels altaveus i la posició d'escolta. Es tracta d'un moble fabricat en fusta que conté, a part de l'espai per a la taula de mescles, 12 espais *rack* a cada costat (fotografia 28).

Pel que fa a les mides, té una llargada de 2.27 m, una amplada de 1.05 metres en la part superior (no en les potes), i una alçada màxima (als *meters* de la taula) de 1.07 metres. Tota l'estructura de subjecció és d'acer inoxidable, que el fa molt resistent i estable.

Fotografia 28: Argosy Control|24 series

Com es pot apreciar, el moble té un disseny molt ergonòmic i ens permetrà tenir tot l'equip junt i sense presència de cablejat al terra, ja que dins el mateix moble hi ha espai per amagar el cable sobrant de les connexions entre els diferents elements. A més, el recolza braços que hi ha en tota la part davantera està forrada amb pell, i amb una espuma dins per a major confort.

5.3. Monitoratge en l'estudi

El monitoratge és una part molt important de l'equipament, ja que determinarà les decisions a prendre a l'hora d'equalitzar o mesclar qualsevol cosa. Per això, es precisa que tinguin una resposta en freqüència molt plana en un ample de banda el més elevat possible. Sempre és bo i recomanable tenir dos parells de monitors diferents, uns com a monitors principals i els altres com a monitors d'escolta. Tenir dos fonts de so diferents implica tenir dues referències diferents, fet que pot resoldre possibles dubtes que vagin succeint en el curs d'una gravació, com equalitzacions crítiques, mescla o *mastering*.

En l'apartat anterior[23] s'ha fet referència als monitors Mackie HR824, que són els monitors principals de l'estudi. Com a monitors d'escolta, es tenen uns Yamaha NS-10. La principal diferència entre els dos és que el Mackie és un monitor actiu, és a dir, auto amplificat, mentre que el Yamaha no. Els comentarem tots dos per separat:

5.3.1. Monitor Mackie HR824

El monitor d'estudi HR824 (fotografia 29) té dos vies amplificades independentment amb una alta resolució.

[23] Veure 4.1.3. Selecció dels altaveus i de la posició d'escolta

Fotografia 29: Mackie HR824

El sistema d'amplificació, que dóna 150 W RMS per a baixes freqüències i 100 W RMS per a altes freqüències, està dissenyat per donar el màxim nivell de sortida possible per als altaveus, per així minimitzar la possibilitat d'averia d'un dels dos altaveus per una saturació sobtada. El guany de l'amplificador i el tipus de resposta en freqüència es poden ajustar manualment per compensar les toleràncies que hi ha en la construcció. La seva resposta en freqüència va de 39 Hz a 20 kHz, amb una diferència de nivell màxima de ±1.5 dB.

L'altaveu de baixos – mitjos o woofer té un diàmetre de 8.75 " i està fabricat de magnesi, mentre que l'altaveu d'aguts o tweeter té un diàmetre d'una polzada i està fabricat en alumini. A més, en la part posterior de l'interior de la caixa, hi ha un radiador passiu per pistons de 6 x 12 polzades. El tweeter està muntat en una guia d'ona no ressonant de zinc que dóna un control molt alt de la dispersió dels aguts.

Els dos altaveus i el radiador passiu estan muntats en una caixa de fusta MDF[24] pintada en color negre. Dins la caixa hi ha una estructura en forma de H (com si fos una biga) que serveix per augmentar la rigidesa d'aquesta. Tot l'interior està cobert d'espuma acústica (del tipus Sonex però sense forma piramidal) per absorbir les reflexions i les ressonàncies.

[24] Fusta formada per fibres de fusta encolades a alta pressió i temperatura. Molt millor que les fustes fetes per plaques.

5.3.2. Monitors Yamaha NS-10

Fotografia 30: Yamaha NS-10

Definits per algunes de les publicacions especialitzades amb més prestigi com els monitors més universals que existeixen, es poden trobar en molts estudis, ja que amb el temps s'han convertit en l'estàndard del mercat. Tenen una arquitectura hermètica, per la qual cosa hi ha un fals reforç de greus, i una resposta en freqüència plana específica per a monitoratge en un ample de banda de 60 Hz – 20 000 Hz.

Estan constituïts per dos altaveus, un de woofer 18 cm de diàmetre i un tweeter de cúpula de 3.5 cm de diàmetre. La caixa que conté aquests altaveus està fabricada en fusta massissa, i recoberta interiorment amb espuma, com en el cas dels Mackie.

El principal problema que ens podem trobar vindrà donat per la font d'amplificació, ja que aquesta també haurà de tenir una amplificació plana per a tot l'ample de freqüències. A data d'entrega d'aquest projecte encara no s'ha decidit quina etapa de potència s'adquirirà, sí bé s'ha proposat l'opció de connectar els Yamaha NS-10, que, com a màxim, poden rebre 60 W RMS, a una etapa de potència Alesis, concretament el model RA 150 (fotografia 31), que dóna una potència de 45 W RMS per a cada canal a una impedància nominal de 8 ohms, que és precisament la que tenen els NS-10, amb una distorsió harmònica total de THD<0.02 de 20 Hz a 20 kHz. La seva resposta en freqüència és de 10 Hz a 70 kHz.

