



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Determinació del grau d'aïllament acústic al soroll aeri i la seva incertesa

Treball de fi de grau

Dirigit per: Josefa Gavalda Martínez

Autora: Anna Casadó López

09/06/2019

Índex

1. Objectiu	2
2. Introducció.....	2
3. Fonaments	3
3.1. Entitat col·laboradora en l'àmbit de prevenció de la contaminació acústica: EICON.....	3
3.2. Contaminació acústica.....	3
3.3. La pressió acústica i el so.....	3
3.4. Tipus de sonometries	5
3.4.1. Estudi d'immissió de soroll en l'ambient interior.....	5
3.4.2. Estudi d'immissió de soroll en l'ambient exterior	5
3.4.3. Qualitat de l'edificació	5
3.5. Coeficients d'absorció (α) i temps de reverberació (TR)	6
4. Part experimental	8
4.1. Previ a la mesura	9
4.2. Procediment	9
5. Resultats i discussió	12
5.1. Grau d'aïllament acústic al soroll aeri	12
5.2. Incertesa associada al grau d'aïllament acústic al soroll aeri.....	15
5.3. Temps de reverberació del recinte emissor	17
6. Conclusions.....	18
7. Bibliografia.....	20
Annex I: Fotografies i plànols	21
Annex II: Documents de verificació d'instruments de mesura.....	31
Annex III: Informes de les mesures d'aïllament acústic al soroll acústic	34

1. Objectiu

L'objectiu principal d'aquest treball es determinar el grau d'aïllament acústic al soroll aeri, i la seva incertesa, d'una estança diàfana, també es vol relacionar els materials que constitueixen la sala on s'ha fet la mesura, amb l'aïllament obtingut.

Altres objectius són poder aplicar alguns dels conceptes assolits en el Grau de Química (càlcul d'incertesa, ciència de materials. etc.) i posar en pràctica els coneixements apresos a l'empresa EICON (Entidad Integral de Control) per poder realitzar el càlcul d'incertesa de les mesures d'aïllament acústic al soroll aeri.

2. Introducció

Català

En el treball present es realitza l'estudi acústic d'una sala diàfana a la primera planta de l'edifici situat al número 16 del carrer de Sant Francesc de Tarragona (el recinte receptor essent una oficina de la segona planta). La primera part del treball consta d'una base teòrica on s'expliquen els conceptes necessaris per entendre l'estudi realitzat, a més d'un estudi teòric d'una de les mesures experimentals que es realitzaran posteriorment (per així poder comparar el resultat teòric amb l'experimental) i la segona part, és la determinació del grau d'aïllament acústic al soroll aeri i la seva incertesa.

Per obtenir aquest resultat, es duen a terme diferents mesures d'emissió (soroll emès des del propi recinte), mesures d'immissió (soroll percebut a un recinte adjacent, en aquest cas, una sala a la planta superior) i altres mesures correctores que s'han de tenir en compte per poder determinar el resultat final.

English

In the present assignment, the acoustic study of a diaphanous room on the first floor of the building located at number 16 on the street of Sant Francesc de Tarragona, is performed (the receiver premises being an office on the second floor). The first part of this document consists of a theoretical background explaining the necessary concepts to understand the study carried out, as well as a theoretical study of one of the experimental measures that will be executed later on (thus being able to compare the theoretical and the experimental results) and the second part, is the determination of the degree of acoustic isolation to airborne noise and its uncertainty.

To obtain this result, different emission measures (noise emitted from the emitter premises), immission measures (perceived noise in an adjacent chamber, in this case, a room on the upper floor) and other corrective measures, which must be taken into account in order to determine the final result, are taken.

3. Fonaments

3.1. Entitat col·laboradora en l'àmbit de la prevenció de la contaminació acústica: EICON

El Decret 60/2015, de 28 d'abril, sobre les entitats col·laboradores de medi ambient regula l'habilitació, funcionament i supervisió de les entitats col·laboradores que exerceixen funcions d'inspecció i control en els àmbits sectorials de medi ambient entre les que es troba la prevenció de la contaminació acústica. Dins d'aquest àmbit, el Decret regula les entitats de control (EC-PCA) i les entitats d'avaluació (A-PCA).

Les entitats de control de la prevenció de la contaminació acústica (EC-PCA) els corresponen el mesurament dels nivells sonors i de vibracions en activitats i les derivades de les relacions de veïnatge i infraestructures, i el control de la qualitat acústica de l'edificació.¹

Entidad Integral de Control, S.L. (EICON) és una EC-PCA que es dedica a la inspecció i control de tasques relatives a la qualitat, la innovació, la seguretat i la salut de les persones, la sostenibilitat i el medi ambient. El seu àmbit territorial d'actuació abasta tota Catalunya. Es tracta d'una empresa jove del camp de Tarragona, establerta al 2016, que actualment consta de vuit treballadors en total.

En una segona fase EICON passarà a ser també Organisme de Control, per tal de poder fer tasques d'inspecció sobre els reglaments de seguretat en les instal·lacions.

Les Àrees de Treball per l'empresa estan lligades a les diferents habilitacions i/o acreditacions que facilita l'Oficina d'Acreditació d'Entitats Col·laboradores (OAEC) del Departament de Territori i Sostenibilitat, la Direcció General de Prevenció d'Extinció d'Incendis i Salvaments DGPEIS (Nivell Autonòmic) del Departament d'Interior, de l'Entitat Nacional d'Acreditació ENAC (Nivell Estatal) i de l'Ajuntament de Barcelona (Nivell Ciutat de Barcelona).

3.2. Contaminació acústica

Realitzar qualsevol activitat humana comporta gairebé sempre un nivell de so més o menys elevat. Segons el tipus, la durada, el lloc i el moment on es produeixen, els sons poden ser molestos, incòmodes i arribar a alterar el benestar fisiològic o psicològic dels éssers vius; llavors en diem soroll i es considera contaminació.

La contaminació acústica pot definir-se com l'increment significatiu dels nivells acústics del medi i és un dels factors importants de deteriorament de la qualitat ambiental del territori.² Per aquest motiu, és necessari controlar i reduir la contaminació acústica.

3.3. La pressió acústica i el so

Les vibracions i altres moviments d'un cos indueixen la seva interacció amb la capa de partícules que les envolten, pertorbant, comprimint i dilatant, la seva atmosfera circumdant. Aquestes partícules, que comencen a oscil·lar al voltant de la seva posició d'equilibri, al mateix temps, interaccionen amb aquelles immediatament contingues, que també sofreixen aquestes contraccions i dilatacions successives que transfereixen a les capes de partícules adjacents i així de forma continua.

D'aquesta manera, degut a l'agrupament d'un gran nombre de molècules, es generen increments de pressió locals respecte a la pressió atmosfèrica (zona de compressió) que es desplacen per interacció, induint en altres detriments de pressió respecte a la pressió atmosfèrica, l'existència de relativament poques molècules en volums elementals d'aire, degut a enrariments o expansions (zones de refracció).

Una compressió es correspon amb una regió on la pressió és lleugerament superior a la pressió atmosfèrica (P_{at}) i una rarefacció és aquella on la pressió resulta lleugerament inferior a la pressió atmosfèrica, l'ona generada es pot representar en un instant determinat mitjançant la variació de la pressió incremental ($P = P_T - P_{at}$) en funció de la distància a l'origen de la pertorbació. On P_T és la pressió total instantània en el punt d'observació.

Una pertorbació inicial induirà lleugeres variacions en la pressió de l'aire respecte a la pressió atmosfèrica (P_{at}) i, per tant, l'aparició d'una pressió incremental (P), denominada pressió acústica. La pressió acústica es pot definir llavors, com la diferència existent entre la pressió total instantània en presència de l'ona acústica (P_T) i la pressió estàtica en aquell punt (P_{at}) en absència de l'ona. Aquestes variacions de pressió induïdes són molt inferiors a la pressió atmosfèrica, $|P| \ll P_{at}$.

En realitat, els fenòmens de moviment o vibració d'un cos no generen una única pertorbació, sinó que induïxen amb gran rapidesa un conjunt de pertorbacions successives que al propagar-se, originen ones acústiques. Aquestes ones produeixen sensacions en el sentit de l'oïda humana quan l'amplitud de la pressió acústica supera uns valors llindar i el rang de freqüències està aproximadament entre 20Hz i 20kHz.

El comportament de les ones sonores, i per tant l'eficiència i selecció de les mesures a adoptar, dependrà dels valors que adoptin la seva freqüència i la seva longitud d'ona, tant en mesures en edificació com a camp obert.

Existeixen tres magnituds físiques relacionades amb l'energia que posseeix un so:

Potència sonora (W): quantitat d'energia sonora emesa (o radiada) per una determinada font sonora per unitat de temps. El seu valor no depèn del punt de l'espai en que es localitza el focus sonor. És una magnitud intrínseca o característica de la font sonora. La potència sonora s'expressa en Watts (W).

Intensitat sonora (I): Valor mitjà de l'energia acústica que flueix en la unitat de temps a través d'una superfície unitat situada perpendicularment a la direcció de propagació de les ones sonores, és a dir, potència acústica mitjana radiada per unitat de superfície. És una magnitud dependent de la distància a la font i de les condicions del lloc en que es trobi (en camp obert, sense obstacles, o en un recinte tancat). La intensitat sonora s'expressa en W/m^2 .

Pressió sonora (L_p): Representa l'increment de pressió respecte a la pressió atmosfèrica degut a la presència de l'ona acústica; es dependent de la distància a la font y de les condicions del lloc en que aquesta es trobi (en camp obert, sense obstacles o en un recinte tancat). La pressió sonora s'expressa en Pascals (Pa) o N/m^2 .

En acústica s'utilitza la pressió sonora eficaç (p_{ef}), que es determina a partir de l'arrel quadrada del valor mitjà temporal del quadrat de la pressió acústica instantània. Es pot demostrar que $I = p_{ef}^2 / \rho c$, expressió que s'aplica en: a) camp lliure (camp sonor en un medi homogeni i isòtrop on no es tenen en compte les superfícies límits del medi), b) ones planes i c) ones esfèriques lluny de la font.³

3.4. Tipus de sonometries

Segons la comunicació del soroll entre la font emissora i el receptor, l'entitat col·laborada realitza un tipus d'assaig o un altre. En totes es procedeix de manera diferent, ja que segueixen diferents normatives i també tenen objectius diferents. A continuació, s'explica més detalladament en què consisteix cada sonometria, les diferències entre elles i el seus objectius.

3.4.1. Estudi d'immissió de sorolls a l'ambient interior

L'objectiu és comprovar que la contaminació acústica produïda pel soroll i les vibracions que provenen d'un o diversos emissors acústics, situats al mateix edifici o en edificis contigus al receptor, donen compliment a la normativa de referència.⁴ La comunicació del soroll és estructural.

3.4.2. Estudi d'immissió de sorolls a l'ambient exterior

L'objectiu és comprovar que la contaminació acústica produïda pel soroll i les vibracions que provenen d'un o diversos emissors acústics, situats al medi exterior del centre receptor, donen compliment a la normativa de referència.⁴ La comunicació del soroll és aèria, no hi ha contacte físic entre l'emissor i el receptor.

3.4.3. Qualitat acústica de l'edificació

Per analitzar la qualitat acústica de l'edificació, es pot determinar l'aïllament a algun tipus de soroll que aporta l'estructura edificada. Segons el soroll que es vulgui determinar, es poden realitzar diferents probes d'aïllament:

Aïllament acústic de Soroll Aeri (QEA)

És un assaig que es realitza in situ entre habitatges i/o activitats per quantificar, avaluar i comprovar que l'aïllament acústic entre aquests dos recintes dona compliment a l'ordenança municipal, el Document Bàsic-Front al Soroll (DB-HR) o normativa que li escaigui.⁴

- Soroll aeri: és el soroll induït per la pertorbació generada en els volums d'aire que envolten les fonts sonores. Així, quan les ones acústiques originades per les diverses fonts incideixen sobre un sistema constructiu separador de dos espais o recintes, aquest respondrà a aquesta força d'excitació entrant en vibració forçada i convertint-se en un nou focus sonor, emissor secundari de sorolls aeris, que, al mateix temps, modificarà l'estat de repòs de la capa d'aire adjacent al recinte contigu, transmetent-se d'aquesta manera, el soroll a aquest local.⁵

Aïllament acústic al Soroll d'Impacte (QEI)

És un assaig que es realitza in situ entre habitatges i/o activitats per quantificar, avaluar i comprovar que l'aïllament acústic al soroll d'impactes entre aquests dos recintes dona compliment a l'ordenança municipal, al Document Bàsic-Front al Soroll (DB-HR) o normativa que li escaigui.⁴

- Soroll d'impacte: els cops que es produeixen en les lloses d'un forjat provoquen que aquest vibri i es converteixi en un focus sonor. A més, degut a l'elevada rigidesa de la majoria d'elements constructius, l'excitació inicial induïda per l'impacte es transmet ràpidament i amb elevada intensitat per l'estructura d'obra (envans i forjats). D'aquesta manera, les vibracions dels paraments posen en moviment les partícules d'aire contigües a ells, el qual indueix l'aparició de soroll aeris no solament en el local immediatament inferior al forjat excitat per l'impacte, sinó també en altres dependències de l'edificació (el soroll es propaga per tot el forjat de l'estança).⁵

Aïllament acústic al Soroll de Façana (QEF)

És un assaig que es realitza in situ entre habitatges i/o activitats al respecte de l'exterior per quantificar, avaluar i comprovar que l'aïllament acústic respecte l'exterior dona compliment normativa que li escaigui.⁴

3.5. Coeficients d'absorció (α) i temps de reverberació (TR)

Tots els materials, degut a les seves propietats físiques i químiques, tenen coeficients d'absorció per bandes de freqüència associats. Aquest coeficient d'absorció és la relació entre l'energia que absorbeix el material i l'energia de les ones sonores que hi incideixen per unitat de superfície. Així, valors pròxims a 1 són característics de materials molt absorbents, mentre que pròxims a 0, són característics de material reflectants.⁶

Es pot calcular l'absorció acústica d'un recinte (A) sumant les absorcions aportades per tots els materials continguts en aquest recinte. L'absorció, per bandes de freqüència, aportada per un material, es pot calcular fent el producte de la superfície d'aquest material en el recinte i el seu coeficient d'absorció per bandes de freqüència.

