



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escola Politècnica Superior de Gandia

Mesura i comparació acústica d'un grup d'esglésies de la
Comunitat Valenciana.

Treball Fi de Grau

Grau en Enginyeria de Sistemes de Telecomunicació, So i Imatge

AUTOR/A: Román Valdés, Eva María

Tutor/a: Redondo Pastor, Francisco Javier

CURS ACADÈMIC: 2022/2023

RESUM

Des del seu inici, les esglésies han sigut temples cristians construïts principalment per al culte religiós. Allí es llegeixen i s'interpreten les sagrades escriptures, el retor predica el sermó i celebra l'Eucaristia davant els fidels. Tenint en compte les limitacions de l'aparell fonador humà i el volum dels recintes, a més del material de construcció utilitzat, la intel·ligibilitat de la paraula queda limitada. De fet, en l'actualitat, quasi totes compten amb reforç de megafonia.

En este treball es pretén obtindre la resposta a l'impuls, el temps de reverberació i informació sobre la intel·ligibilitat, entre altres paràmetres acústics. D'esta manera serà valorada l'adequació acústica dels espais per al fi que s'utilitzen, que solen ser religiosos i musicals, sense l'equip de reforç.

Paraules clau: Acústica de sales; església; resposta a l'impuls; mesura acústica; anàlisi

ABSTRACT

Since their beginnings, churches have been Christian temples built primarily for religious worship. There the sacred scriptures are read and interpreted, the preacher preaches the sermon and celebrates the Eucharist before the faithful. Considering the limitations of the human phonatory apparatus and the volume of the enclosures, as well as the construction material used, the intelligibility of speech is limited. In fact, nowadays, almost all of them have public address reinforcement.

The aim of this work is to obtain impulse response, reverberation time and intelligibility information, among other acoustic parameters. In this way, the acoustic suitability of the spaces for the purpose for which they are used, which are usually religious and musical, without the reinforcement equipment, will be assessed.

Keywords: room acoustics; church; impulse response; acoustical measurement; analysis

ÍNDIX

1. INTRODUCCIÓ	4
1.1 Hipòtesi	5
1.2 Objectius.....	5
1.3 Metodologia	5
2. INTRODUCCIÓ A L'ACÚSTICA DE SALES	6
2.1 Elements que condicionen el so en un recinte	6
2.1.1 Propagació del so en un recinte tancat	6
2.1.2 So reflectit	7
2.1.3 Percepció subjectiva de les primeres reflexions: ecos	8
2.1.4 Eco flotant	8
2.1.5 Modes propis d'una sala	8
2.1.6 Balanç energètic sonor	9
2.1.7 Nivell de pressió sonora	9
2.2 Teoria per a l'estudi del so en un recinte.....	10
2.2.1 Teoria estadística	10
2.2.2 Teoria geomètrica.....	11
2.2.3 Teoria ondulatoria	11
2.3 Paràmetres de qualitat en acústica de sales	11
2.3.1 Criteri temporal	11
2.3.2 Criteri energètic.....	14
2.3.3 Intel·ligibilitat	15
3. MESURA DE LA RESPOSTA A L'IMPULS	19
3.1 Instrumentació	19
3.2 Procediment <i>in situ</i>	19
3.3 Obtenció de paràmetres acústics	20
4. ESGLÉSIES MESURADES	20
4.1 Església de la Nostra Senyora de l'Assumpció, Biar (Alacant).....	23
4.2 Església de la Immaculada, Sant Vicent del Raspeig (Alacant).....	24
4.3 Església de Sant Joan Baptista, Beneixama (Alacant).....	25
4.4 Església de la Nostra Senyora de l'Assumpció, Aiora (València)	26
4.5 Església de Sant Josep, Cofrents (València).....	27
4.6 Església de Sant Miquel Arcàngel, Xalans (València).....	28
4.7 Església de Santa Catalina Màrtir, Xarafull (València)	29
4.8 Església de la Nostra Senyora de l'Assumpció, Teresa de Cofrents (València).....	30

4.9	Església de Sant Nicolau de Bari, Grau de Gandia (València)	31
5.	ANÀLISI ACÚSTICA COMPARATIVA I EXPOSICIÓ DE DADES	32
5.1	Taules globals comparatives paràmetres acústics.....	32
5.1.1	Temps de reverberació (TR_{mid}).....	32
5.1.2	Calidesa (BR).....	33
5.1.3	Brillantor (Br).....	34
5.1.4	Claredat de la veu (C_{50}).....	35
5.1.5	Claredat musical (C_{80}).....	35
5.1.6	%ALCons	36
5.1.7	RASTI.....	37
5.2	Valoració general.....	38
6.	CONCLUSIONS	40
7.	BIBLIOGRAFIA.....	41

1. INTRODUCCIÓ

Les esglésies han evolucionat al llarg de la història de moltes maneres. Són temples construïts per a predicar la paraula de Deu, però és molt difícil entendre-la si un s'allunya massa, si s'alça massa la veu, si la vocalització no és òptima i fins i tot sense cap d'estes situacions, la comunicació en una església és difícil. Un dels motius a destacar és la seua grandària, cosa que, amb el pas del temps, les ha donat més i més importància. En alguns casos per implicar poder econòmic o proximitat a Deu. Este augment en el volum ha anat incrementat també la problemàtica acústica que tenen, principalment en el temps de reverberació (*TR*) i la intel·ligibilitat.