Fotografia 31: Alesis RA150

5.4. Equipament variat

En l'estudi, es disposarà de la següent microfonia:

1. **Shure SM 57:** micròfon universal i estàndard per a veus o preses de so d'instruments, com vents o percussió. Se'n disposarà de quatre.
2. **Shure SM 58:** el micròfon més utilitzat del món, tan en aplicacions de directe com de gravació en estudi. Tot i ésser utilitzat normalment per gravar veus, també té una bona resposta en gravació d'instruments. Se'n disposarà de dos.
3. **AKG D-112:** micròfon dissenyat especialment per a la gravació d'instruments de baixa freqüència, com bombos de bateries o contrabaixos. Se'n disposarà d'un.
4. **Sennheiser Evolution 607:** és un micròfon dissenyat per a bateries i instruments de vent. Té una pinça per poder agafar-lo als arcs metàl·lics de les timbales i a les trompetes, saxofons, etc. Se'n disposarà de dos.
5. **Neumann TLM 103:** micròfon de gran diafragma amb un patró cardioide. La càpsula del diafragma està subjecte a l'estructura mitjançant un enllaç elàstic, que impedeix la creació de sorolls per vibració. Per gravar el que sigui, des d'aplicacions on s'utilitzi com a micròfon d'ambient fins a la ves, gràcies al seu elevat rang dinàmic. Se'n disposarà d'una unitat.
6. **Neumann U87** (fotografia 9)**:** micròfon amb tres patrons diferents commutables: omnidireccional cardioide i bidireccional. Molt utilitzat en gravacions d'orquestra, també és molt adequat per a instruments i per veu. Se'n disposarà d'un.
7. **Neumann K184:** està format per tres micròfons de mida molt petita i amb patrons diferents. El més versàtil dels micròfons. Se'n disposarà d'un.

A part, es tindrà una caixa de ritmes Boss DR 860, una unitat multiefectes Alesis Microverb, un sampler AKAY S3000, un teclat GEM CD20, i diversos auriculars tancats de les marques AKG i Sennheiser, a més d'un equip de DJ per a punxar discs constituït per dues platines Stanton i una taula de mescles Akiyama.