Es procedeix a fer el càlcul de l'absorció acústica del recinte emissor per tenir un concepte de l'aïllament acústic al soroll aeri que podem obtenir. La taula 3.5.1. mostra les dades necessàries per realitzar els càlculs anteriorment comentats.

Taula 3.5.1. Dades necessàries pel càlcul d'absorció acústica. Superfície dels elements que es troben en l'estança, el material del qual estan fets i els seus corresponents coeficients d'absorció (α) per bandes de freqüència.

Material		Fusta envernissada		Portes	Finestra vidre comú (3mm)	Paviment de terratzo	Formigó pintat	Formigó blocs pintat	
Element		Armaris encastrats		Portes (x2)	Finestres (x5)	Terra	Sostre	Parets	Columnes (16 cares)
Amplada (m)	Long./Alçada (m)	2,400	2,960	1,000	2,642				0,600
		2,500	2,50	2,100	1,300				2,500
Superfície (m²)		13,40		4,200	17,17	231,8	231,8	144,7	24,00
Coeficients d'absorció (α) ⁷									
Material		Fusta envernissada		Portes	Finestra vidre comú (3mm)	Paviment de terratzo	Formigó pintat	Formigó blocs pintat	
Freqüències (Hz)	125	0,050		0,150	0,350	0,010	0,010	0,100	
	250	-		0,100	0,250	0,010	0,010	0,090	
	500	0,030		0,060	0,180	0,010	0,010	0,080	
	1000	-		0,080	0,120	0,020	0,020	0,090	
	2000	0,030		0,100	0,070	0,020	0,020	0,100	
	4000	-		0,050	0,040	-	0,020	0,040	

Es calculen les absorcions acústiques del recinte emissor per bandes de freqüència utilitzant la fórmula (3.5.1), on α_i és el coeficient d'absorció per un dels materials i S_i la superfície d'aquest material. El resultat

s'expressa en una unitat de mesura anomenada Sabines, pròpia de l'absorció acústica. La taula 3.5.2. mostra aquests resultats.

$$A = \sum_{i=1}^i (\alpha_i * S_i) \quad (\text{Sabines}) \quad (3.5.1)$$

Taula 3.5.2. Absorcions acústiques determinades, per cada material i la total del recinte, classificades per bandes de freqüència.

Freqüències (Hz)	A _{fu}	A _{po}	A _{fi}	A _t	A _s	A _{pa}	A
125	0,670	0,630	6,009	2,318	2,318	16,87	28,82
250	0	0,420	4,292	2,318	2,318	15,19	24,53
500	0,402	0,252	3,091	2,318	2,318	13,50	21,88
1000	0	0,336	2,060	4,636	4,636	15,18	26,85
2000	0,402	0,420	1,202	4,636	4,636	16,87	28,17
4000	0	0,210	0,687	0	4,636	6,749	12,28

L'absorció acústica d'un recinte es pot relacionar amb el temps de reverberació (TR), temps en que el nivell de pressió sonora disminueix 60 dB després que el focus emissor de soroll s'aturi, mitjançant la fórmula de Sabine que es mostra a la fórmula (3.5.2), on V és el volum de la sala i A es l'absorció acústica per bandes de freqüència. El resultat s'expressa en segons. La taula 3.5.3. mostra els resultats

$$TR = \frac{0.161 * V}{A} \quad (3.5.2)^8$$

Taula 3.5.3. Temps de reverberació calculats per bandes de freqüència per una sala de 579,5 m³.

Freqüència (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
TR (s)	3,238	3,803	4,265	3,474	3,312	7,597

Com bé diu la definició del temps de reverberació, aquests resultats són per caigudes de 60dB, conegut com T60. Mesurar aquesta caiguda exigeix una instrumentació de certa precisió. Es per aquest motiu que molts equips de mesura utilitzen una extrapolació: es mesura el temps per una caiguda de 30 dB (anomenat T30) i es multiplica per dos, o una caiguda de 20dB (anomenat T20) que es multiplica per tres.

A vegades això pot provocar certa confusió, ja que es pot entendre que el T30 o T20 mesura solament el temps corresponent a la caiguda de 30 o 20 dB, però el temps de reverberació sempre es defineix sempre com el corresponent a la caiguda de 60 dB. Així, el T30 o T20 representen el temps de mesura que tarda en produir-se la caiguda de 60 dB, tot i que internament la mesura s'hagi basat en obtenir el temps d'una caiguda de 30 o 20 dB. Els valors de T30 i T20 ja estan multiplicats pel factor correcte per mesurar la caiguda a 60 dB.⁹

Posteriorment, es realitzaran les mesures experimentals d'aquest temps de reverberació per així comparar-les amb aquests càlculs teòrics.

4. Part experimental

La determinació de l'aïllament al soroll aeri d'acord amb la Norma ISO 16283-1, requereix escollir un recinte com a recinte emissor contenint l'altaveu, i un altre com a recinte receptor. Les mesures requerides inclouen els nivells de pressió acústica en ambdós recintes amb la font funcionant, el soroll de fons en el recinte receptor quan la font està apagada i els temps de reverberació en el recinte receptor.

El procediment per defecte mesura del nivell de pressió acústica i de soroll de fons, per totes les freqüències, consisteix en utilitzar un micròfon fix o subjectat manualment que es desplaça d'una posició a un altra, un conjunt de micròfons fixes, un micròfon amb un moviment continu mecanitzat o realitzar un escaneig manual amb un micròfon. Aquestes mesures es realitzen en la zona central del recinte en una posició allunyada dels límits del recinte. Es descriuen diferents mètodes per mostrejar la pressió acústica, de manera que l'operador pugui escollir el mètode més adequat pel recinte emissor y el receptor.

La consideració principal pel recinte emissor afecta a la protecció auditiva que ha d'utilitzar l'operador humà. En el cas del recinte receptor, l'objectiu és minimitzar l'efecte del soroll de fons pel que l'operador ha de decidir si es convenient estar present en el recinte per poder escoltar el soroll de fons intermitent o fora del recinte per garantir que el soroll de fons no es veu afectat per l'operador.

L'estudi i càlcul de l'aïllament de la qualitat de l'edificació entre diferents locals contempla la hipòtesi de camp difós, generat per una font de soroll amplificada, a l'interior d'aquests mateixos locals o sales. Aquesta hipòtesi permet mesurar "in situ" les característiques de l'aïllament de la construcció al soroll aeri segons les normatives internacionals.

El mesurament d'aïllament utilitza la diferència de nivells sonors entre un local emissor i un receptor. Per a la generació de nivell en l'emissor es fa servir una font de soroll amplificada. Aquest camp provocat en l'emissor es transmet cap al receptor a través dels elements constructius, ja sigui per la pròpia paret separadora (si n'hi ha) o mitjançant transmissions indirectes. Per aconseguir que es pugui considerar adient el mesurament, la diferència el soroll generat en el recinte receptor ha de ser al menys de 6 dB (>10 dB òptim) por sobre del soroll residual.¹

S'han de realitzar les mesures dels nivells de soroll de fons per a garantir que el nivell de senyal del recinte receptor no es trobi afectat pel soroll de fons i per a permetre una correcció en el cas que calgui. El soroll extern, com el soroll procedent de l'exterior del recinte de mesura, el soroll elèctric en el sistema receptor, les interferències elèctriques entre els sistemes font i receptor, els dispositius mecànics emprats pel micròfon de moviment continu i els operadors de fora del recinte de mesurament, tot contribueix al soroll de fons.

Las mesura del Temps de reverberació (TR) es defineix com el temps en que el nivell de pressió sonora disminueix 60 dB després que el focus emissor de soroll s'aturi. En aquest cas, s'ha d'utilitzar el mètode de soroll interromput o del mètode de resposta a l'impuls² integrada, tal i com es descriu en la Norma ISO 3382-2 i la Norma ISO 18233. El primer consisteix en excitar el recinte mitjançant una font omnidireccional durant un temps, tal que permeti arribar a un règim estacionari per, posteriorment, parar-lo en sec i comprovar la corba de caiguda³.

¹ Nivell de pressió acústica Mitjana en el recinte receptor degut a totes les fonts, menys l'altaveu, en el recinte emissor.

² Evolució temporal de la pressió acústica observada en un punt d'un recinte com a resultat d'un impuls de Dirac (impuls generat per una font de soroll impulsiu) en un altre recinte.

³ Representació gràfica del decreixement de nivell de pressió acústica en un recinte en funció del temps, un cop que la fon sonora ha parat.

L'avaluació del temps de reverberació es fa a partir de la corba de caiguda, la qual començarà quan el nivell de pressió sonora hagi disminuït uns decibels per sota del mesurat al principi de la caiguda de la pressió, al voltant de 0,1 s després de que la font sonora hagi estat aturada o quan es trobi 5 dB per sota del nivell de la pressió acústica inicial. L'extrem inferior del rang haurà d'estar 10 dB per sobre el fons. El rang haurà de ser suficientment petit per que la caiguda de la pressió acústica no es pugui aproximar a una línia recta i en cap cas no podrà ser inferior a 20 dB. Normalment s'empra aquest rang d'avaluació, el de 20 dB.¹⁰

Aquest estudi d'aïllament acústic es duu a terme a l'edifici d'oficines situat al carrer de Sant Francesc número 16 de Tarragona. El recinte emissor és la planta diàfana situada al primer pis i el receptor és l'oficina de l'empresa EICON, situada a la segona planta de l'edifici (dividia en diferents oficines, propietat de diferents empreses).

4.1. Previ a la mesura

Es realitza un plànol de situació tant de la sala emissora com de la sala receptora, prenent superfícies i volums de les sales receptores i emissores. (Figures 1, 2 i 7 a la 15 de *Annex I: Fotografies i plànols*). L'alçada d'ambdós recintes és de 2,5 m. També ens assegurem de que els equips disposen de calibratges i verificacions en vigor (*Annex II: Certificats de verificació dels instruments de mesura*). Es comprova el correcte funcionament del sonòmetre integrador Tipus I i de la resta d'equips i instruments que formen l'equip de mesurament abans de l'inici de la corresponent actuació. És obligatori l'ús de protecció auditiva per el/els operador/s que realitza/in la mesura. Normalment s'aconsegueixen nivells de pressió sonora superiors a 90 dB, a l'interior del recinte emissor.

S'acorda fer dues mesures d'aïllament per obtenir més repetibilitat. Les posicions de font i de micròfon han de ser diferents en les diferents mesures, per tant no és possible realitzar una tercera mesura ja que el recinte receptor té una superfície reduïda.

4.2. Procediment

Les mesures del nivell de pressió acústica s'empren per determinar el nivell amitjanat en la zona central del recinte emissor i del receptor amb les fonts en funcionament, i el nivell de soroll de fons en el recinte receptor quan es troben aturades. El soroll s'ha de generar en el recinte emissor fent ús de les fonts funcionant de manera simultània en al menys dues posicions, o d'un únic altaveu mogut a al menys dues posicions (en aquest cas, seguirem el segon mètode).

La potencia acústica de la font hauria de ser suficientment alta per que el nivell de pressió acústica dins del recinte receptor es trobi significativament per sobre del nivell de soroll de fons del soroll residual.

El soroll generat en el recinte emissor ha de ser estable, ha de tenir un espectre continu durant el temps de mesura i sobre el rang de freqüències que s'està mesurant. Les fonts de soroll omnidireccional han de generar un soroll estacionari durant tots els mesuraments (les seves característiques s'han de mantenir constants al llarg dels temps). Aquest so generat per la font omnidireccional ha de tenir un espectre continu sobre el rang de freqüències que es mesura, a l'utilitzar aquest mètode, s'ha de col·locar al menys en dues posicions.

Les fonts omnidireccionals han d'estar com a màxim a 0,5 m dels límits del recinte o bé a almenys 1 m en cas d'elements de separació (en aquest cas, el sostre). Aquesta s'ha de mesurar des del centre del focus emissor

o font omnidireccional fins al límit del recinte. La distància entre les posicions de les fonts omnidireccionals ha de ser com a mínim de 0,7m, al menys dues posicions han com d'ésser a mínim a 1,4 m l'una de l'altra.

Les següents distàncies de separació, referents al micròfon, són els valors mínims i s'han de sobrepassar sempre que sigui possible:

- 0,7 m entre les posicions de micròfon fixes.
- 0,5 m entre qualsevol posició de micròfon i els límits del recinte.
- 1,0 m entre qualsevol posició de micròfon i de la font.

En el cas d'emprar una única font s'ha d'usar com a mínim 5 posicions de micròfon a cada recinte per a cada posició de l'altaveu (els conjunts addicionals de posicions de micròfon poden ser diferents del primer conjunt de posicions). Cada conjunt de posicions de micròfon s'ha de distribuir dins de l'espai màxim permès al llarg de cada recinte. No pot haver-hi dues posicions de micròfon al mateix pla respecte els límits del recinte i les posicions no han d'estar en una retícula regular.¹⁰

Tenint aquests aspectes en compte, s'assenyala on es posicionaran la font i el sonòmetre en la mesura d'aïllament, sense que dos punts estiguin en un mateix pla ni repetint punt de mesura entre les dues mesures d'aïllament. La taula 4.2.1. mostra les posicions establertes en ambdós aïllaments i en les Figures 3, 4, 5 i 6 de *Annex I: Fotografies i plànols* s'observen sobre els plànols realitzats prèviament.

Taula 4.2.1. Posicions de la font sonora i el sonòmetre per les dues mesures d'aïllament.