Estos paràmetres són els principals que es tenen de referència per caracteritzar i valorar una sala. Encara que en este estudi, es parteix de la resposta a l'impuls, a partir de la qual s'obté el temps de reverberació. Donat que el temps de reverberació és fruit de les reflexions de les ones amb les superfícies que contornegen la sala, són importants les seues característiques, si són absorbents o reflectants i la forma que donen al recinte. També és un factor influent el volum i la forma de les parets i els sostres, en els cas de moltes esglésies es troben recintes d'altures, llargàries i amplàries generoses, a més de formes abovedades als sostres. Quant als materials, en moltes predomina la pedra i cobra importància en alguns casos el marbre. La longitud d'ona junt amb estes condicions fan que el temps de reverberació varie segons la freqüència i tinga tendència a disminuir segons augmenta la freqüència.

L'acústica de les esglésies ha sigut un tema interessant per arquitectes, músics i teòrics de l'acústica al llarg dels segles. Les esglésies llueixen grans espais i formes arquitectòniques úniques i han sigut model de referència quant a dimensió i forma per aconseguir condicions òptimes per la música i la paraula.

Desde las Iglesias paleocristianas de Roma (s. II – s. VI), se tenía consciencia del sonido que se creaba en ciertos espacios debido a sus características; en este caso, el carácter duro de las basílicas debido a los muros pétreos, grandes y vacías, provocó que se crear una música determinada para ellas. (Díaz, 2019: 15).

La construcció de les primeres esglésies es basaba en la basílica romana «Sus armoniosas proporciones, sus techos de madera, no excesivamente altos y la ausencia de grandes paños de muros ciegos y desnudos, contribuyeron a unas buenas condiciones acústicas interiores» (Sendra, 1996: 1). Malauradament, la fusta augmentava la gravetat de la crema de moltes esglésies de l'Edat Mitjana i es van adoptar mesures que canviaren l'acústica dels temples «sustitución de los techos planos de madera de las primeras basílicas cristianas -absorbentes, elásticos, difusores- por las bóvedas pétreas de la iglesia medieval -reflectantes, de dura superficie, focalizadoras-» (Sendra, 1996: 1). En estes esglésies el sermó es donava en llatí, llengua amb predominança de vocals que els temps de reverberació alts dificultaven la seua comprensió. Segons esmenta Díaz (2019), es van aprofitar al màxim les qualitats reverberants de la pedra de manera conscient. L'ús de formes còncaues allarga encara més el temps de reverberació. Així, es troba que a l'interior de les catedrals gòtiques es crea un ambient místic i espiritual. Però per tal que la paraula de deu arribara al màxim de persones possible, el ritme de la llengua es va haver d'adaptar per aconseguir que s'entenguera «con un ritmo solemne más adecuado a esta arquitectura» (Díaz, 2019: 15) donant lloc als cants gregorians. El primer Renaixement no suposa una gran millora en l'acústica de les esglésies segons Sendra (1996) que afirma que no és que Alberti no coneguera els beneficis dels sostres de fusta i les conseqüències dels sostres voltats, sinó que «en su opinión, y en la de su generación, el problema acústico en las Iglesias no constituía una prioridad» (Sendra, 1996).

1.1 Hipòtesi

Considerem com hipòtesi la pròpia observació personal prèvia: les esglésies tenen llargs temps de reverberació que impedeixen una bona comunicació i comprensió de la paraula. A més, pareixen similars si no iguals unes d'altres. Fins el moment, l'experiència personal no m'ha deixat experimentar un cas diferent.

Es suma a la hipòtesi pròpia, la dels retors encarregats de cadascuna de les esglésies. Llevat del retor de Sant Nicolau de Bari (Grau de Gandia), la resta de retors consideren dolenta i preocupant l'acústica de les seues esglésies per a les celebracions cristianes en les que parlen i els fidels no són capaços de comprendre'ls bé. Però sí consideren els seus temples apropiats per a música sacra, de la que ja s'han celebrat diversos concerts en quasi totes elles.

1.2 Objectius

L'objectiu general d'este treball és comparar l'acústica de diferents esglésies de la Comunitat Valenciana. D'altra banda, els objectius específics són:

- Reafirmar o desmentir la hipòtesi
- Mesurar un mínim de deu esglésies
- Trobar esglésies de diferents grandàries i de diferents temps de construcció
- Identificar les condicions que determinen els resultats de les mesures

1.3 Metodologia

Són diversos els tipus de metodologia utilitzats en este treball. D'una banda, l'inici i tria del tema ve per l'observació subjectiva de la qualitat de la percepció del so en les esglésies. Això du a voler demostrar quantitativament el que es detecta, que és difícil entendre el que es diu en una església pel temps que es manté cada so en la sala i que fa que perdure i es mescle en el següent. És així que s'aplica una metodologia quantitativa mesurant i interpretant els resultats objectius per verificar la hipòtesi percebuda de manera subjectiva.