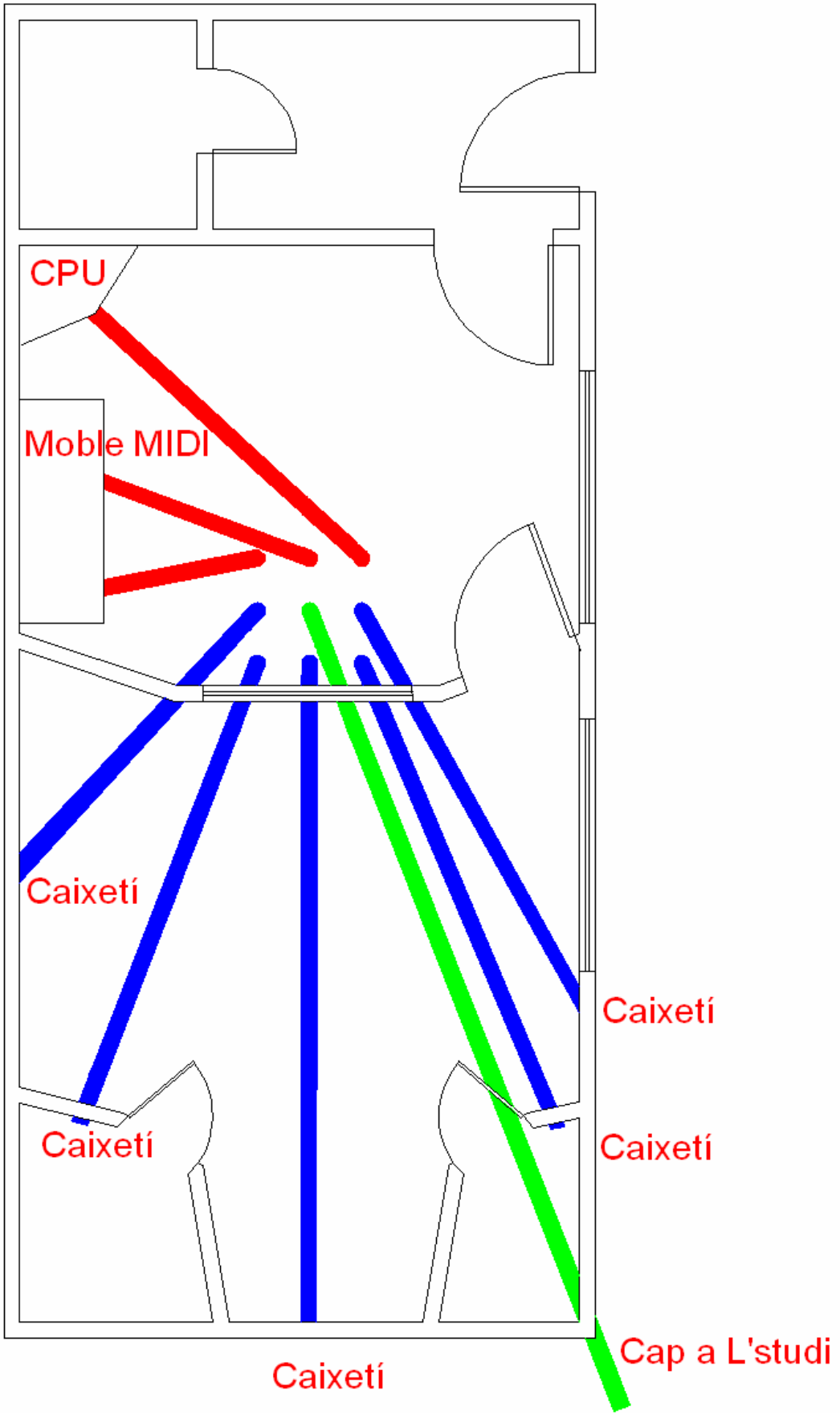
Fotografia 32: Neumann U87

6. Interconnexió de l'estudi

La qualitat i la rapidesa de les connexions és molt important en un estudi de gravació, ja que tenir tot el cablejat connectat al darrera de la taula sense cap ordre en absolut no només és molt poc estètic, sinó que és molt poc pràctic a l'hora de buscar un cable en particular o per treure la pols i netejar una mica l'ambient. Per això s'ha dissenyat un sistema de cablejat per terra centralitzat sota la taula. Aquest sistema està format per nou tubs que es reparteixen per tots els possibles punts de connexió de senyals d'àudio o del sistema, com són la sala de gravació principal, cadascuna de les cabines, la part on anirà l'ordinador... Tots els tubs acaben a la sala de contol, just sota el punt on anirà col·locat el moble (fotografia 33).

Fotografia 33: tubs per a la interconnexió en la sala de control

En el plànol 13 es pot veure com s'ha dut a terme aquesta interconnexió. Tres d'aquests tubs es queden a la sala de control, en el punt on hi haurà el Macintosh, i al lateral dret de la sala de control, on s'hi té pensat posar una taula amb els controladors MIDI i l'equip de DJ. Cinc aniran en l'espai de gravació, 3 repartits en tres punts de la sala de gravació principal (un a la paret posterior i un a cada paret lateral), i els altres es repartiran a un per cabina. El tub restant va per sota terra fins al caixetí de L'studi, ja que encara hi haurà les sales de gravació, i mai se sap quan interessarà fer-les servir, ja que han donat un bon funcionament.



Plànol 13: Interconnexió de l'estudi

7. Sistema de climatització i de ventilació

A l'hora de treballar en l'estudi, és molt necessari un bon ambient pel que fa a temperatura, humitat i qualitat de l'aire. Que es respiri un bon ambient i que hi hagi una temperatura òptima respecte a les condicions atmosfèriques exteriors (sigui una temperatura semblant a l'exterior o no) és essencial i afavoreix la concentració, tant dels enginyers de l'estudi com del conjunt de músics que puguin estar dins les sales que conformen l'espai musical. Aquest ambient ha de ser constant, sense canvis bruscos de temperatura i sense que es trigui massa a obtenir les condicions desitjades.

Els sistemes d'aire condicionat i de calor ens permeten obtenir aquest ambient, però el principal problema que tenen (més important en la sala de gravació, on es recomana el compliment de la norma NC-15) és el soroll que fan. Per norma general, els sistemes que es troben ara mateix en el mercat, ja siguin *splits* o sistemes per tubs, tenen una mitja de soroll d'uns 30 dB, la qual cosa implica no complir la norma NC-15 (en la que no es pot passar de 25 dBA). Fujitsu, una empresa que porta molt temps fent una gran campanya publicitària a favor de ser el sinònim de silenci, no té en la seva gamma de productes cap sistema que baixi dels 35 dBA.