Element	Aïllament 1		Aïllament 2	
	Coordenada x (m)	Coordenada y (m)	Coordenada x (m)	Coordenada y (m)
F1	7,110	12,94	9,203	13,51
F2	6,960	7,940	7,103	9,460
1	8,760	11,74	8,703	11,91
2	9,860	12,24	10,30	10,81
3	9,680	10,74	8,953	10,31
4	10,16	9,445	8,553	9,160
5	8,410	9,745	9,803	8,710
1/TR1	2,149	0,713	0,923	1,050
2/TR2	0,988	1,210	2,323	0,810
3/TR3	1,819	1,850	1,452	1,700
4/TR4	1,108	3,570	0,723	3,200
5/TR5	2,549	2,730	2,223	2,780
6/TR6	2,149	3,770	1,623	3,700

*On F1 és la primera posició de la font, F2 és la segona, els números de l'1 al 5 són les posicions del sonòmetre en el recinte emissor i 1/TR1 a 6/TR6 són les posicions del sonòmetre al mesurar el soroll aeri i el temps de reverberació.

Un cop establerts aquests paràmetres, es verifica el sonòmetre mitjançant un calibrador acústic, per garantir la traçabilitat de les mesures, i es procedeix a realitzar les mesures. S'ha de tenir en compte que el tronc de l'operador respecte el micròfon ha de romandre a una distància d'un braç i que, per anàlisi de freqüències en temps real, el temps de mesurament és suficient amb sis segons (s'introdueix aquesta variable a la configuració del sonòmetre). Usualment, quan es duen a terme aquestes mesures, hi ha dos operadors presents: un és responsable de fer les mesures en si, i l'altre, assisteix al primer.

Les mesures es realitzen el dia 22 de maig de 2019 a les 16:30 de la tarda. Es comença mesurant el soroll aeri generat en el recinte emissor amb la primera posició de font, a continuació, un dels operadors mesura el soroll rebut al local establert. Tot seguit, l'operador en el recinte emissor canvia la font de posició, i el del recinte receptor, mesura el soroll percebut. Es mesura el soroll aeri generat en el recinte emissor amb la segona posició de font i finalment, es mesura el soroll de fons i es procedeix a realitzar les mesures del temps de reverberació.

Per avaluar el temps de reverberació, s'utilitza el mètode de soroll interromput. El nombre de mesures requerides per aquest mètode és de sis: tres posicions de micròfon i dues mesures a cada aposició, o sis posicions del micròfon i una mesura a cada posició. Nosaltres hem optat per la segona opció, ja que el recinte és el suficientment gran. La distància entre l'operador i el micròfon ha de ser mínim de 40 cm (un braç).¹⁰ Es realitzen sis mesures del temps de reverberació en posicions diferents.

La font sonora emissora del soroll ha de generar un camp sonor suficientment llarg, omnidireccional i uniforme, com per produir un nivell de pressió sonora estacionaria en totes les bandes de freqüència abans de ser interromput.

En aquest cas, s'esclaten globus en una cantonada del recinte receptor, d'aquesta manera, el soroll es propaga uniformement per tota l'estància. L'operador ha de tenir cura de no interrompre el recorregut del soroll generat per l'esclat del globus, amb el propi cos. Es peten els globus necessaris fins obtenir les sis mesures en cadascuna de les sis posicions que es mostren en les Figures 3 i 6 de *Annex I: Fotografies i plànols* i numerades en la taula 4.2.1.

També es duen a terme aquestes mesures al recinte emissor per poder després, comparar els resultats amb els temps de reverberació determinats en l'apartat 3.5. d'aquest treball. Es procedeix de la mateixa manera. Les sis posicions de mesura es troben representades a la Figura 16 de *Annex I: Fotografies i Plànols* i les coordenades es mostren a la taula 4.2.2.

Taula 4.2.2. Posicions del sonòmetre per la mesura del temps de reverberació en el recinte emissor.

Posició	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6
Coordenada x (m)	2,908	8,058	7,658	9,708	3,947	1,105
Coordenada y (m)	13,60	18,34	13,34	5,645	14,26	4,865

5. Resultats i discussió

5.1. Grau d'aïllament acústic al soroll aeri

Primerament, es descarreguen les dades mesurades amb el sonòmetre a l'ordinador, mitjançant el Software proporcionat pel distribuïdor: *CESVALab*. Un cop descarregades, s'obre un nou projecte al Software *CESVA Insulation Studio*. Aquest programa processa les dades i determina l'aïllament al soroll aeri del recinte emissor segons la normativa escollida (Figura 17 de *Annex I: Fotografies i plànols*). Tot seguit, es van afegint els arxius d'extensió .cdf, descarregats del sonòmetre, a la categoria que els hi corresponen: emissió, recepció, soroll de fons o temps de reverberació.

Un cop classificades per categories, es comprova si alguna de les mesures difereix significativament de la resta amb les gràfiques que genera el programa. Ens centrem en les mesures de mitges i altes freqüències, ja que són les que es tenen en compte en els procediments generals d'aïllament acústic (per determinar baixes freqüències, s'utilitza un mètode més específic) (Figures 18, 19 i 20 per la primera prova d'aïllament i Figures 21, 22 i 23 per la segona prova d'aïllament de *Annex I: Fotografies i plànols*). No s'observa cap diferència notablement significativa.

Les gràfiques de les mesures del temps de reverberació (Figura 24 per la primera prova d'aïllament i Figura 25 per la segona prova d'aïllament de *Annex I: Fotografies i plànols*) són bastant diferents a la resta de gràfiques anteriorment comentades, ja que es tenen en compte variables diferents (temps respecte freqüència en comptes de nivells de pressió acústica respecte freqüència), això és degut a que el processat d'aquesta mesura es basa en un mètode diferent.

Per saber el grau d'aïllament acústic al soroll aeri, es procedeix a utilitzar el procediment de càlcul indicat en la norma UNE EN ISO 16283-1 en un full de càlcul per obtenir la diferència de nivells estandarditzada i posteriorment, el resultat final.

La diferència de nivells estandarditzada, D_{nT} , s'expressa en decibels i s'obté amb la fórmula (5.1.1), m és el número de posicions de l'altaveu, j és el número de posició del micròfon, D_{nTj} és la diferència de nivells estandarditzada per l'enèsima posició de l'altaveu (depèn de la posició de l'altaveu i és pròpia de cada posició del micròfon).

$$D_{nT} = -10 \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left(10^{\frac{-D_{nTj}}{10}} \right) \quad (dB) \quad (5.1.1)$$

La diferència de nivells estandarditzada per l'enèsima posició de l'altaveu s'expressa en decibels i es calcula segons la fórmula (5.1.2), on D és la diferència de nivells, T és el temps de reverberació en el recinte receptor i T_0 és el temps de reverberació de referència, 0,5 s.

$$D_{nTj} = D + \log \frac{T}{T_0} \quad (dB) \quad (5.1.2)$$

La diferència de nivells, D , és la diferència de nivells de pressió acústica mitjanats energèticament entre els recintes emissor i receptor, amb un o més altaveus en el recinte emissor. S'expressa en decibels i es calcula utilitzant la fórmula (5.1.3), on L_1 és el nivells de pressió acústica mitjanat energèticament en el recinte emissor i L_2 és el nivells de pressió acústica mitjanat energèticament en el recinte receptor.

$$D = L_1 - L_2 \quad (dB) \quad (5.1.3)$$

Finalment el nivell de pressió acústica mitjanat energèticament en un recinte, L , es mesura en decibels i es calcula segons la fórmula (5.1.4), on n és el número de posicions de micròfon, L_i és el nivell de pressió acústica en n diferents posicions del micròfon en el recinte (les mesures obtingudes amb el sonòmetre).

$$L = 10 * \log \left(\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \left(10^{\frac{L_i}{10}} \right) \right) \quad (dB) \quad (5.1.4)^{10}$$

Els nivells de pressió acústica mitjanats energèticament es calculen per les mesures d'emissió, de recepció i de soroll de fons, per bandes de freqüència. A continuació, es calcula la diferència dels nivells de pressió acústica mitjanats mesurats en el recinte receptor (L_{sb2}) i els de soroll de fons (L_{b2}) per obtenir els de recepció (L_2), per bandes de freqüència. Pel temps de reverberació, es realitza una mitjana aritmètica, per bandes de freqüència. La taula 5.1.1. mostra aquests resultats i la taula 5.1.2., la resta de variables anteriorment anomenades.

Taula 5.1.1. Nivells de pressió acústica mitjanats energèticament d'emissió (L_1), mesurats en el recinte receptor (L_{sb2}), de soroll de fons (L_{b2}), de recepció (L_2) i mitjana de temps de reverberació (TR), per bandes de freqüència.

Freqüència (Hz)	Emissió L_1 (dB)	Recepció + Fons L_{sb2} (dB)	Fons L_{b2} (dB)	Recepció L_2 (dB)	TR (s)
50	90,7	54,6	42,8	54,6	1,19
63	90,4	54,8	32,7	54,8	0,79
80	98,4	58,0	33,3	58,0	0,50
100	100,4	59,3	29,5	59,3	0,47
125	104,4	63,9	32,7	63,9	0,50
160	107,0	66,5	30,5	66,5	0,39
200	105,0	63,4	31,0	63,4	0,46
250	102,9	60,3	32,7	60,3	0,57
315	100,5	58,6	29,8	58,6	0,56
400	100,1	56,9	32,2	56,9	0,48
500	98,1	54,4	33,5	54,4	0,44
630	97,2	51,5	32,1	51,5	0,38
800	95,5	47,5	26,2	47,5	0,39
1000	93,8	44,3	23,2	44,3	0,36
1250	93,9	42,8	24,3	42,8	0,40
1600	95,1	42,1	24,4	42,1	0,40
2000	95,6	41,1	21,5	41,1	0,39
2500	93,3	37,6	19,1	37,6	0,42
3150	91,0	31,4	16,0	31,4	0,41
4000	89,4	23,8	14,0	23,3	0,41
5000	91,6	20,6	11,7	20,0	0,41

Taula 5.1.2. Diferències de nivell, diferències de nivell estandarditzades per l'enèsima posició de l'altaveu i diferències de nivell estandarditzades, respecte la banda de freqüència corresponent.

Freqüència (Hz)	Posició de font 1		Posició de font 2		Total
	D (dB)	D_{ntj} (dB)	D (dB)	D_{ntj} (dB)	D_{nt} (dB)
50	34,6	39,9	33,5	37,3	38,4
63	36,1	37,6	36,7	38,7	38,1
80	36,9	40,4	35,0	35,0	36,9
100	40,7	40,8	40,3	40,0	40,4
125	40,9	40,5	41,4	41,4	40,9

Freqüència (Hz)	Posició de font 1		Posició de font 2		Total
	D (dB)	D _{ntj} (dB)	D (dB)	D _{ntj} (dB)	D _{nt} (dB)
160	40,9	39,4	41,3	40,2	39,8
200	41,6	41,2	41,7	41,3	41,2
250	42,6	43,1	42,6	43,1	43,1
315	41,5	42,4	41,2	41,7	42,0
400	42,7	43,1	42,3	42,2	42,6
500	43,9	43,1	44,2	43,6	43,3
630	46,0	44,5	46,3	45,1	44,8
800	47,3	47,0	46,7	45,7	46,3
1000	49,3	48,1	49,1	47,7	47,9
1250	51,1	50,1	51,1	50,1	50,1
1600	52,7	52,0	52,5	51,5	51,7
2000	54,5	53,5	54,6	53,6	53,5
2500	55,9	54,9	56,1	55,3	55,1
3150	59,8	58,7	60,0	59,1	58,9
4000	66,3	65,2	66,6	65,7	65,4
5000	71,9	70,7	72,2	71,3	71,0

Per obtenir el grau d'aïllament acústic al soroll aeri ($D_{nt,w}$), es parteix de la corba de referència establerta en la normativa. Els valors d'aquesta corba es desplacen unitat a unitat (per sobre o per sota) fins que la suma de la diferència entres les diferències de nivells estandarditzades i aquests nous valors obtinguts de la corba de referència, sigui inferior a 32. El valor més elevat, correspondrà a al grau d'aïllament acústic al soroll aeri, que és el valor de referència modificat obtingut. La taula 5.1.3. mostra els valors definitius d'aquests càlculs i per tant, el resultat final.

Taula 5.1.3. Valors de la corba de referència, les diferències de nivells estandarditzades, els valors de la corba desplaçats (amb el número d'unitats que s'han desplaçat), la diferència per saber si la desviació és favorable i la suma total d'aquesta, per bandes de freqüència. Rodejat en blau, els valors descrits anteriorment.

Freqüència (Hz)	Corba de referència (dB)	D _{nt} (dB)	Valors de referència desplaçats (dB)	Desviació favorable? (dB)
50		38,4		
63		38,1		
80		36,9		
100	33	40,4	29	0,00
125	36	40,9	32	0,00
160	39	39,8	35	0,00
200	42	41,2	38	0,00
250	45	43,1	41	0,00
315	48	42,0	44	2,00
400	51	42,6	47	4,40
500	52	43,3	48	4,70
630	53	44,8	49	4,20
800	54	46,3	50	3,70

Freqüència (Hz)	Corba de referència (dB)	D _{nT} (dB)	Valors de referència desplaçats (dB)	Desviació favorable? (dB)
1000	55	47,9	51	3,10
1250	56	50,1	52	1,90
1600	56	51,7	52	0,30
2000	56	53,5	52	0,00
2500	56	55,1	52	0,00
3150	56	58,9	52	0,00
4000		65,4		
5000		71,0		
			Unitats desplaçades	Suma total
			-4	24,3

Els informes obtinguts a partir del Software del sonòmetre es troben a *Annex III: Informes de les mesures d'aïllament acústic al soroll aeri*. Com es pot observar, són informes bastant senzills, mostrant solament la informació essencial, com el grau d'aïllament acústic al soroll aeri (D_{nT,w}), 48 dB. Per tant, el grau d'aïllament acústic al soroll aeri obtingut amb els nostres càlculs, és el mateix que aquest: 48 dB. S'ha realitzat el mateix procediment per determinar el grau d'aïllament acústic al soroll aeri de la segon mesura d'aïllament i s'ha obtingut el mateix resultat.