Per a realitzar les mesures, és necessari el permís dels responsables dels llocs que comença contactant amb diferents retors i encarregats d'esglésies. En un poble és més fàcil conèixer els retors i que ells mateixos coneguen als dels pobles propers. És així com comentant el projecte i les necessitats a un parell s'ha pogut aconseguir el contacte d'altres que, a més, al pertànyer a pobles xicotets i s'encarreguen de més d'una església. Per a demanar el permís se'ls explica el que es farà, la duració i les necessitats. En alguns casos pot necessitar-se la firma de documents de compromís amb el patrimoni i similars.

Com que no hi ha una normativa específica per a la presa de mesures en esglésies, es pren la normativa UNE-EN ISO 3382, referent a la mesura de paràmetres acústics en recintes. En la primera part està dedicada a sales d'espectacles i, encara que les esglésies no encaixen del tot amb la definició d'espectacle, és la part amb la que més encaixa el cas pràctic d'este treball. Es prenen les recomanacions descrites en dit document com a referència per a realitzar el treball de camp amb algunes modificacions que simplifiquen el procés per la metodologia, la instrumentació utilitzada i per les necessitats de l'estudi.

Encara que l'objectiu principal és realitzar una comparativa simultània dels resultats de cada paràmetre i cada lloc, s'aprofita per fer una anàlisi del conjunt de cada localització i del conjunt

de les localitzacions. Amb les dades recollides es treballa amb Excel i Matlab per realitzar els càlculs i representacions que ajuden a trobar les similituds, tendències i diferències entre els recintes mesurats.

Respecte als edificis, es pot trobar informació a les pàgines web de turisme dels municipis on es localitzen i en alguns casos, segons si ha sigut recentment l'aniversari de la parròquia o de l'església, les parròquies tenen llibres d'informació sobre la construcció, l'estil i les mesures.

És interessant també buscar informació dels edificis per situar-los temporal i estilísticament. Les pàgines web de turisme dels municipis o les pròpies parròquies, en alguns casos també ofereixen informació de la grandària i obres realitzades o pendents de realitzar. Així, es pot obtenir informació també del que si s'ha valorat l'acústica i poden ajudar a entendre l'evolució que pot haver suposat.

2. INTRODUCCIÓ A L'ACÚSTICA DE SALES

En el següent apartat es tracta de comprendre els factors que condicionen el comportament del so en un recinte i els paràmetres que permeten valorar la seua qualitat acústica.

2.1 Elements que condicionen el so en un recinte

Per a l'estudi del comportament del so en un recinte, es parteix d'una font de so omnidireccional. El so produït es propaga lliurement fins que troba un obstacle, que per al cas són les superfícies que limiten el recinte. El so quan arriba a les parets es reflecteix.

Esta reflexió pot ser especular, que la incidència de l'ona sonora sobre la superfície radie part de la seua energia, o difusa, que es disperse el so a causa de la reflexió sobre una superfície de textura rugosa amb més punts d'incidència. Com a conseqüència d'estes reflexions, es produeixen interferències entre les ones provocant la formació de modes propis. A més com el procés de múltiples reflexions fa que el so no desaparega instantàniament una vegada la font deixa d'emetre, açò provoca la reverberació o persistència del so.

També pot observar-se difracció si l'ona troba un obstacle o una obertura més xicotet que la seua longitud d'ona (λ), l'ona segueix la seua trajectòria. En canvi, si l'obstacle és major o igual que λ provoca una zona d'ombra i en el cas d'una obertura, produeix una nova font sonora puntual secundària radiant ones esfèriques.

Però cal dir que no tot el so es reflecteix: una part es absorbidada. Així, les ones planes es propaguen constantment mentre que la seua esfèrica disminueix amb el quadrat de la distància de la font. La dissipació d'energia baix la forma d'un despreniment de calor i una pèrdua de calor per un factor α que és la constant d'atenuació del mitjà. L'atenuació afecta més a les freqüències altes donada la longitud d'ona.

2.1.1 Propagació del so en un recinte tancat

Un oient ubicat en un punt percep l'energia radiada per una font en un recinte tancat de dues maneres diferents: una part de l'energia arriba directament (so directe), com a l'espai lliure i

l'altra part la rep de manera indirecta (so reflectit), fruit de les reflexions sobre les superfícies que limiten el recinte.

El so directe depèn de la distància entre l'oient i la font sonora. En canvi, la percepció de les reflexions depèn del camí recorregut pel raig sonor i l'absorció que tenen els materials que ha trobat al camí. Així, a major és la distància recorreguda i a major capacitat d'absorció dels materials, menor és l'energia que arriba.