Un altre problema és la ventilació. Hem de recordar en tot moment que estem treballant en una sala quasi hermètica, on la renovació de l'aire és molt pobra i, considerant que hi ha diferents persones que entren a la sala en diferents moments, hem de garantir una renovació de l'aire per dues raons: per no acumular gasos no desitjats (els nostres pulmons desprenen diòxid de carboni en el procés de respiració) i per l'acumulació de males olors després d'estar hores la sala tancada amb algú tocant a dins. La primera raó no és massa problemàtica, ja que la sala de gravació té un volum de 75.28 m^3, la qual cosa equival a 75 280 litres d'aire. Si una persona fa una mitjana de 12 respiracions per minut i en cada respiració agafa sis litres d'aire (no d'oxigen!) s'obté una mitjana de 72 litres per minut i per persona, que equival a 4 320 litres d'aire consumit per persona i per hora. Això ens dóna unes disset hores i vint-i-cinc minuts d'aire per respirar sense que hi hagi renovació. A part, si tenim en compte que el rendiment dels nostres pulmons no és del 100 % (en una respiració no absorbeixen tot l'oxigen que hi ha en l'aire respirat), aquest aire es podria tornar a respirar fins que no hi hagués presència d'oxigen. Per tant, no és necessari un sistema de reixetes que comuniquin amb l'exterior que, per altra banda, podrien malmetre l'acústica de la sala pel que fa a nivell de soroll. La segona raó és important, ja que les

males olors poden incomodar el músic i/o l'enginyer, la qual cosa pot fer perdre la concentració.

Alguns estudis opten per sistemes de ventilació forçada, on el propi aire condicionat s'encarrega d'anar renovant l'aire de la sala quan ho creu necessari, però aquests sistemes solen ser cars i no és necessària una renovació contínua pel que s'ha vist abans. En el nostre estudi s'ha optat per un sistema ben senzill: la sala té llum natural gràcies als finestrals que hi ha a cada sala. Cada finestral està format per tres vidres, i dos d'aquests són portes que ens permetran renovar l'aire de la sala d'una forma ràpida i natural en els moments en els que no s'estigui gravant.

Un cop estan clars aquests punts, haurem de tenir en compte les necessitats de la sala. Si posem les mides a qualsevol programa de càlcul de climatització (molts fabricants, com Panasonic, disposen de programes en els que l'usuari pot descriure la sala i obtenir la capacitat de calor o de fred necessària mitjançant Internet), observarem que a la nostra sala de gravació es necessiten aproximadament 3670 frig/h i a la sala de control unes 3064 frig/h (en aquest càlcul s'ha tingut en compte la superfície de les parets interiors, la superfície de les finestres i la superfície de les parets exteriors). També haurem de tenir en compte el nivell soroll de cada sistema, així com la qualitat de l'aire emès (existència de purificadors i de filtres) i, òbviament, el preu final.

El que si que sabem a priori és que instal·lar un sistema de climatització per conductes no serà una opció a tenir en compte, ja que el sostre de les sales no té massa alçada i amb els tubs encara seria més baixa, la qual cosa podria interferir en l'estudi de les ressonàncies (modes normals de les sales). Així doncs, ens basarem en sistemes mitjançant *splitters*, que consten d'una bomba de calor externa i un *split* com a unitat interna.

A l'hora d'investigar el mercat, ens hem acabat centrant en tres fabricants especialitzats: Panasonic, Movinord i Daikin. Anem a veure les característiques de cada sistema:

7.1. Panasonic

És un fabricant amb molta experiència en el camp, i els seus productes solen ser una garantia de qualitat. La seva gamma d'aires condicionats és molt complerta i es pot adequar a qualsevol situació. Els seus sistemes de climatització a través de *splits* incorporen tecnologies de recent desenvolupament:

1. Filtre antial·lèrgic per mitjà d'ones supersòniques: les ones supersòniques creen una zona d'aire amb més densitat i atrauen les

partícules de pols i, amb uns materials anomenats *de triple funció* els elements nocius queden inactius. Aquesta és una opció molt interessant tenint en compte que el 33 % de població espanyola té problemes respiratoris, ja que amb aquest filtre aconseguim eliminar els microorganismes invisibles que es troben en l'aire.

2. Generador d'ions negatius: els ions negatius són partícules atòmiques amb càrrega negativa que es troben normalment en l'aire proper a fonts naturals i als boscos. El sistema d'ions negatius "llança" 20 000 ions negatius per centímetre cúbic. D'aquesta manera s'aconsegueix un ambient molt fresc i es revitalitza l'ambient de l'habitació.

3. Mode súper silenciós (*Super Quiet*): Aquest mode ens interessarà molt de cara a l'aplicació a la que volem destinar els aparells de climatització. Les unitats interiors de baixa potència treballen a 26 dBA en mode normal, però en mode silenciós s'aconsegueixen uns 23 dBA, la qual cosa compleix la norma reguladora del nivell de soroll en recintes NC-15. Les unitats de més alta potència treballen a 29 dBA en mode normal i 27 dBA en mode silenciós. Pel que fa a les unitats exteriors (bomba de calor), compta amb un compressor patentat per la marca anomenat e-scroll i amb un ventilador de dues pales (en comptes de les tres que solen tenir típicament).

4. Bomba d'acció oxigenadora: En la unitat exterior, s'agafa aire de l'exterior i se li augmenta la concentració d'oxigen en un 30 %. Llavors s'envia a la unitat interior en forma d'oxigen comprimit. A part, la unitat interior té un sistema per mantenir la concentració d'oxigen a la sala en un 21 % (el mínim, que es coneix com a límit de zona de seguretat, és del 18 %).