5.2. Incertesa associada al grau d'aïllament acústic al soroll aeri

A continuació, es fa el càlcul de la incertesa de la mesura. En aquest cas, es tenen en compte les incerteses associades a totes les mesures realitzades, al volum dels recinte receptor, a la superfície que els separa, al sonòmetre, al calibrador i a les condicions atmosfèriques. La fórmula (5.2.1) mostra com calcular la incertesa combinada per cada banda de freqüència, on u_i són les incerteses típiques de cada variable i D_{nT} són les diferències de nivell acústic per bandes de freqüència. La incertesa combinada definitiva (u_c) serà la mitjana energètica de les incerteses a diferents freqüències. La fórmula (5.2.2) és per calcular la incertesa expandida, on k és 2 i ambdues incerteses estan expressades en decibels.

$$u_{cj} = D_{nT} * \sqrt{\sum_{i=1}^i u_i^2} \quad (dB) \quad (5.2.1)$$

$$U = k * u_c \quad (dB) \quad (5.2.2)$$

Les incerteses típiques associades a les mesures, es calcula seguint la fórmula (5.2.3), on S_i és la desviació estàndard de les dades, n és el número de posicions i x_i és la mesura. Pel temps de reverberació s'utilitza la fórmula (5.2.4). Aquestes incerteses són adimensionals.

$$u_i = \frac{\frac{S_i}{\sqrt{n}}}{x_i} \quad (5.2.3)$$

$$u_{TR} = \frac{\sqrt{\left(\frac{S_{TR}}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(\frac{0,01}{2*\sqrt{3}}\right)^2}}{TR_i} \quad (5.2.4)^{10}$$

Les incerteses típiques associades al sonòmetre i al calibrador són, respectivament, 0,075 dB i 0,058 dB. La incertesa associada al volum del recinte receptor i a la superfície que separa els recintes, depenen de l'1% de la geometria del recinte receptor i de la resolució del telèmetre (instrument utilitzat per mesurar les distàncies). Aquestes incerteses es calculen segons la fórmula (5.2.5), on el volum del recinte receptor és de 42,40 m³, la superfície que separa els dos recintes és 16,24 m² i el resultat és adimensional.

$$u_{vol/sup} = \frac{\sqrt{(vol/sup * 0.01)^2 \left(\frac{0.001}{2\sqrt{3}}\right)^2}}{vol/sup} \quad (5.2.5)$$

La incertesa típica associada a les condicions atmosfèriques és una incertesa combinada i es calcula tenint en compte tres paràmetres: la temperatura, la humitat i la pressió atmosfèriques. Tenint en compte les dades mostrades en la taula 5.2.1., podem calcular quina és la incertesa típica de cada paràmetre utilitzant la fórmula (5.2.6), on *Desv.* és la desviació de decibels per cada unitat de diferència entre els valors dels paràmetres determinats i els de referència, $\Delta paràm.$ és la diferència entre els valors dels paràmetres determinats i els de referència i $\bar{x}_i$ és la mitjana dels valors determinants en decibels. El resultat és adimensional.

Taula 5.2.1. Valors dels paràmetres determinats, valors de referència, rang d'ús de cada valor de referència i desviació de decibels per cada unitat de diferència entre els valors dels paràmetres determinats.

Paràmetre	Valor determinat	Valor de referència	Mínim	Màxim	Desviació
Temperatura (°C)	22,45	20	-10	50	0,0015 dB/°C
Humitat atmosfèrica (%)	65,35	65	10	90	0,001 dB/%
Pressió atmosfèrica (hPa)	1013	1013	650	1080	0,00008 dB/hPa

$$u_i = \frac{\text{Desv.} * \Delta paràm.}{\frac{\sqrt{3}}{\bar{x}_i}} \quad (5.2.6)^{10}$$

Les úniques incerteses típiques que són iguals en les dues probes d'aïllament són les que no depenen de les mesures: la del sonòmetre, la del calibrador, la del volum del recinte receptor, la de la superfície de separació i la de les condicions atmosfèriques (les es van prendre les mesures se manera continuada així que les condicions atmosfèriques no van canviar). Fent els càlculs corresponents, s'obtenen els resultats que mostra la taula 5.2.2.

Taula 5.2.2. Incerteses combinades per banda de freqüència segons la prova d'aïllament corresponent.

Freq. (Hz)	u _{DnT} (dB)		Freq. (Hz)	u _{DnT} (dB)	
	Proba aïllament 1	Proba aïllament 2		Proba aïllament 1	Proba aïllament 2
100	4,270	2,487	800	1,174	0,836
125	2,343	1,296	1000	0,889	0,865
160	1,471	1,142	1250	0,897	1,028
200	2,042	1,682	1600	0,962	0,861
250	1,591	1,072	2000	1,054	0,893
315	0,947	0,874	2500	0,623	0,940
400	0,914	1,125	3150	0,755	1,713
500	1,251	1,015	4000	1,224	2,324
630	1,013	1,338	5000	1,420	1,770

Com s'ha comentat al principi d'aquest apartat, la incertesa combinada definitiva serà la mitjana energètica de les incerteses a diferents freqüències i es calcula multiplicant per deu el logaritme de la mitjana de les incerteses a les diferents freqüències. Per tenir en compte ambdues proves d'aïllament acústic al soroll aeri, s'utilitza la fórmula (5.2.7) per calcular la incertesa combinada total, on u_{c1} és la incertesa combinada associada a la primera prova d'aïllament i u_{c2} , associada a la segona prova.

$$u_c = \sqrt{u_{c1}^2 + u_{c2}^2} \quad (dB) \quad (5.2.7)^{10}$$

Finalment, s'utilitza la fórmula (5.2.2) per obtenir la incertesa expandida i el resultat final és **(48 ± 3) dB**.

Per poder saber si aquest aïllament es adequat, hem de tenir el resultat en dB(A). Els dB(A) són decibels però amb una ponderació A aplicada. El decibel és la unitat que mesura la sonoritat d'un so o la força de la senyal, però l'ésser humà no sent totes les freqüències per igual i, per aquest motiu s'han creat ponderacions per poder obtenir mesures sonores que tenen en compte com l'oïda humana percep el so.¹¹

En aquest cas, aplicant la ponderació A, obtenim un aïllament acústic al soroll aeri de (49 ± 4) dB(A). Segons el codi tècnic de la protecció contra el soroll, l'aïllament acústic al soroll aeri de dos recintes que no pertanyin a la mateixa unitat d'ús, no ha de ser menor que 50 dB(A).¹²

Podem concloure que l'establiment on s'ha dut a terme l'estudi acústic, actualment, no compleix la normativa corresponent (com que el resultat té relacionat una incertesa, es té en compte el pitjor dels casos: un aïllament de 45 dB(A)). Si en un futur s'instaura una zona habitable o una activitat, s'haurien de realitzar mesures correctores per obtenir l'aïllament acústic al soroll aeri adequat.

5.3. Temps de reverberació del recinte emissor

Per obtenir els resultats experimentals amb les quals s'han de comparar els temps de reverberació determinats teòricament (apartat 3.5) es calculen les mitjanes dels temps de reverberació mesurats a 125, 250, 500, 1000, 2000 i 4000 Hz (les bandes de freqüència de les quals tenim informació teòrica. La taula 5.3.1. mostra aquests valors, juntament amb els obtinguts mitjançant els càlculs teòrics.

Taula 5.3.1. Temps de reverberació determinats de forma teòrica amb la fórmula de Sabine (fórmula 3.5.2), de forma experimental i la seva diferència.

Freqüència (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
TR teòric (s)	3,238	3,803	4,265	3,474	3,312	7,597
TR exp. (s)	3,732	2,731	2,553	2,222	2,187	1,755
Diferència (s)	0,495	1,072	1,711	1,253	1,126	5,842

Com es pot observar, l'única diferència bastant significativa seria entre els resultats obtinguts a una freqüència de 4000 Hz. Aquest fet es degut a que hi ha dos materials pels quals no consta cap coeficient d'absorció (taula 3.5.1.), probablement perquè no s'ha pogut determinar experimentalment (com s'explica a l'apartat 3.5., el coeficient d'absorció és una relació entre energies que s'han de determinar experimentalment).

Amb aquests resultats podem concloure que, sempre que sigui possible, és recomanable determinar els temps de reverberació de manera experimental, ja que els mètodes proporcionats poden portar a resultats erronis.

6. Conclusions

Català

L'objectiu principal d'aquest treball, que era determinar el grau d'aïllament acústic al soroll aeri, i la seva incertesa, d'una estança diàfana i també relacionar els materials que constitueixen la sala on s'ha fet la mesura amb l'aïllament obtingut, s'ha assolit (tot i que la relació que volia fer amb els materials de l'edifici estava més relacionada amb l'àmbit de la química). A més a més, també he assumit els conceptes nous apresos a l'empresa.

Pel que fa al contingut i a la realització del treball, m'agradaria haver tingut més temps per obtenir la informació necessària per dur a terme l'estudi físic i químic dels materials que constitueixen el recinte emissor. En un mes i mig és molt difícil fer-se amb un projecte complet d'un edifici privat.

Com a conclusió, el que ens demostra un assaig d'aïllament acústic *in situ* és que tenen en compte totes les transmissions estructurals primàries i secundàries que poden haver entre un recinte emissor i un recinte receptor. En canvi, un assaig realitzat a laboratori només té en compte l'element separador que hi ha entre els recintes.

Així que, amb el resultat obtingut d'aïllament global en dB(A), s'obté el resultat de tots els obstacles que el so pot tenir d'un recinte a un altre. Per una banda, aquest resultat no ens dona informació de quin es el recorregut més o menys desfavorable pel so, ni tampoc determina quin seria l'element que més el transmet. Per altra banda, un aïllament en valors globals no ens dona informació de quin soroll exactament estem aïllant. És a dir, és important saber quin tipus de soroll volem aïllar i per tant, el que seria interessant seria veure l'aïllament per bandes de freqüència, ja que ens donarà una informació més completa. Dos elements constructius poden tenir aïllaments globals iguals però deixar passar sons molt diferents.

Els resultats s'han de comparar amb el que demanen les ordenances municipals o Codi tècnic de l'edificació, però en ambdós casos, es dona una informació de vegades massa global i poc precisa.

El fet que un aïllament sigui insuficient, fa que s'hagin de buscar solucions constructives adients per cada tipus de recinte. Com més baix sigui l'aïllament determinat, més tractament acústic es necessitarà, amb el que s'intenta separar l'emissor del receptor per evitar el màxim possible que hi hagi transmissió estructural.

English

The main objective of this assignment, which was to determine the degree of sound insulation to airborne noise, and its uncertainty and also relate the materials that make up the room where the measurement, was achieved (although the study that I wanted to make about the materials of the building was more related to the chemistry field). In addition, I have also taken on the new concepts learned in this company.

As a conclusion, what proves to us an on-site acoustic insulation test is that they take into account all the primary and secondary structural transmissions that may exist between the emitter premises and the receiver premises. On the other hand, a test conducted in a laboratory only takes into account the separating element that exists between the two enclosures.

Therefore, with the result obtained from global isolation in dB(A), you get the result of all the obstacles that sound can encounter from one premises to another. On the one hand, this result does not give us information about the route that is more or less beneficial to the sound, nor does it determine what the most transmitted element would be. On the other hand, an isolation in global values does not give us information on what noise we are exactly insulating. That is, it is important to know what type of noise we want to isolate and therefore, what would be interesting to see is the isolation by frequency bands, as it would give us more complete information. Two constructive elements can have equal global isolations but let through very different sounds.

The results must be compared to what the regulations or Technical Code of the building are requesting, but in both cases, information is sometimes too general and inaccurate.

If the insulation is insufficient, it is necessary to find suitable constructive solutions for each type of enclosure. The lower the specific isolation, the more acoustic treatment will be needed, which is intended to separate the transmitter from the receiver to avoid the maximum possible structural transmission.

With regard to the content and work accomplished, I would have liked to have had more time to obtain the necessary information to carry out the physical and chemical study of the materials that constitute the emissary enclosure. In a month and a half is very difficult to gain access project of a private building.

7. Bibliografia

¹ Generalitat de Catalunya: Departament de medi ambient. Entitats en l'àmbit de prevenció de la contaminació acústica: conceptes generals.

http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/empresa_i_produccio_sostenible/prevencio_i_control_dactivitats/la_llei_de_prevencio_i_control_ambiental_dactivitats/oficina_daec/entitats_ha/entitats_acustica_pca/conceptes_generals/ (data de consulta: 22 d'abril de 2019).

² Generalitat de Catalunya: Departament de medi ambient. Contaminació acústica: Què és el soroll? http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/atmosfera/contaminacio_acustica/que_es_el_soroll/ (data de consulta: 22 d'abril de 2019).

³ Rodríguez, F. J.; de la Puente Crespo, J.; Díaz Sanchidrián, C. Conceptos utilizados en el estudio del ruido. *Guía acústica de la construcción*; 2a edició; CIE INVERSIONES EDITORIALES DOSSAT-2000, S.L.: Espanya, 2008; pp 15-23.

⁴ Entidad Integral de Control, S.L. (EICON). *Un nou concepte d'entitat col·laboradora*. 2016, pp 9.

⁵ Rodríguez, F. J.; de la Puente Crespo, J.; Díaz Sanchidrián, C. Aislamiento acústico a ruido aéreo en edificación: índices de aislamiento, sistemas constructivos de particiones y formas de transmisión del sonido. *Guía acústica de la construcción*; 2a edició; CIE INVERSIONES EDITORIALES DOSSAT-2000, S.L.: Espanya, 2008; pp 87-88.