2.1.2 So reflectit

El so reflectit és fruit de les reflexions que pateix una ona sonora quan incideix sobre les diferents superfícies del recinte, és a dir, quan l'ona troba un obstacle que no pot traspasar ni vorejar.

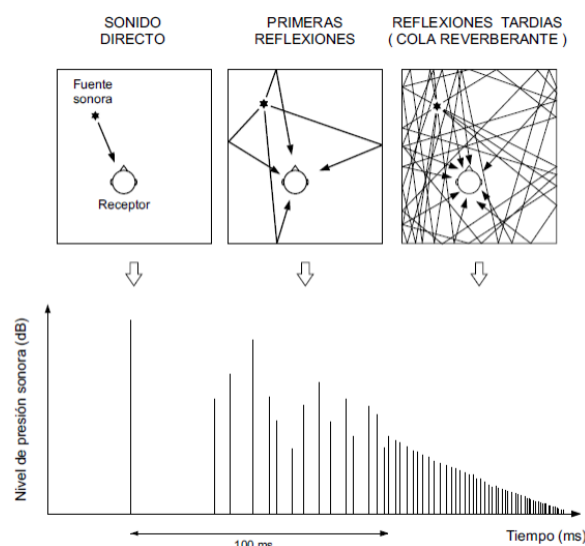
L'anàlisi de les ones reflectides deixa diferenciades dos zones: la que rep les reflexions immediatament després del so directe anomenades primeres reflexions (*early reflections*) i la que rep reflexions tardanes que constitueixen la cola reverberant.

- Primeres reflexions:

Generalment, les primeres reflexions tenen un valor energètic major que la cola reverberant. Es tracta de les immediatament següents al so directe, es consideren les d'ordre $n \leq 3$ (n és la quantitat de superfícies en les que ha incidit el raig sonor). En mesures temporals, es consideren aquelles que arriben en els primers 100 ms després del so directe, encara que este valor pot variar segons la forma i el volum del recinte. La geometria que formen les superfícies condiciona el recorregut d'estes reflexions.

- Reflexions tardanes o cola reverberant:

Estes reflexions són les d'ordre $n > 3$. Al xocar amb diferents superfícies, els rajos es dispersen i així és com la densitat de rajos en cola reverberant és major que la de les primeres reflexions. En canvi, el nivell sonor és menor en esta zona degut a la major distància recorreguda i a l'absorció trobada en cada superfície en la que ha incidit.

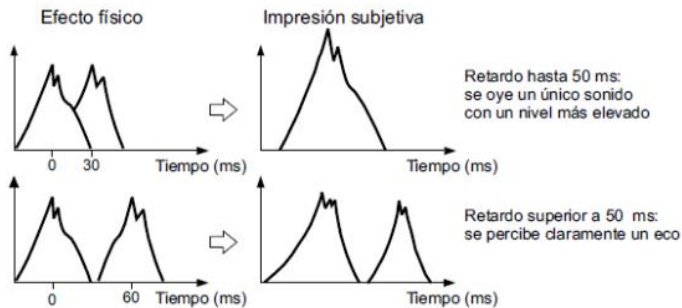


Il·lustració 1: Ecograma associat a un receptor amb indicacions del so directe, les primeres reflexions i la cola reverberant. Font: ResearchGate

En la Il·lustració 1 s'observa un exemple de so directe, primeres reflexions i cola reverberant en una representació temporal de l'arribada i el recorregut dels rajos.

2.1.3 Percepció subjectiva de les primeres reflexions: ecos

Les persones són incapaces de diferenciar com sons diferents els sons que arriben en un temps inferior a 50 ms després del so directe. Estes reflexions augmenten la intel·ligibilitat d'un missatge oral i augmenten la sensació de sonoritat. La Il·lustració 2 representa l'arribada energètica del so en temps.

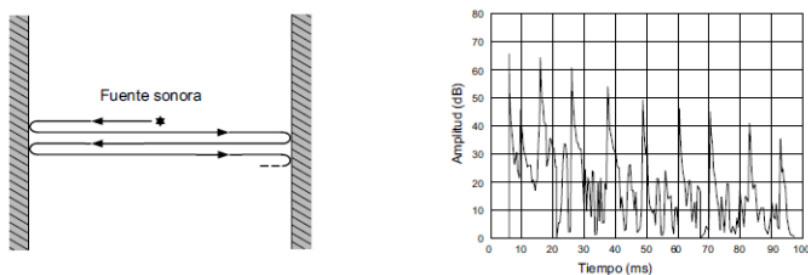


Il·lustració 2: Ecos. Font: Diseño acústico de espacios arquitectónicos

En canvi, una ona de nivell elevat rebuda 50 ms més tard que el so directe s'interpreta com una repetició i perjudica una bona intel·ligibilitat. Esta reflexió tardana s'anomena eco i els seus 50 ms de retard són equivalents a una distància recorreguda pel raig de 17 m major que la del so directe, aproximadament.