5. Protecció antivírica (Biofilter): inactiva aproximadament el 99 % dels virus que capta el filtre. Té una eficiència molt bona amb els virus de la grip i el virus Coxsackie.

6. Protecció antibactèries: inactiva la bactèria *Staphylococcus aureus*, el mho negre (*Aspergillus*) i el fong verd.

7. Sistema inverter: aquest sistema, desenvolupat originalment per Panasonic però que ara podem trobar a la majoria de models del mercat, aconsegueix més capacitat de refrigeració amb menys potència i, per tant, amb menys consum. A part, redueix en un 50 % el temps de refrigeració dels sistemes no-inverter.

Coneixent que la nostra sala necessita més de 3000 frigories cada hora (una frigoria té el mateix valor que una caloria), en la gamma de Panasonic ens centrarem en el model KIT–E12–DKE, les dades tècniques facilitades per la marca del qual exposem a continuació:

Cap. Frigorífica Kcal/h nominal (mín.-màx.)	3010 (690 - 3440)
Cap. Frigorífica kW nominal (mín.-màx.)	3.50 (0.80 – 4.0)
EER W	3.63
Cap. Calorífica Kcal/h nominal (mín.-màx.)	4130 (690 – 5590)
Cap. Calorífica kW nominal (mín.-màx.)	4.80 (0.80 – 6.50)
COP W	3.81
Cotes Interior (AlxAmxPr) mm	280x799x183
Cotes Exterior (AlxAmxPr) mm	750x875x345
Pressió sonora dB(A) Normal / Super Quiet	29/27
Consum Fred / Calor kW	0.97/1.26

En aquesta taula podem veure que el sistema s'adequa a la nostra potència, amb un màxim de 3440 frigories, que per a la sala de control és més que suficient i per a la sala de gravació, tot i ser una mica just (3440 enfront els 3670 calculats) funcionarà però amb un temps de refrigeració més elevat; el soroll de la unitat interior és de 27 dBA en mode silenciós, la qual cosa implica el no compliment de la norma NC-15 per a la sala de gravació. El problema és que si baixem un esglaó en la gamma, el sistema, tot i ser el suficientment silenciós, no té la potència necessària per a cap de les sales, i si pugem el següent esglaó en la gamma ens trobem amb un sistema amb massa potència (3780 frig/h) i amb un soroll encara més elevat (29 dBA en mode silenciós) que no desitgem.

Fotografia 34: Splitter Panasonic

Fotografia 35: Bomba de calor Panasonic

7.2. Movinord

Movinord és una empresa espanyola que ofereix solucions integrals de climatització en fred i calor. Tenen el valor afegit d'un servei que inclou el disseny, el càlcul del projecte i la instal·lació en tot l'àmbit nacional. A part de dedicar-se a la decoració arquitectònica interior, el seu sistema de climatització tranquil·la és molt bo pel que fa al soroll i a la qualitat de l'ambient, si bé no és un fabricant massa conegut (segurament per qüestions publicitàries).

El sistema de climatització que ofereixen no té res a veure amb l'aire condicionat, ja que no es basa en refredar l'aire que hi ha a la sala a partir d'un refrigerant. Es tracta d'una estructura de tubs capil·lars fabricats a partir de polipropilè (Polipropilè Random-Copolymer Tipus 3 DIN 8078) pels quals circula aigua a una certa temperatura. Aquesta temperatura és la que assolirà la sala pel fenomen d'intercanvi de calor per radiació. Només es necessitarà un sistema per mantenir l'aigua a la temperatura desitjada durant el temps desitjat. Entre les opcions que hi ha a l'hora de fer de qualsevol superfície un element radiant, la més interessant potser és la del terra radiant, ja que la persona física hi té un contacte directe, la qual cosa dóna encara més rendiment i més rapidesa per assolir una sensació de benestar, així que en aquesta ens centrarem.

El terra radiant d'aquest fabricant treballa amb una trama de tubs capil·lars de petites dimensions anomenada *Trama karo* que es connecten per zones a les tuberes d'anada i tornada del circuit. A diferència dels sistemes clàssics de terra radiant, aquestes trames de polipropilè es col·loquen molt a prop del terra, per la qual cosa un terra amb una instal·lació Movinord triga molt menys a agafar la temperatura que se li demani. Per precisar, es col·loquen directament sobre la solera abans de la capa d'acabat de formigó. Els capil·lars no debiliten la capacitat de càrrega d'aquesta capa d'acabat. Les trames s'uneixen entre sí, amb els tubs de distribució i al circuit general mitjançant la soldadura per termofusió. Aquest sistema és molt indicat pels tubs fabricats amb materials del tipus polímer, ja que es basa en fondre els tubs i enganxar-

los. Es pot fer de dues maneres: a partir de la col·locació de maneguets que, endollats a una màquina solden automàticament els tubs, o posant els tubs en testa i connectant-hi la màquina directament.