⁶ Acústica y sonido. Coeficiente de absorción. <http://acusticaysonido.com/?p=148> (data de consulta 3 de juny de 2019).

⁷ Bunker-audio. Coeficientes de absorción acústica de materiales. <https://www.bunker-audio.com/bunker-audio-portal-sonido-documentos.php?id=3> (data de consulta 3 de juny de 2019).

Universidad de la república Uruguay: Facultad de Arquitectura, diseño y urbanismo. Coeficientes de absorción. <http://www.fadu.edu.uy/acondicionamiento-acustico/wp-content/blogs.dir/27/files/2012/02/Tablas-de-Absorcion.pdf> (data de consulta 3 de juny de 2019).

⁸ Acústica Fácil: Ingeniería acústica para profesionales. Ingeniería acústica: como calcular el tiempo de reverberación 1/2. <http://www.ingenieriaacusticafacil.com/ingenieria-acustica-como-calcular-el-tiempo-de-reverberacion/> (data de consulta 3 de juny de 2019).

⁹ Hispasonic. T60, el estándar de medida del tiempo de reverberación. <https://www.hispasonic.com/tutoriales/t60-estandar-medida-tiempo-reverberacion/42767> (data de consulta 3 de juny de 2019).

¹⁰ Acústica. Medición *in situ* del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. ISO 16283-1:2017.

¹¹ dB Noise Reduction. dB vs dB(A). [http://www.dbnoisereduction.com/blog/db-vs-dB\(A\)/](http://www.dbnoisereduction.com/blog/db-vs-dB(A)/) (data 29 de maig de 2019).

¹² Código técnico de la edificación. Documento básico HR: Protección frente al ruido. pp 9. <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/proteccionRuido/DBHR.pdf> (data de consulta 3 de juny de 2019).

Annex I: Fotografies i plànols

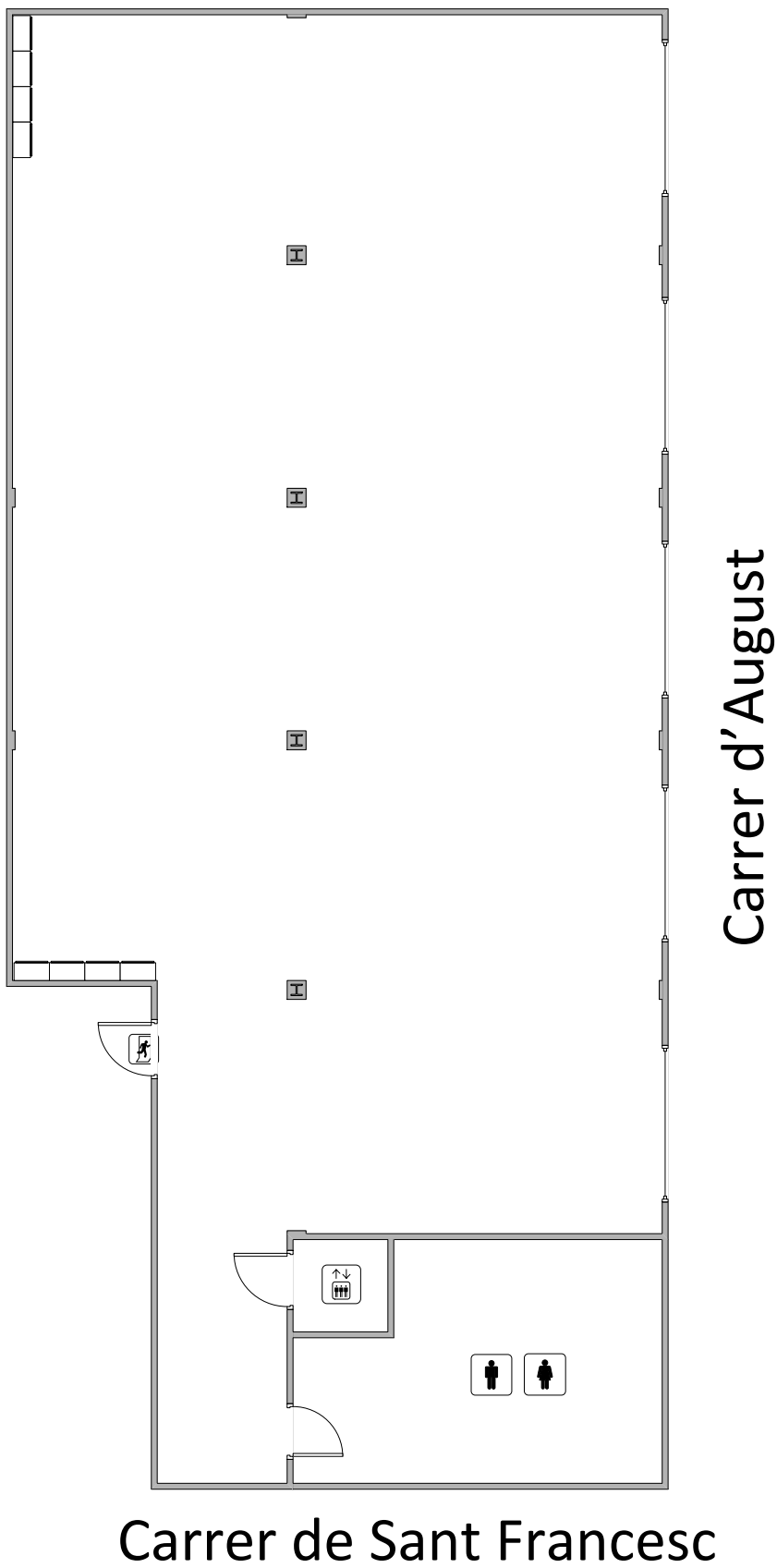


Figura 1. Plànol del recinte emissor.

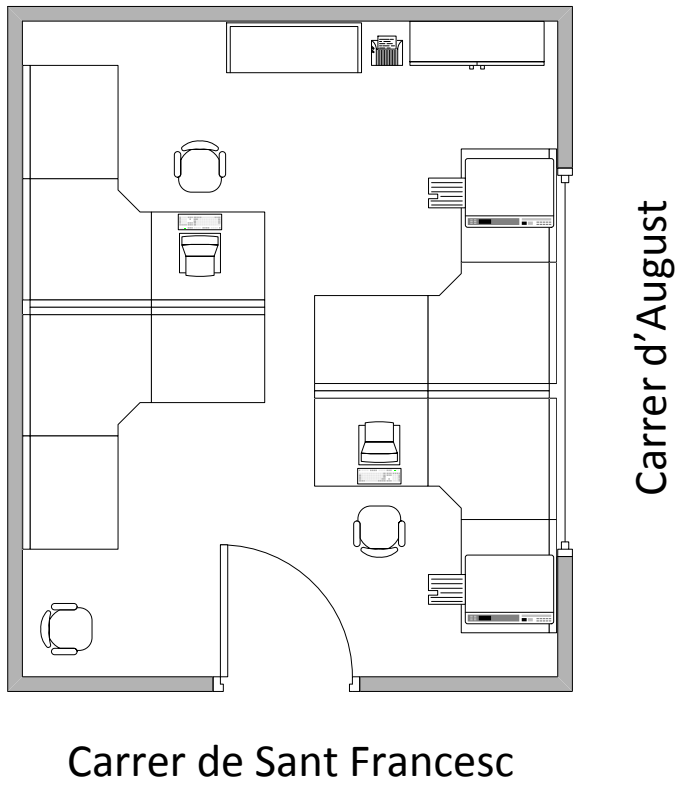


Figura 2. Plànol del recinte receptor.

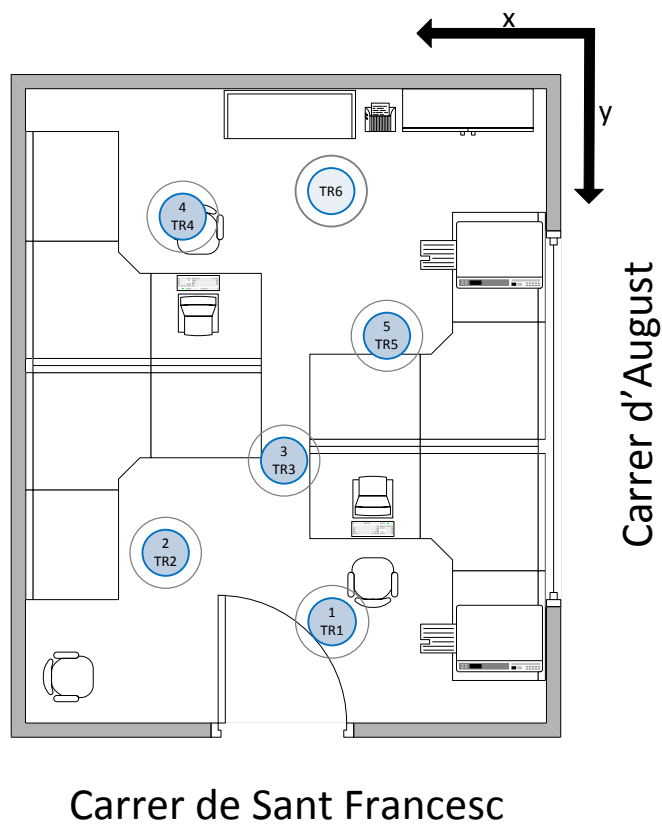


Figura 3. Primera mesura d'aïllament acústic al soroll aeri. Posició del sonòmetre (en blau) en el plànol del local receptor amb l'eix de coordenades cartesianes.

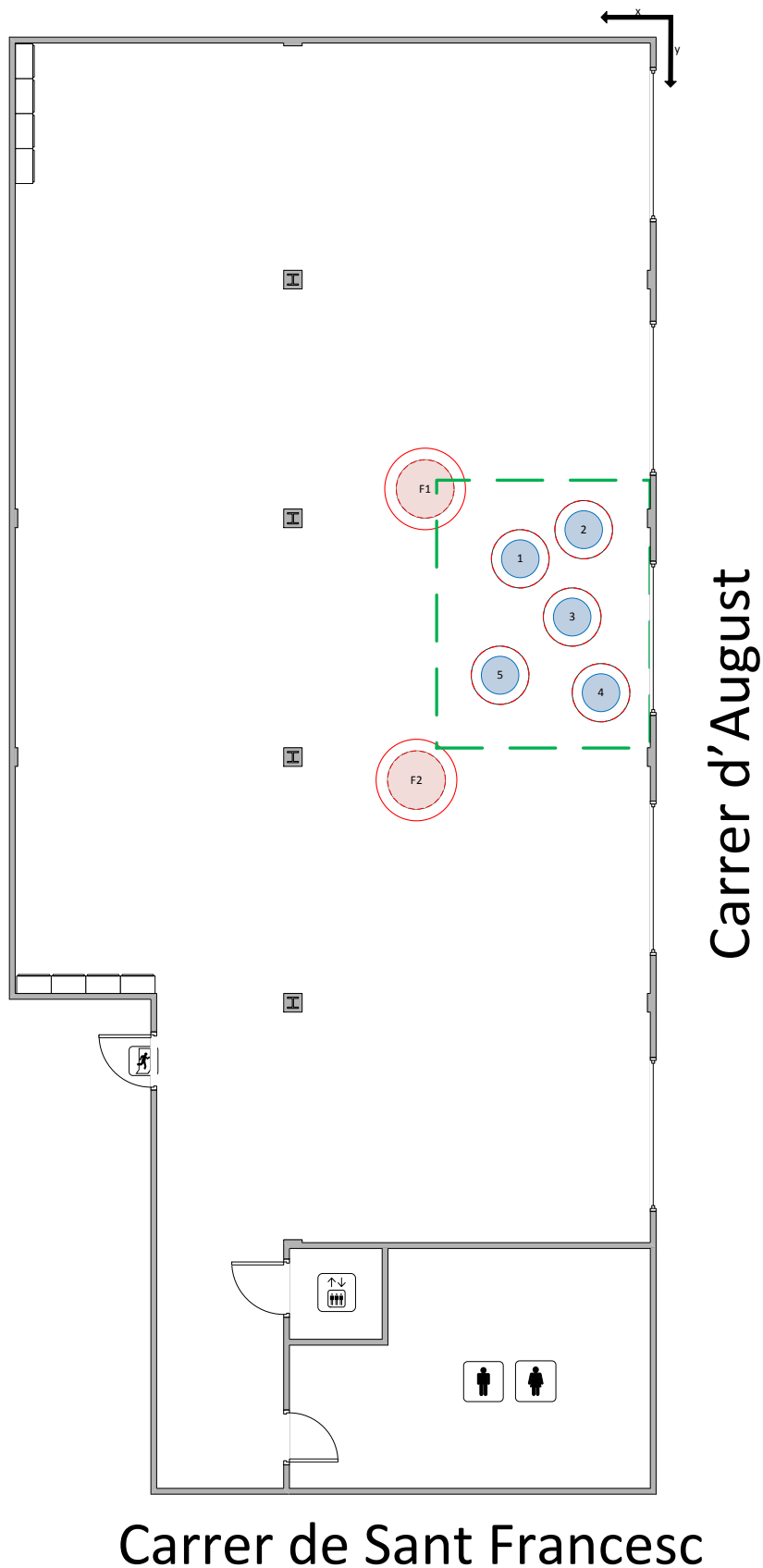


Figura 4. Primera mesura d'aïllament acústic al soroll aeri. Posició de la font sonora (en vermell, dues posicions) i del sonòmetre (en blau) en el plànol del local emissor, amb l'eix de coordenades cartesianes. La zona marcada en verd essent la projecció de l'oficina de la segona planta.