2.1.4 Eco flotant

L'eco flotant (*flutter eco*) és una repetició múltiple, en un interval de temps breu d'un so generat per una font sonora. Es dona quan la font es troba entre dos parets paral·leles llises molt reflectants (veure Il·lustració 3). Provoca la recepció del soroll en temps iguals interferint amb el so directe. D'esta manera, el cervell les interpreta estes freqüències com tons particulars. Com a resultat, el so deixa de rebre's com estèreo, arriba amb un efecte metàl·lic i cobert per molta reverberació i açò provoca fatiga auditiva.



Il·lustració 3: Eco flotant originat per dos superfícies paral·leles i corba ETC per un eco flotant. Font Diseño acústico de espacios arquitectónicos

2.1.5 Modes propis d'una sala

L'aparició d'ones estacionàries o modes propis d'una sala es dona per les interferències (constructives i deconstructives) provocades per la combinació de les ondes incidents i reflectides en la sala. Cada mode propi s'associa a una freqüència i es caracteritza per un nivell de pressió sonora SPL que pot variar segons el punt a considerar.

El so característic d'una sala, el que s'anomena coloració, es deu a la concentració d'energia que provoca la presència de tots ells. La quantitat de modes propis és il·limitada i la seua densitat augmenta amb la freqüència. A partir de certa freqüència, la coloració deixa de tindre sentit ja que la gran quantitat de modes propis és equivalent a la seua inexistència donat que deixa d'haver concentracions discretes d'energia. La coloració es dona en espais xicotets com són estudis de gravació. De fet, quan es tracta de recintes grans com teatres, la coloració és pràcticament nul·la i no es considera en el disseny.

Calcular-los resulta complex, però en els casos de sales paral·lelepipèdiques amb superfícies reflectants totalment la fórmula de Rayleigh determina:

$$f_{k,m,n} = 172,5 \sqrt{\left(\frac{k}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{m}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n}{L_z}\right)^2}$$

On L representa les dimensions de la sala en metres i k, m i n poden prendre qualsevol valor sencer.

Segons la trajectòria de les ones, els modes d'un recinte rectangular es poden classificar en:

- Modes axials: resultat de la reflexió d'una ona estacionària fluctuant entre dos superfícies $(n_x, 0, 0)$, $(0, n_y, 0)$ y $(0, 0, n_z)$.
- Modes tangencials: resultat de la reflexió d'una ona estacionària entre quatre superfícies $(n_x, n_y, 0)$, $(n_x, 0, n_z)$ y $(0, n_y, n_z)$.
- Modes oblics: resultat de la reflexió d'una ona estacionària de sis o més superfícies que es dona quan la longitud de la sala coincideix amb la longitud d'ona d'una freqüència, que es dona una ona estacionària obliqua (n_x, n_y, n_z) .

2.1.6 Balanç energètic sonor

Una font sonora que radia energia de manera contínua arriba a un estat d'equilibri després d'un període de temps transitori en el que l'absorció acústica de les superfícies del recinte d'igualta amb l'aportació energètica de la font. La continuïtat de la font fa que l'energia total (directa + reflectida) en qualsevol punt de la sala augmente progressivament fins al punt d'equilibri.

De manera similar, quan la font sonora s'atura bruscament, el nivell de pressió sonora disminueix progressivament fins que desapareix o es confon amb el soroll de fons de la sala. La velocitat amb la que el so s'atenua depèn del grau d'absorció de les superfícies del recinte: quanta major siga l'absorció, més ràpida serà l'atenuació.

2.1.7 Nivell de pressió sonora

Generalment s'acostuma a treballar amb els nivells de pressió sonora SPL. Així, la pressió sonora total en un punt qualsevol d'un recinte s'obté a partir de la contribució de pressions del so directe i de les reflexions.

$$SPL = 20 \log \frac{p}{p_{ref}}$$

La zona en la que predomina el camp directe s'anomena zona de camp directe. Es troben en esta zona els punts més pròxims a la font sonora i en ella el nivell de pressió sonora L_D , disminueix 6

dB cada vegada que es duplica la distància a la font, con si estiguera en espai lliure. D'altra banda, la zona en la que el que predomina és el so reflectit s'anomena camp reverberant. El nivell de pressió sonora en esta zona L_R és constant.

La distància crítica D_c és aquella en la que el camp directe i el camp reverberant tenen el mateix nivell de pressió sonora $L_D = L_R$.

$$D_c = 0,14\sqrt{QR}$$

$Q \equiv$ factor de directivitat de la font sonora en una direcció determinada

$R \equiv$ constant de la sala en m^2

$$R = \frac{S_t \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

$S_t \equiv$ superfície total de la sala en m^2

$\bar{\alpha} \equiv$ coeficient mig d'absorció de la sala

2.2 Teoria per a l'estudi del so en un recinte

Per tal de determinar els beneficis o perjudicis de la reverberació i els factors influents, sobre la percepció de la paraula i la música, s'utilitzen diferents teories per estudiar l'acústica d'un recinte: estadística, geomètrica, ondulatòria i psicoacústica. Es veuen les tres primeres.