En la següent figura es pot comprovar l'alt rendiment d'aquest sistema que pot treballar amb energies alternatives (col·lectors solars, per exemple), degut al seu baix consum i al seu estalvi energètic:

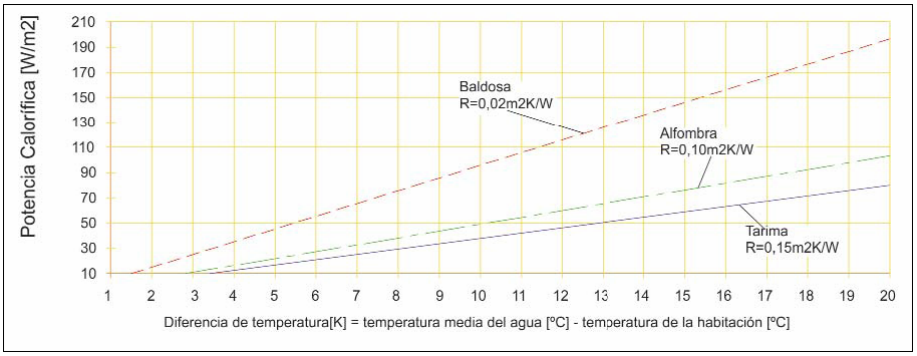


Figura 41: rendiment del sistema Movinord

El problema bàsic d'aquest sistema és el preu, tant de compra com d'instal·lació, ja que es necessiten professionals amb experiència, sobretot pel que fa a la soldadura. A part, comparat amb els sistemes d'aire condicionat, necessita un projecte i uns càlculs que, tot i oferir la mateixa empresa, s'han de pagar.

7.3. Daikin

Daikin, fundada el 1924, va ser la primera empresa japonesa en introduir la fabricació a gran escala de sistemes d'aire condicionat autònoms i compactes. Compten amb una gamma tan complerta com la de Panasonic però una mica més econòmica d'adquirir. La principal virtut que tenen els seus aparells d'aire condicionat és que utilitzen el refrigerant R-410A, un refrigerant natural format bàsicament per Pentafluoretà (aproximadament un 50 %) i difluormetà (també en un 50 %). Ofereix un rendiment molt bo i és millor que el refrigerant R-407A que porten també molts equips d'aire condicionat.

A part, com el model de Panasonic, compta també amb purificador d'aire, filtre antial·lèrgic, humidificador, i amb un sistema anomenat *intelligent eye* que detecta la presència de persones a la sala, i canvia de l'estat normal (o de baix soroll) a l'estat d'estalvi d'energia automàticament. Per suposat, es tracta d'un sistema del tipus inverter. El sistema és controlat per un comandament a distància amb pantalla LCD retroil·luminada i amb una disposició dels botons molt ergonòmica. La informació en aquesta LCD és en tot moment molt bona per saber, per exemple, la temperatura de la

sala de gravació des de la sala de control a partir dels sensors instal·lats en el *split* i que capten la temperatura al seu voltant (òbviament, no en la direcció en la que es propaga l'aire).

Si ens fixem en les necessitats de les sales (3064 frig/h a la sala de control i 3670 frig/h en la sala de gravació) i comparem les dades en la gamma Daikin, veurem que potser el model ATXS 35C (conegut també com Daikin Siesta) és el model que més s'adequa a les nostres necessitats. El millor d'aquest model és que té un mode silenciós com el model de Panasonic, però a gairebé igualtat de potència en el model de Daikin obtenim un nivell de soroll de 23 dBA. A més, la unitat exterior també pot treballar en mode silenciós, variant la velocitat de gir de les aspes i, per tant, la freqüència que es transmet en forma de vibració i que acaba emetent nivells de soroll que poden arribar a ser elevats. Aquest mode és molt recomanat a hores on el nivell de soroll no pot ser elevat (com per exemple a la nit).

Anem a veure les característiques tècniques del model:

SPLIT:

	Capacitat	3.150
	Refrig. Kcal/h	3.600
	Calef. Kcal/h	
	Dimensions	273
	Alt mm	784
	Ample mm	195
	Profunditat mm	
Pes		7
Kg		
Pressió sonora (A/B/SB) Refrig. dBA		23/39

BOMBA DE CALOR:

	Consum total	1045
	Refrigeració W	1055
	Calefacció W	
Refrigerant		R-410A
Dimensions	Alçada	560
	mm	695
	Amplada mm	265
	Profunditat mm	

Pes Kg	31
Pressió sonora (A/B/SB) Refrig. dBA	48/44
Calefacció dBA	48/44

Com es pot veure, la potència és una mica justa (com en el model de Panasonic), però tot i així funcionarà, i a més amb un nivell de soroll que, si la sala està ben aïllada (veure apartat d'aïllament de cada sala) pot arribar a consolidar el compliment de la norma NC-15. A més, el preu és el més baix dels tres fabricants comentats en aquest apartat. Per aquestes raons aquest és l'equipament que al final s'ha decidit adquirir per posar a les sales. Aquestes són les fotos del model:

Fotografia 36: Sistema Daikin

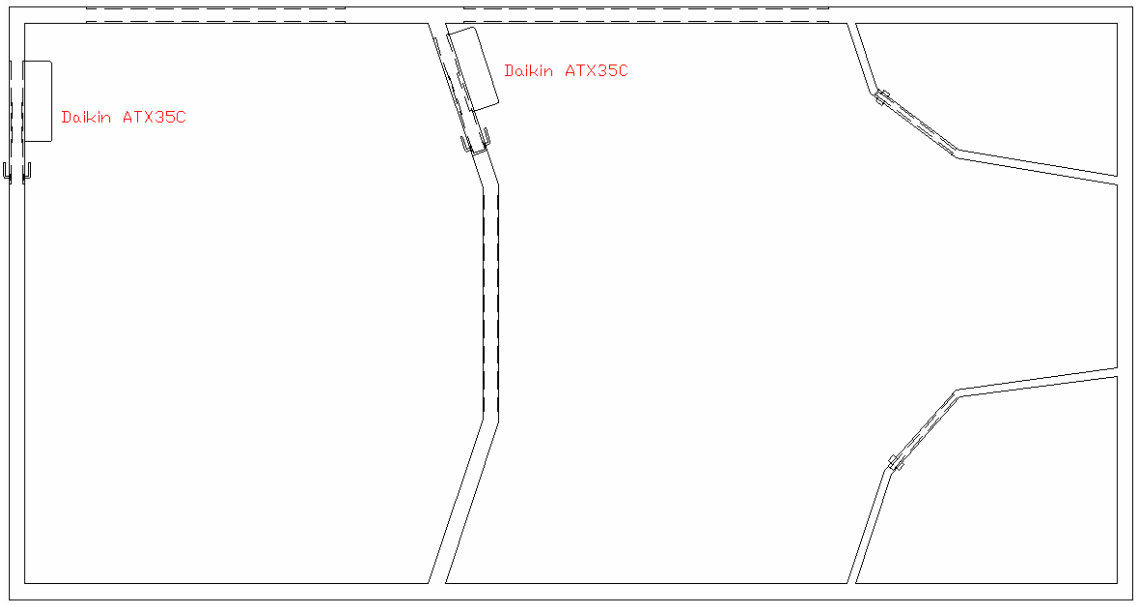
7.4. Col·locació del sistema en les sales

Anem a veure ara la situació de les unitats de paret en cadascuna de les sales. El següent plànol ens indica la posició exacta de l'equipament:

En un principi, les unitats s'havien de trobar a les portes d'entrada/sortida de cada sala (plànol 14), ja que es el lloc per on es pot perdre més calor (juntament amb les finestres, però aquestes no s'obren més de dues vegades al dia i amb la intenció de que tot l'aire es renovi), però al final s'ha decidit canviar-ho.

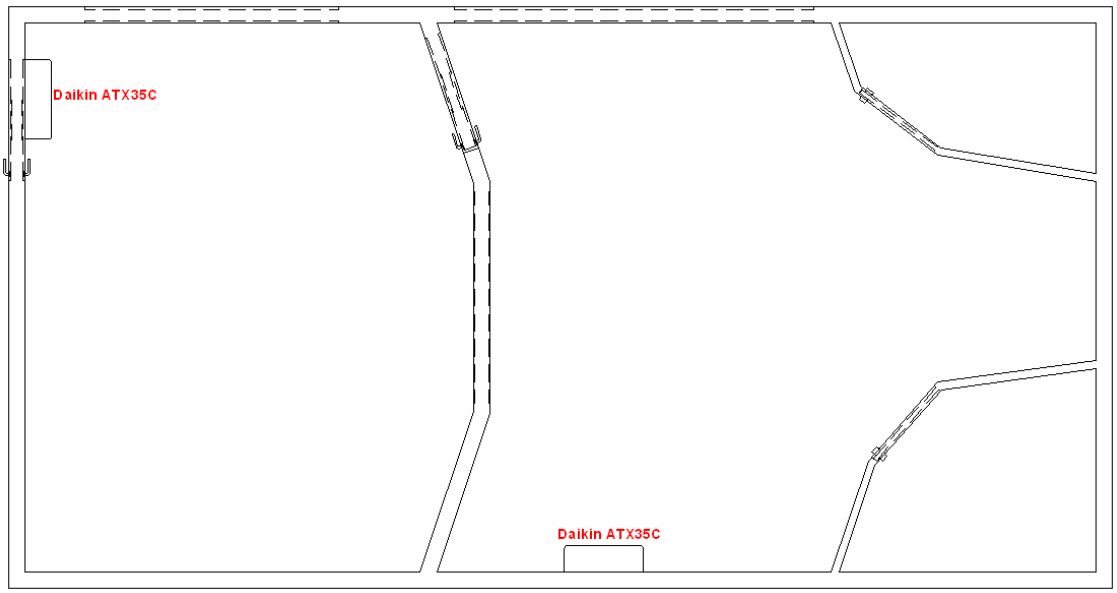
Si bé l'split de la sala de control es manté en la seva posició inicial de disseny, s'ha decidit canviar de lloc el de la sala principal de gravació, amb l'objectiu de poder climatitzar les cabines amb un sol sistema. Donat que les dades estan calculades per