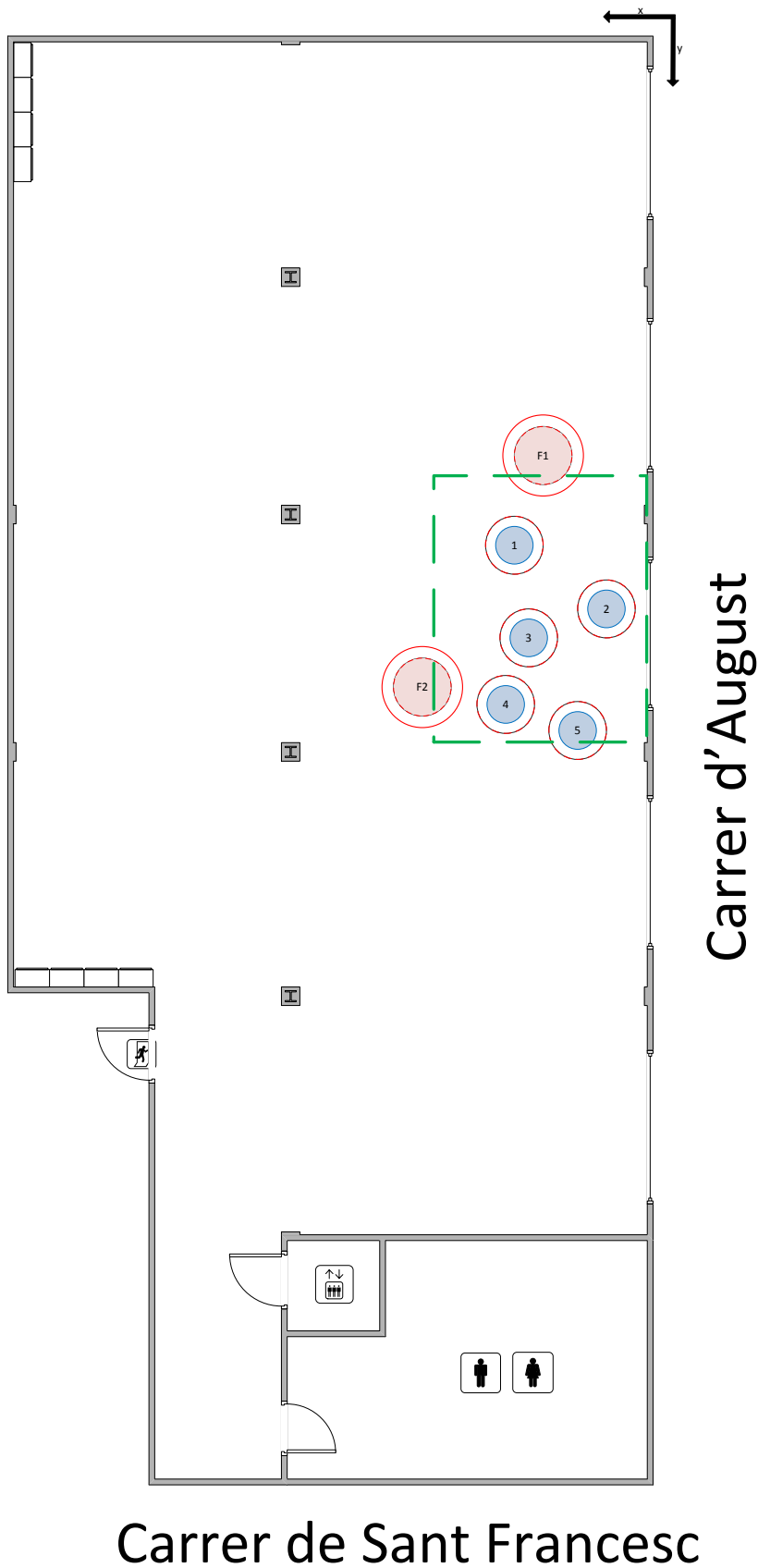
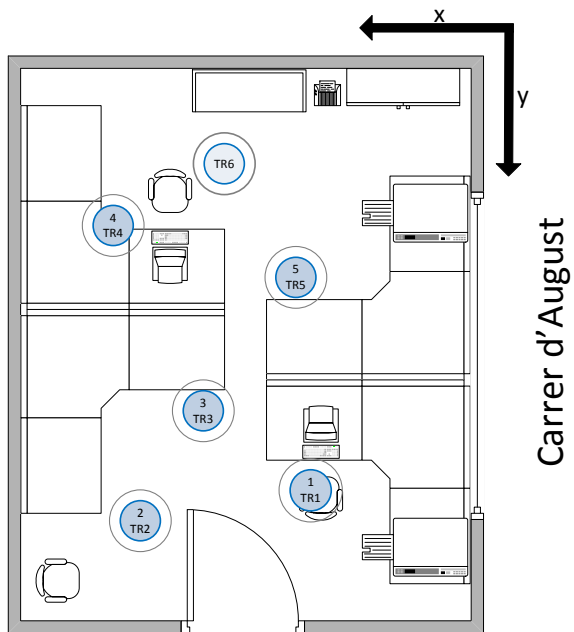


Figura 5. Segona mesura d'aïllament acústic al soroll aeri. Posició de la font sonora (en vermell, dues posicions) i del sonòmetre (en blau) en el plànol del local emissor amb l'eix de coordenades cartesianes. La zona marcada en verd essent la projecció de l'oficina de la segona planta.



Carrer de Sant Francesc

Figura 6. Segona mesura d'aïllament acústic al soroll aeri. Posició del sonòmetre (en blau) en el plànol del local receptor amb l'eix de coordenades cartesianes.



Figura 7. Perspectiva 1 del local emissor.



Figura 8. Perspectiva 2 del local emissor.



Figura 9. Perspectiva 3 del local emissor.



Figura 10. Perspectiva 4 del local emissor.



Figura 11. Perspectiva 5 del local emissor.



Figura 12. Perspectiva 6 del local emissor.



Figura 13. Perspectiva 1 del local receptor.



Figura 14. Perspectiva 2 del local receptor.



Figura 15. Perspectiva 3 del local receptor.

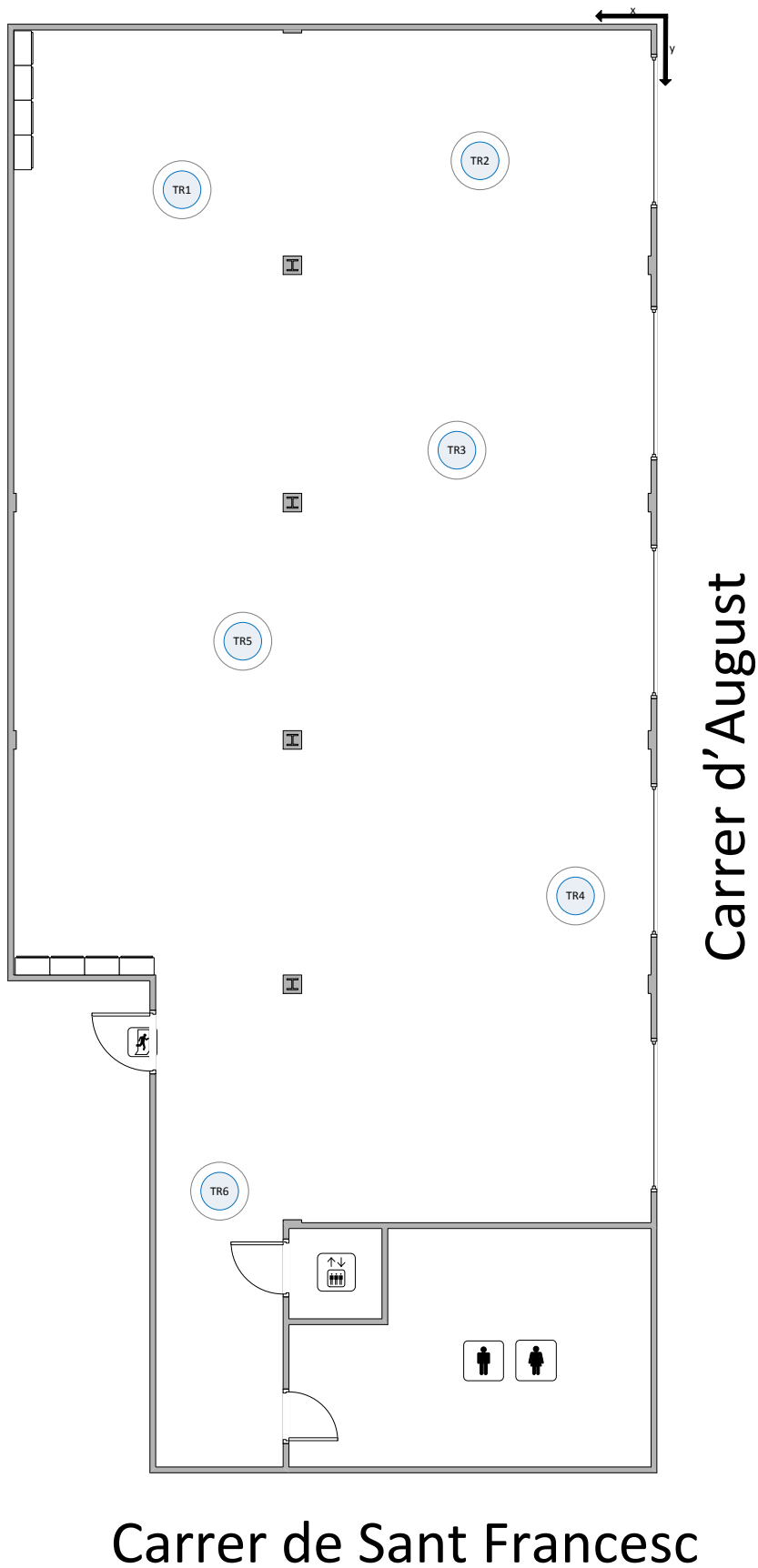


Figura 16. Mesura del temps de reverberació al recinte emissor. En blau es troben les posicions del sonòmetre.

CESVA Insulation Studio

Projecte Eines Ajuda

Configuració del projecte Dades de la mesura Informe

Norma
ISO

Tipus
ISO 16283-1 (Aïllament al soroll aeri: In situ)

Idioma de l'informe
Català

Tipus de filtre
1/3

Rang freqüencial
50Hz-5000Hz

Promig RT
Aritmètic

Temps de reverberació
T20

Data
dimarts, 28 de maig de 2019

Mètode RT
Impulsiu

Uncertainty

Figura 17. Dades introduïdes al Software CESVA Insulation Studio.

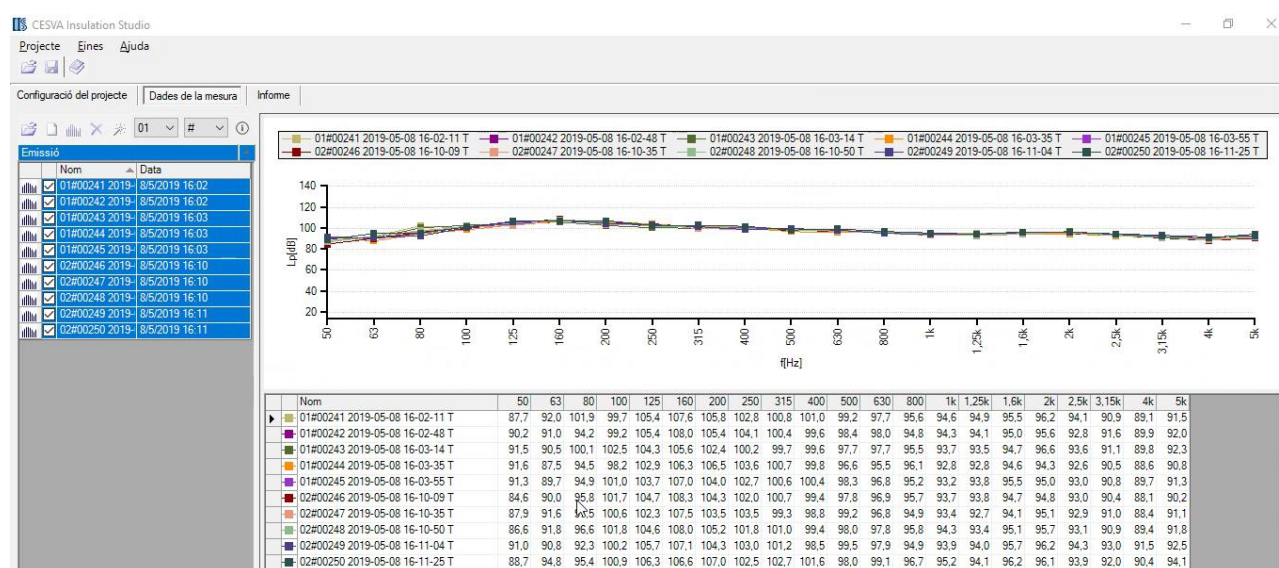


Figura 18. Primera mesura d'aïllament acústic al soroll acústic. Dades d'emissió extremitats del sonòmetre amb la corresponent representació gràfica de la freqüència (Hz) respecte la pressió acústica mesurada (dB).