2.2.1 Teoria estadística

Es considera que l'energia de la font sonora i les ones reflectides es propaguen en totes les direccions possibles dins el recinte. Com que tant la paraula com la música són senyals irregulars, es considera que les fases de les ones són aleatòries i així es simplifica l'estudi no tenint en compte el retràs de fase entre ones.

Les combinacions de reflexions que arriben a un punt del recinte, són fenòmens aleatoris amb propietats comunes que permeten estudiar l'acústica basada en la teoria de la probabilitat. El mètode estadístic obté conclusions objectives basades en dades dels resultats quantitius del procés característiques per la seua senzillesa. Així, s'accepta la fórmula de Sabine per a determinar el temps de reverberació, atenent a les propietats acústiques del recinte, el que suposa una caiguda de 60 dB en el nivell d'energia:

$$TR = 0,161 \frac{V}{A_{tot}} = 0,161 \frac{V}{S_{tot} \cdot \bar{\alpha}}$$

$V \equiv$ Volum de la sala

$A_{tot} \equiv$ Absorció de la sala

$S_{tot} \equiv$ Superfície de la sala

$\bar{\alpha} \equiv$ Coeficient d'absorció mig ponderat

Esta teoria es aplicable en casos en els que la distribució de l'energia sonora siga uniforme, cas que no es dona en gran quantitat de recintes. Així doncs, s'estudien les superfícies interiors dels recintes que provoquen les irregularitats.

2.2.2 Teoria geomètrica

Els materials i les formes de les superfícies dels recintes poden provocar fortes reflexions. Estes reflexions tenen efectes negatius sobre la percepció del so provinent d'una font com poden ser irregularitats en la distribució de l'energia sonora i l'eco.

La teoria geomètrica estudia el recorregut de les ones segons les regles òptiques per estudiar la direcció de la propagació de les ones, encara que només és aplicable quan la superfície reflectant és gran o quan les freqüències d'anàlisi siguen mitges o altes. Segons les regles òptiques, l'angle d'incidència i el de reflexió d'un raig que incideix en una superfície és igual donat que es suposa una font imaginària simètrica.

En el cas de superfícies corbes, les reflexions es concentren o es dispersen, segons si la superfície és còncava o convexa, respectivament. Els sostres voltats distribueixen els rajos reflectits segons la relació entre el radi de la volta i les dimensions del recinte i de diferent manera depenent de la freqüència.

La teoria geomètrica serveix per a valorar els problemes acústics d'un recinte ja existent i per a realitzar una bona planificació prèvia de la distribució sonora d'un projecte nou.

2.2.3 Teoria ondulatòria

A diferència de les teories anteriors, l'ondulatòria pot aplicar-se sobre la realitat sense haver d'idealitzar la situació. Esta teoria s'utilitza com a ferramenta per a l'estudi de la influència del dimensionat i les proporcions del recinte en la seua qualitat acústica.

A través de la teoria ondulatòria, s'estudien els modes propis descrits en l'apartat 2.1.5 com a resultat de l'equació d'ones.

2.3 Paràmetres de qualitat en acústica de sales

Els investigadors han estudiat diferents paràmetres acústics i han determinat uns valors de referència per a l'avaluació de les qualitats subjectives i la valoració de les característiques d'un recinte segons siga la seua destinació.

Encara que el temps de reverberació ha estat considerat el paràmetre fonamental descriptiu de l'acústica d'un recinte, els valors que s'obtenen a partir de la resposta impulsiva resulten més detallat.

2.3.1 Criteri temporal

Partint de la corba tonal, s'han estudiat paràmetres que poden relacionar-se perfectament amb la impressió subjectiva. Amb ells, el temps de reverberació (TR) i el *Early Decay Time* (EDT) es pot quantificar el grau de vivesa de la sala. A partir del temps de reverberació es pot obtenir també la calidesa i la brillantor. Estos paràmetres quantifiquen la resposta del recinte en freqüències baixes i la riquesa d'harmònics, respectivament.

2.3.1.1 Temps de reverberació (TR)

El temps de reverberació s'entén des del punt subjectiu com el temps que un arriba a ser inaudible. En aspectes tècnics s'entén, per a una freqüència determinada, com el temps que, una vegada la font deixa d'emetre, la pressió sonora cau 60 dB. Carrión (1998) determina que un recinte amb un temps de reverberació alt es denomina "viu" i amb un valor de dit paràmetre baix, "apagat" o "sord".

En la majoria de casos és difícil aconseguir una reducció de 60 dB a l'emetre amb una font per a mesurar el temps de reverberació degut al soroll de fons. Per esta raó, es consideren els valors T20 i T30, que prenen la caiguda de 20 i 30 dB, respectivament, a partir de -5 dB. Es considera que la caiguda es exponencial, el que en logarítmic és lineal, fins a 60 dB, de manera que es multipliquen els temps mesurats per 3 i per 2, respectivament, per obtindre el temps de caiguda dels 60 dB que determinen el temps de reverberació.