tot l'espai de gravació, si mantenim una estona les cabines obertes abans de la gravació, el sistema tindrà suficient potència per a escalfar o refredar l'ambient global tot i que, lògicament, les cabines no rebran tanta potència pel fet que només hi ha una porta d'entrada. La ubicació final es pot veure en el plànol 15.



Plànol 14: ubicació proposada dels splits

Pel que fa a la unitat exterior, és a dir, la bomba de calor, aquesta s'ha col·locat fora de l'espai de l'estudi en la caseta que hi ha al costat i que ha estat l'estudi fins a aquesta renovació.



Plànol 15: ubicació definitiva del sistema de climatització

8. Conclusions

Els estudis de gravació, com els cotxes, els instruments, i tot el que forma part d'un sector amb competència, són constantment comparats i criticats negativament pels músics i/o enginyers i tècnics. La veritat, però, o almenys el que s'ha pogut veure fent aquest projecte, és que no hi ha estudis bons i estudis dolents, sinó que cada estudi forma part d'una idea musical de la persona que el va crear. Si entenem la música com un art, és a dir, quelcom que vol expressar un sentiment, una reivindicació o simplement una idea, ens trobarem amb el dilema de que si tothom expressa o intenta expressar alguna cosa en una música o una lletra, aleshores la música no es pot definir, no es pot comparar, no es pot dir si és bona o dolenta, simplement si entenem o no el que ens està intentant dir, si captem el missatge, vaja. Això mateix passa amb els estudis.

Una cosa, és clar, és la presència d'anomalies acústiques en una sala destinada a la gravació o a control, però això ja és una qüestió purament tècnica. El que la gent sol criticar d'un estudi és la vivesa o l'excessiva falta de reflexions en les sales mortes, la qualitat de l'equipament, etc. Però de fet, això és molt subjectiu. Un equip bo no vol dir que convenci a tothom. I donat que tothom és diferent, doncs, cada estudi és diferent. Quan s'arriba a aquesta coneixença, és difícil no posar-se a reflexionar. Els criteris de disseny es veuen alterats per un estat mental que qüestiona la qualitat d'un sistema o l'altre, quan, de fet, tots seran correctes i aptes si l'espai al qual van destinats està correctament dissenyat.

El que s'ha intentat fer en aquest projecte, doncs, és combinar les idees més originals que s'han tingut o trobat en el decurs dels mesos de dedicació al PFC, i que han convençut els involucrats en la instal·lació[25]. Així que, tot i que el disseny acústic sigui correcte en quant a anomalies, sempre queda el temor de la mala reputació, ja que segur que a algú no convencerà i podrà opinar (lliurement, és clar) que el disseny és errat. D'això es pot concloure que, el paper de l'enginyer no només és fonamental, sinó que implica una responsabilitat absoluta sobre tot el dissenyat. Això és, a la vegada, un afalagament i un sentiment de por, la por d'equivocar-se.

[25] I els càlculs han confirmat la seva eficiència, és clar.

Bibliografia

- Apunts de la assignatura d'acústica, així com de l'assignatura d'adquisició i reproducció audiovisual.

- CARRIÓN ISBERT, Antoni, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Edicions UPC, Barcelona 1998.

- GUAUS, Enric, *Acústica de recintes*, apunts de l'assignatura. Escola superior de música de Catalunya, 2005.

- Material divers trobat a la xarxa, dobretot en format pdf. La majoria semblen ser trossos de llibre, si bé no hi figura el nom del llibre ni l'autor.

- MIYARA, Federico, *Acústica y sistemas de sonido*, 3a edició, Editorial UNR Editora, febrer de 2004.

- RECUERO LOPEZ, Manuel, *Ingeniería acústica* (CD-ROM interactiu), Madrid, juny de 1999.

- Varis autors, *Acústica*, publicat en la revista TECTÒNICA en data desconeguda.

- www.digidesign.com

- www.mhtc.net/~lowey/

- www.panasonic.es

- www.daikin.es

- www.movinord.com

Agraïments

- A en Lluís Costa, per donar-me aquesta gran oportunitat i confiar en mi en tot moment: t'estaré eternament agraït!

- A en Santi Farrés, pels seus consells en dubtes de l'ambit més aviat industrial i per imprimir-me els plànols en A3.

- Al meu tutor de PFC, Ignasi Esquerra, per aguantar dos quadrimestres seguits de fracassos i seguir amb el mateix interès pel meu projecte.