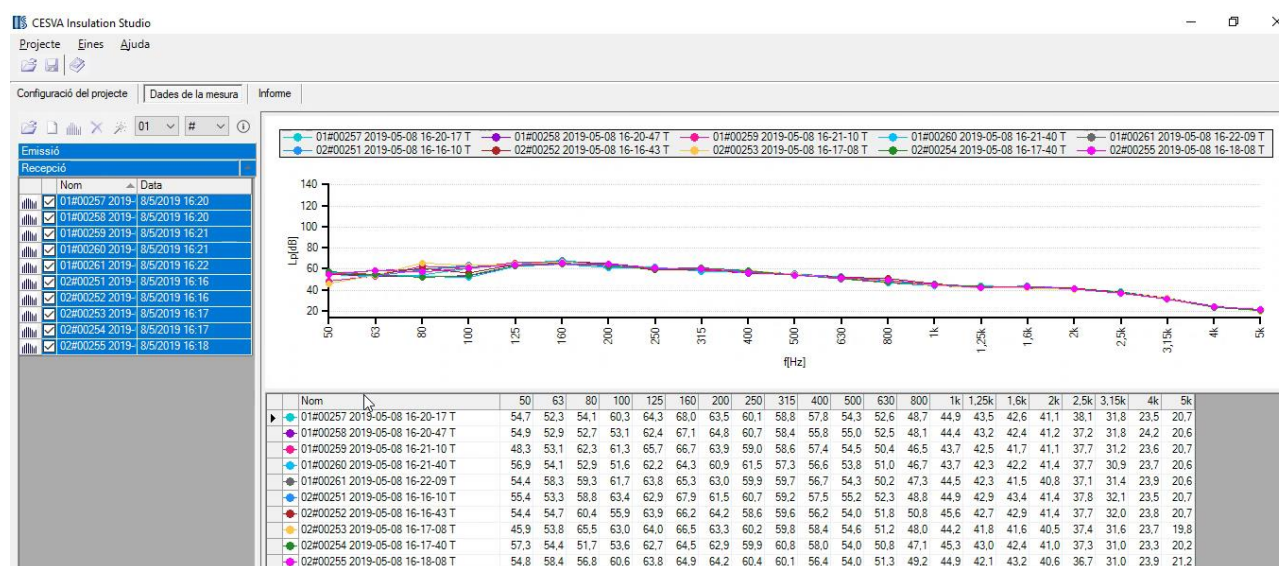


Figura 19. Primera mesura d'aïllament acústic al soroll acústic. Dades de recepció extremitats del sonòmetre amb la corresponent representació gràfica de la freqüència (Hz) respecte la pressió acústica mesurada (dB).

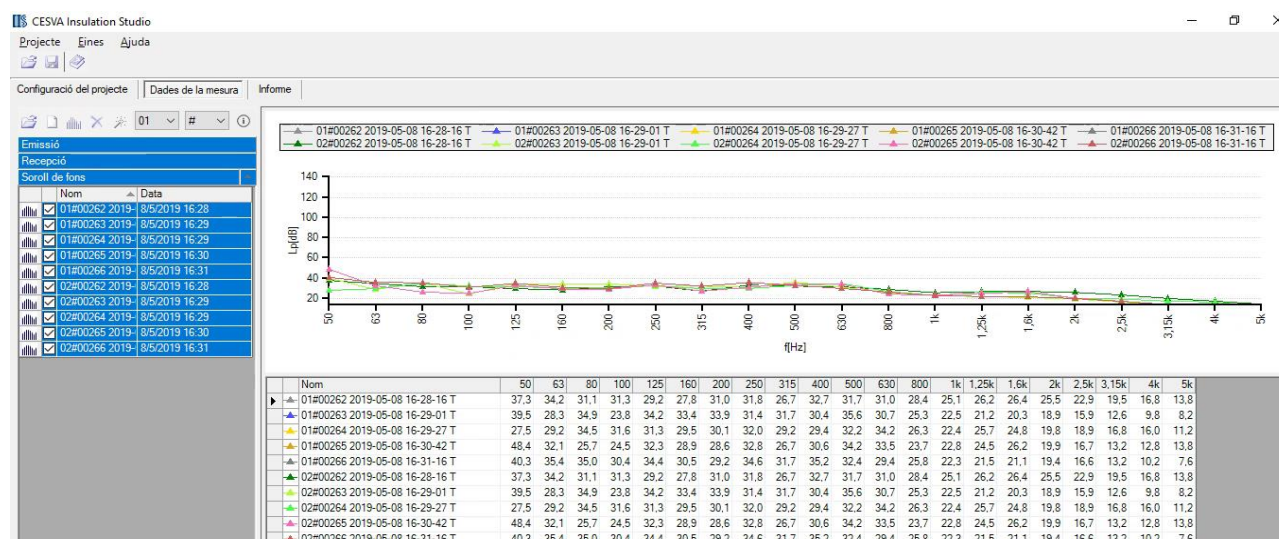


Figura 20. Primera mesura d'aïllament acústic al soroll acústic. Dades de soroll de fons extrems del sonòmetre amb la corresponent representació gràfica de la freqüència (Hz) respecte la pressió acústica mesurada (dB).

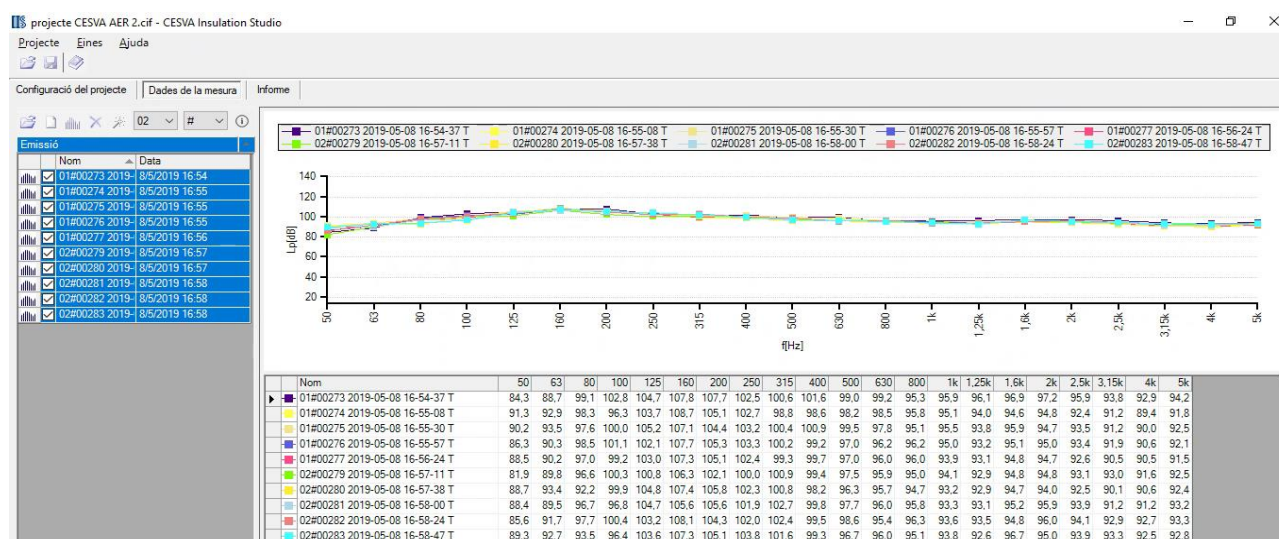


Figura 21. Segona mesura d'aïllament acústic al soroll acústic. Dades d'emissió extrems del sonòmetre amb la corresponent representació gràfica de la freqüència (Hz) respecte la pressió acústica mesurada (dB).

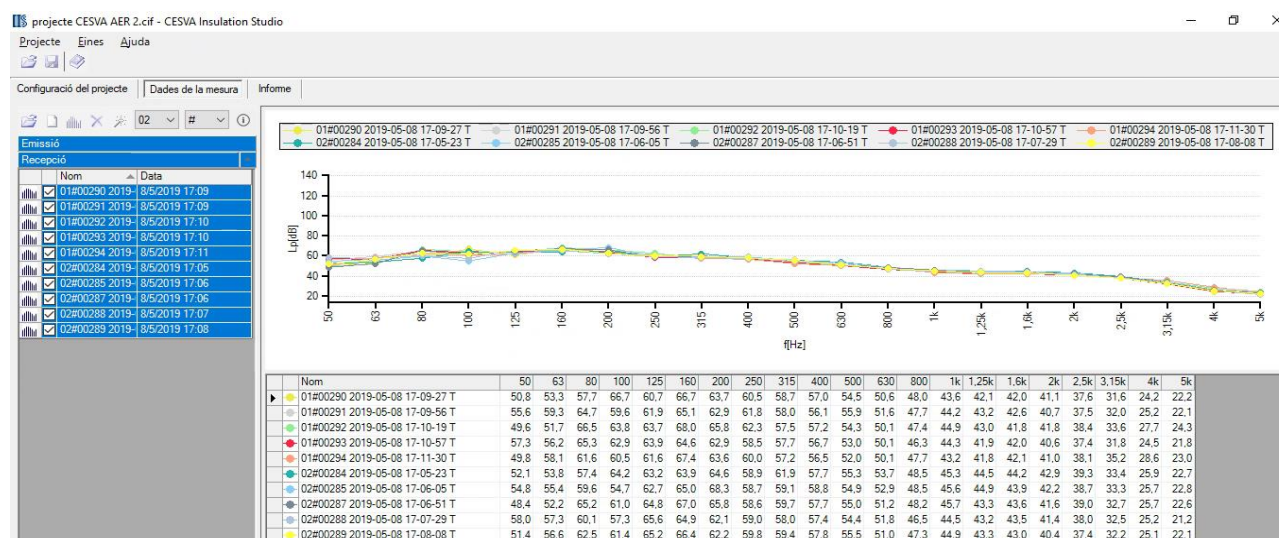


Figura 22. Segona mesura d'aïllament acústic al soroll acústic. Dades de recepció extrems del sonòmetre amb la corresponent representació gràfica de la freqüència (Hz) respecte la pressió acústica mesurada (dB).

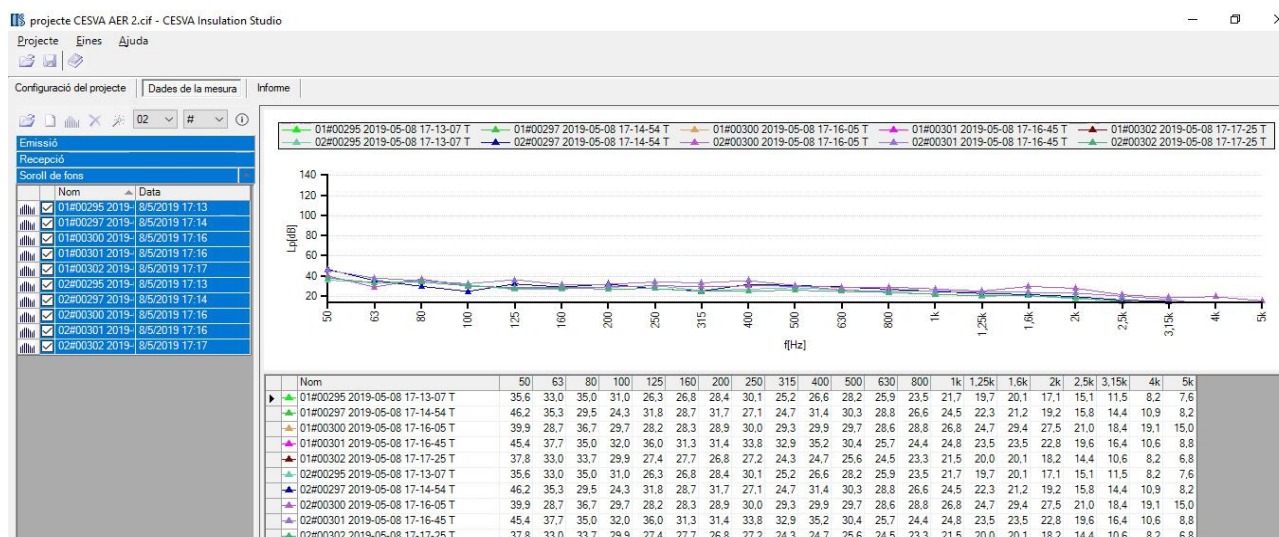


Figura 23. Segona mesura d'aïllament acústic al soroll acústic. Dades de soroll de fons extrems del sonòmetre amb la corresponent representació gràfica de la freqüència (Hz) respecte la pressió acústica mesurada (dB).

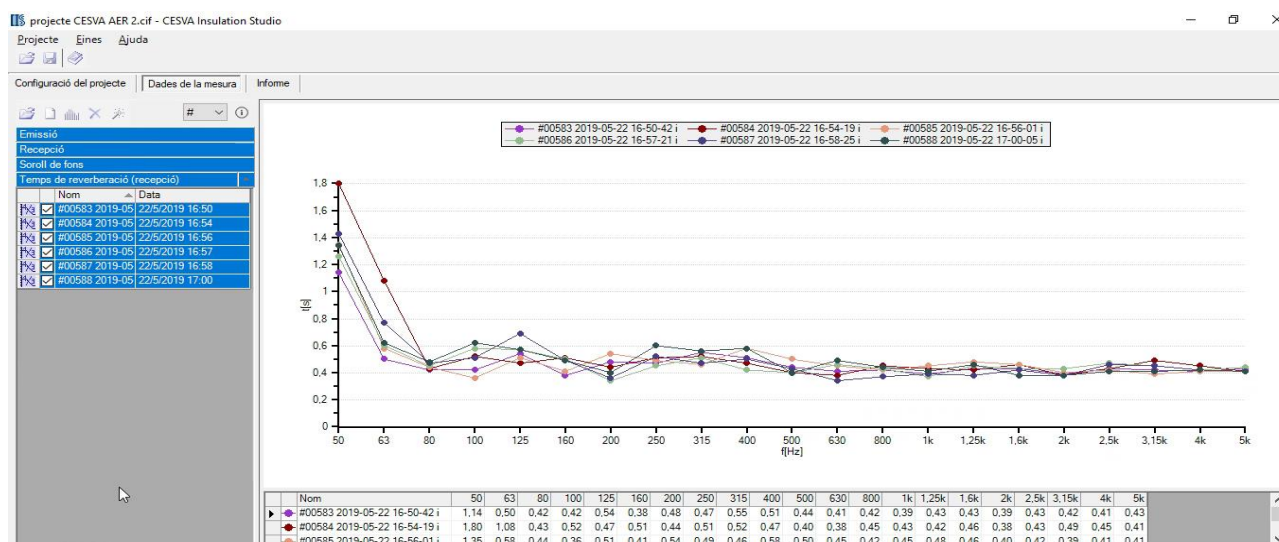


Figura 24. Primera mesura d'aïllament acústic al soroll acústic. Dades de temps de reverberació extrems del sonòmetre amb la corresponent representació gràfica de la freqüència (Hz) respecte temps de mesura (s).