La relació entre el temps de reverberació amb la freqüència és que disminueix a mesura que augmenta la freqüència. D'altra banda, es relaciona el temps de reverberació amb el volum del recinte i amb l'absorció dels materials Sabine proposa, a partir de la teoria estadística, les següents expressions:

$$TR = 0,161 \frac{V}{A_{tot}}$$

$V \equiv$ Volum de la sala

$A_{tot} \equiv$ Absorció de la sala

S'entén que una sala està formada per varies superfícies de diferents materials, així, l'absorció total és la suma de les absorcions:

$$A_{tot} = \bar{\alpha}S = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i$$

$S \equiv$ Superfície total

$\bar{\alpha} \equiv$ coeficient d'absorció mig ponderat

L'absorció de cada material es defineix com la relació entre les energies absorbida i incident:

$$\alpha = \frac{\text{Energia absorbida}}{\text{Energia incident}}$$

Un coeficient d'absorció 0 correspon a un material totalment reflectant i un amb coeficient 1 a un material totalment absorbent. El valor α depèn de les característiques físiques del material i de la freqüència.

Segons l'activitat per a la que la sala estiga destinada s'estableixen uns intervals per al temps de reverberació recomanats per a sala ocupada que es recullen en la Taula 1:

Taula 1: Marges en funció de l'ús per a sala ocupada

TIPUS DE SALA	TR _{mid} (s) SALA OCUPADA
Sala de conferències	0,7 – 1,0
Cine	1,0 – 1,2
Sala polivalent	1,2 – 1,5
Teatre d'òpera	1,2 – 1,5
Sala de concerts (música de càmera)	1,3 – 1,7
Sala de concerts (música simfònica)	1,8 – 2,0
Església/catedral (òrgan i cant coral)	2,0 – 3,0
Locutori de radio	0,2 – 0,4

TR_{mid} és la mitjana del temps de reverberació de les bandes de freqüència de 500 Hz i 1000 Hz. És comú que es faci referència a este valor quan la recomanació n'indique només un.

2.3.1.2 Early decay time (EDT)

De la mateixa manera que el paràmetre T20 mesura la caiguda de 20 dB i després la multiplica per obtenir el temps de la caiguda de 60 dB, l'EDT multiplica per 6 la mesura de la caiguda de 10 dB. En el cas ideal que hi haguera una perfecta difusió del so en un recinte, donat per una geometria regular i una distribució uniforme dels materials que l'envolten, l'EDT coincidiria amb el TR. En casos com dos recintes junts o recintes amb balcons que tenen profunditat, entre altres, la corba de decaïment energètic pot presentar dobles pendents en alguns punts de la sala.

Si en realitzar unes mesures es detecta que en alguns punts l'EDT és menor que el TR, es té un indicador d'un punt on la percepció és més apagada. Per garantir una bona difusió del so, el valor dels EDT_{mid} de les bandes de 500 Hz i 1 kHz han de ser del mateix ordre que el TR_{mid}.

2.3.1.3 Calidesa (Bass Ratio, BR) i brillantor (Br)

La vivesa de la sala es valora a partir temps de reverberació de les freqüències mitges. Per valorar la resposta de la sala a freqüències baixes i altes.

La calidesa (BR) representa la riquesa de la sala a freqüències baixes, Carrión (1998). Pot mesurar-se objectivament amb la següent expressió que relaciona el temps de reverberació de les freqüències baixes i amb les mitges:

$$BR = \frac{TR_{125} + TR_{250}}{TR_{500} + TR_{1000}}$$

La percepció subjectiva respecte a la música es descriu com càlida, dolça i suau. Per a sales de concert, Beranek (1996) recomana un valor entre 1,10 i 1,25 si TR_{mid} = 2,2 s i si TR_{mid} = 1,8 s, amplia l'interval fins a 1,45 s, encara que per a paraula seria més adequat un valor BR=1.

D'altra banda, la brillantor (Br) determina claredat i expressivitat, Carrión (1998). Pot mesurar-se objectivament amb una expressió similar a l'anterior, però en esta ocasió amb les freqüències altes:

$$Br = \frac{TR_{2000} + TR_{4000}}{TR_{500} + TR_{1000}}$$

La brillantor indica també la riquesa en harmònics musicals de la sala, a més de la claredat. Beranek (1996) recomana un valor $Br \geq 0,87$ comptant en que no superarà la unitat per la pèrdua d'energia. Per la seua part, Arau (2008) recomana que siga el més alt possible i sempre major a 0,8.