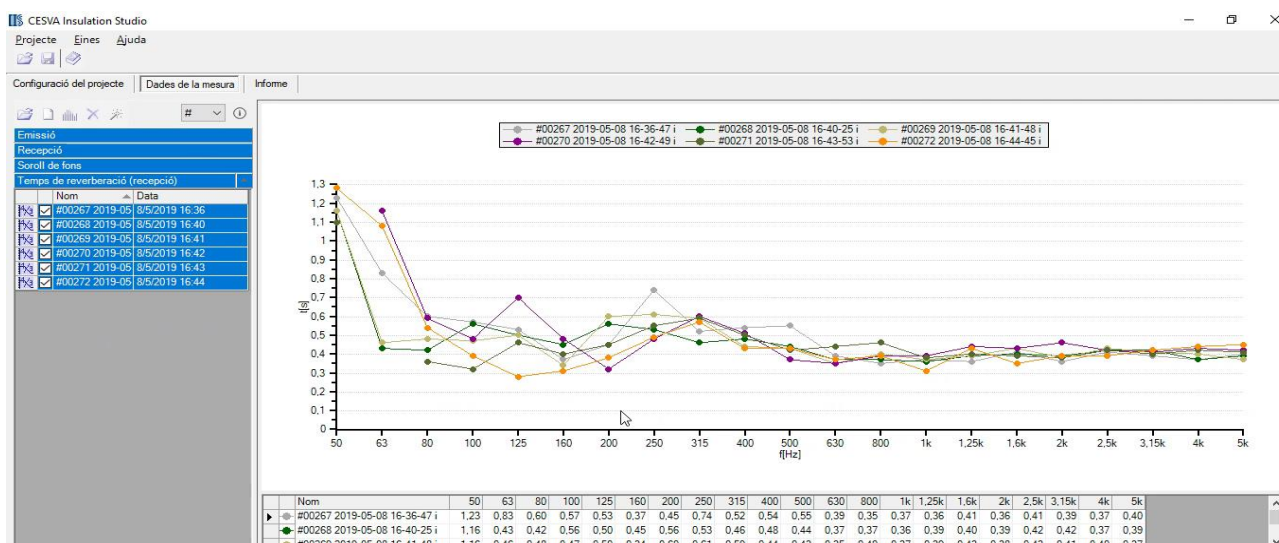


Figura 25. Primera mesura d'aïllament acústic al soroll acústic. Dades de temps de reverberació extrems del sonòmetre amb la corresponent representació gràfica de la freqüència (Hz) respecte temps de mesura (s).

Annex II: Certificats de verificació dels instruments de mesura

EXPEDIENTE NÚMERO 19/31702577

INFORME DE ENSAYO

Medición del índice de directividad de una fuente dodecaédrica

Referencia del peticionario: ENTIDAD INTEGRAL DE CONTROL, S.L.

Dirección cliente: C/Sant Francesc, 16 – Oficina 22.
43003 Tarragona (Tarragona)

Equipo ensayado: Fuente Sonora Dodecaédrica

EQUIPO	MARCA	MODELO	S/N
Fuente sonora dodecaédrica	CESVA	BP012	T244449
Amplificador de potencia	CESVA	AP602	T242216

Técnico: Arnau Mas Martin

Norma Aplicada:

UNE-EN ISO 10140-5:2011 "Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 5: Requisitos para instalaciones y equipos de ensayo".

UNE-EN ISO 16283-1:2015 "Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción".

Fecha de emisión: Bellaterra, 19 de marzo de 2019

Carles Sexmilo
Jefe Departamento de Acústica
Electrical and Electronics
LGAI Technological Center S.A.

Los resultados se refieren, exclusivamente, a la muestra, producto o material librado al Laboratorio, tal como se informa en el apartado de material recibido, y ensayado en las condiciones indicadas en la/s norma/s citada/s en este documento.
La reproducción del presente documento, sólo está autorizada si se hace en su totalidad.
Esta es la primera página del documento el cual consta de 17 páginas.

CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN

Número 19/34516839-V

Página 1 de 1



LGA Technological Center, S.A. (APPLUS)
OAVM nº 02-OV-0005

Ronda de la Font del Carme, s/n
08193 Bellaterra
T +34 93 567 20 50
F +34 93 567 20 01
metrologia@applus.com
www.applus.com

INSTRUMENTO SONÓMETRO

SOLICITANTE ENTIDAD INTEGRAL DE CONTROL, S.L.

DIRECCIÓN C/Sant Francesc, 16 Oficina 22
43003 TARRAGONA (Tarragona)

TIPO DE ACTUACIÓN Ensayos de verificación periódica conforme a la Orden ITC/2845/2007.

IDENTIFICACIÓN	Sonómetro	Micrófono	Preamplificador
Marca	CESVA	CESVA	CESVA
Modelo	SC420	C-140	PA020
Número de serie	T242973	13428	0352
Código	ACU-1 i 2		

CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS	Tipo/Clase
	1
	Nivel de referencia 94,0 dB
	Rango de medida 23,7 - 138,2 dB
	Resolución 0,1 dB

FECHAS	Verificación	Válido hasta
	2019-03-22	2020-03-22

(si antes no hay una operación de reparación que obligue a superar una verificación después de reparación o modificación)

RESULTADO VERIFICACIÓN FAVORABLE

Números de precinto

PRECINTADO 1, entre carcasas parte superior --

SIGNATARIO/S AUTORIZADO/S:

Responsable Técnico Inspector

Annex III: Informes de les mesures d'aïllament al soroll acústic

Diferència de nivells estandarditzats mesurats segons la Norma ISO 16283-1
Mesurament in situ de l'aïllament a soroll aerí entre recintes

Client :

Data d'assaig : dimarts, 28 maig de 2019

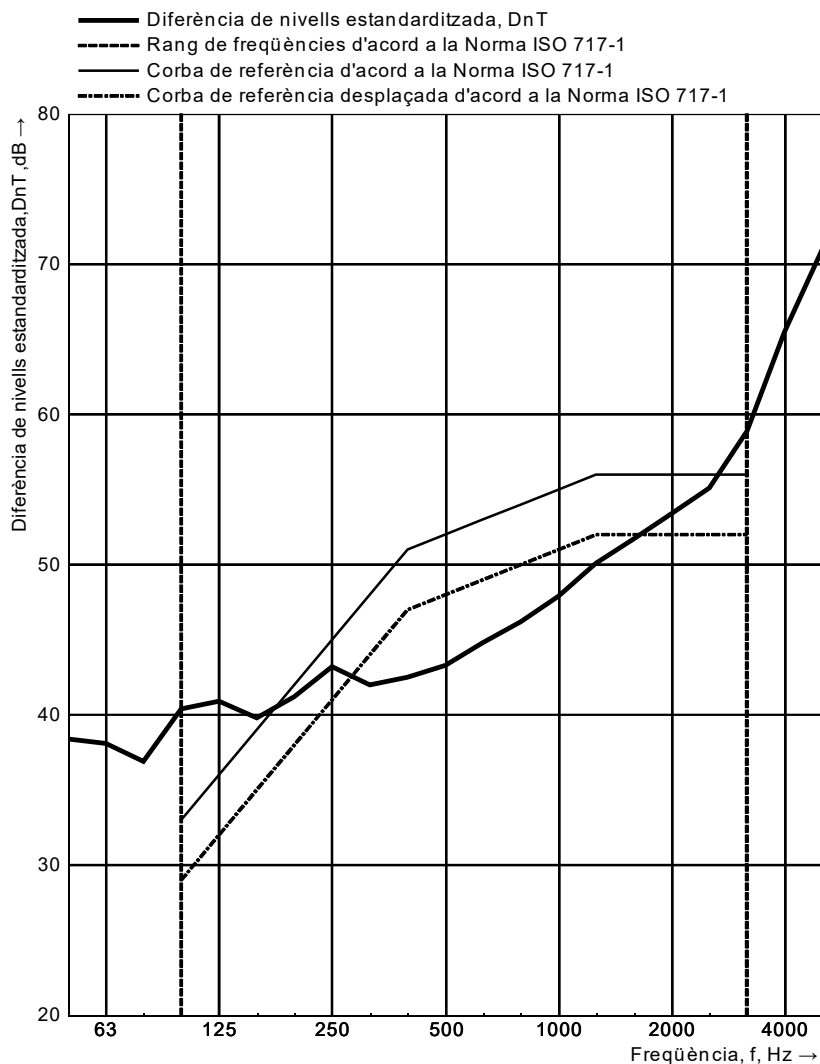
Descripció de la instal·lació de mesura :

Àrea de separació comuna : 10,00 m²

Volum recinte emissor : 40,00 m³

Volum recinte receptor : 40,00 m³

Freqüència f Hz	DnT un terç d'octava dB
50	38,4
63	38,1
80	36,9
100	40,4
125	40,9
160	39,8
200	41,2
250	43,2
315	42,0
400	42,5
500	43,3
630	44,8
800	46,2
1000	47,9
1250	50,1
1600	51,7
2000	53,4
2500	55,1
3150	58,9
4000	65,5
5000	71,0



Classificació d'acord amb la Norma ISO 717-1 :

$DnT_{w(C;C_{tr})} = 48 (0 ; -2) \text{ dB};$

$C_{50-3150} = 0 \text{ dB}; \quad C_{50-5000} = 1 \text{ dB}; \quad C_{100-5000} = 1 \text{ dB};$

Evaluació basada en la mesura in situ
utilitzant els resultats obtinguts per un
mètode d'enginyeria :

$C_{tr,50-3150} = -3 \text{ dB}; \quad C_{tr,50-5000} = -3 \text{ dB}; \quad C_{tr,100-5000} = -2 \text{ dB};$

N. d'informe d'assaig :

Nom de l'institut d'assaig :

data : dimarts, 28 maig de 2019

Signatura :

Diferència de nivells estandarditzats mesurats segons la Norma ISO 16283-1
Mesurament in situ de l'aïllament a soroll aerí entre recintes

Client :

Data d'assaig : dimarts, 28 maig de 2019

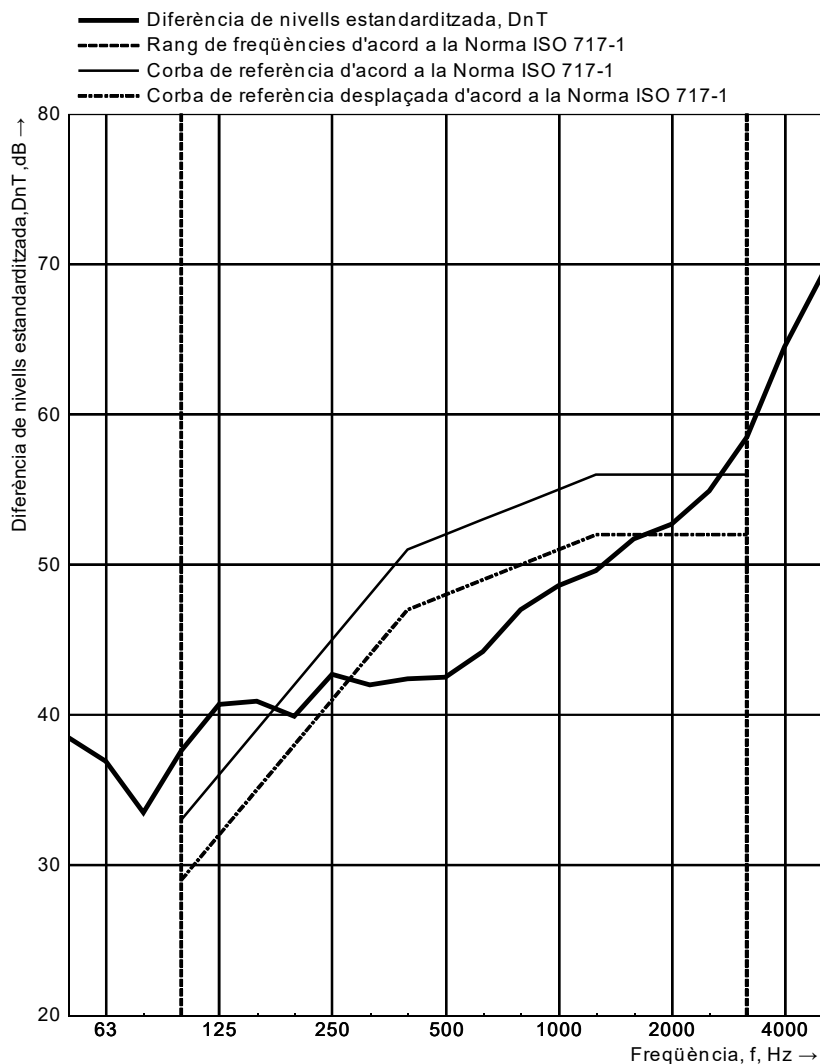
Descripció de la instal·lació de mesura :

Àrea de separació comuna : 10,00 m²

Volum recinte emissor : 40,00 m³

Volum recinte receptor : 40,00 m³

Freqüència f Hz	DnT un terç d'octava dB
50	38,5
63	36,9
80	33,5
100	37,6
125	40,7
160	40,9
200	39,9
250	42,7
315	42,0
400	42,4
500	42,5
630	44,2
800	47,0
1000	48,6
1250	49,6
1600	51,7
2000	52,7
2500	54,9
3150	58,5
4000	64,5
5000	69,3



Classificació d'acord amb la Norma ISO 717-1 :

DnT,w(C;Ctr) = 48 (0 ; -2) dB;

C₅₀₋₃₁₅₀ = 0 dB; C₅₀₋₅₀₀₀ = 1 dB; C₁₀₀₋₅₀₀₀ = 1 dB;

Evaluació basada en la mesura in situ
utilitzant els resultats obtinguts per un
mètode d'enginyeria :

C_{tr,50-3150} = -3 dB; C_{tr,50-5000} = -3 dB; C_{tr,100-5000} = -2 dB;

N. d'informe d'assaig :

Nom de l'institut d'assaig :

data : dimarts, 28 maig de 2019

Signatura :