2.3.2 Criteri energètic

Per estudiar les característiques del so reflectit en una sala i la seua relació eamb el so directe s'utilitzen paràmetres que s'obtenen a partir de l'energia i que depenen del temps, Carrión (1998). Es calcula a partir dels paràmetres C_t que indiquen la relació entre l'energia rebuda fins l'instant t , incloent el so directe, i l'energia que arriba després de t . S'expressa en escala logarítmica i per a la música és comú utilitzar els valors mitjos de les bandes de 500 Hz, 1 kHz i 2 kHz.

$$C_t = \frac{\text{Energia fins } t}{\text{Energia a partir de } t}$$

Es pot mesurar l'efectivitat de les primeres reflexions a través del C_{50} i el C_{80} per a paraula i música, respectivament.

2.3.2.1 Claredat de la veu (C_{50})

El paràmetre C_{50} defineix la intel·ligibilitat de la paraula i de la música cantada. Es tracta del valor C_t particularitzat per a $t=50$ ms. Es calcula en cada banda de freqüència des de 125 Hz a 4000 Hz, Carrión (1998).

Segons Marshal per obtindre un únic valor es pot utilitzar el *Speech Average* a partir de C_{50} .

$$\begin{aligned} C_{50}(\text{speech average}) &= 0,15 C_{50}(500\text{Hz}) + 0,25 C_{50}(1 \text{ kHz}) + 0,35 C_{50}(2 \text{ kHz}) \\ &\quad + 0,25 C_{50}(4 \text{ kHz}) \end{aligned}$$

Els factors aplicats a cada freqüència es determinen segons la influència que té cada banda en la intel·ligibilitat de la paraula. A més, recomana que el valor $C_{50} > 2$ dB i quant més es supere major serà la sonoritat i la intel·ligibilitat de la paraula, Carrión (1998).

2.3.2.2 Claredat musical (C_{80})

El paràmetre C_{80} indica el grau de separació apreciable entre sons musicals. És la particularització anterior per a un valor de $t=80$ ms. Es calcula en les mateixes bandes de freqüència que la claredat de la paraula, en cada banda de freqüència entre 125 Hz i 4000 Hz, Carrión (1998).

En este cas la tria de $t=80$ ms es deu a que en la música, les reflexions dins d'este interval s'integren amb el so directe i fa que augmente la claredat musical. Per obtindre un únic valor representatiu es treballa amb el *music average*:

$$C_{80}(\text{music average}) = \frac{C_{80}(500\text{Hz}) + C_{80}(1 \text{ kHz}) + C_{80}(2 \text{ kHz})}{3}$$

A major és C_{80} major diferència hi ha entre l'energia immediata i la tardana, llavors el so és més clar. Les reflexions pròximes a l'oient són moltes més que les generals que es produeixen en la resta de la sala.

En este cas Marshall recomana que es trobe dins l'interval entre -2 dB i 2 dB si es tracta d'una sala ocupada. D'altra banda, Beranek (1996) proposa l'interval $-4 < C_{80} < 0$ dB per a sales buides.

2.3.2.3 Definició (D)

És la relació entre l'energia del so que arriba en els primers 50 ms (so directe i primeres reflexions) i el total de l'energia rebuda. Es realitzen els càlculs per a les bandes de freqüència entre 125 Hz i 4 kHz:

$$D = \frac{\text{Energia fins 50 ms}}{\text{Energia total}}$$

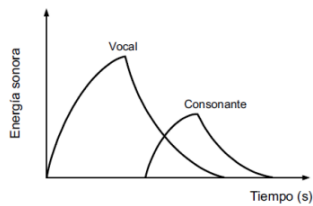
Un recinte amb D xicotet es considera poc íntim i es dona perquè el temps de reverberació és massa alt. Arau (2008) determina que el valor per a una sala destinada a la música ha de ser $D < 0,5$, per a la paraula, en canvi $D \geq 0,7$ i per a òpera $0,5 < D < 0,7$.

2.3.3 Intel·ligibilitat

La intel·ligibilitat és definida com «la capacidad de entendimiento de las palabras pronunciadas por un interlocutor a través de un determinado canal de transmisión» (Sendra 1997: 25), interpretant que dels tres elements principals de la cadena de comunicació (emissor, canal i receptor), en acústica el canal és el recinte i les seues característiques.

En la intel·ligibilitat de la paraula hi ha factors que depenen de les persones com són la vocalització i projecció de l'emissor i la familiaritat del receptor amb la temàtica, a més de la seua salut auditiva. Però també hi valors més fàcils de quantificar amb mesures com són els nivells i l'espectre d'emissió i la distància entre els participants. En canvi, la reverberació, que no depèn d'estes persones, resulta un factor principal, Sendra (1997).

Emetre vocals requereix de més temps que emetre consonants, raó per la qual «las vocales constituyen el llamado régimen permanente del habla, mientras que las consonantes se asocian al régimen transitorio» (Carrión, 1998: 45). Es pot relacionar la duració amb el nivell de pressió sonora, que és 12 dB major en el cas de les vocals que en el de les consonants. A més, la distribució freqüencial de les vocals es troba majorment en les freqüències baixes mentre que les consonants es troben en les altes. Així doncs, Carrión (1998) relaciona estes característiques de les lletres amb la intel·ligibilitat donat que les consonants poden quedar emmascarades, total o parcialment (veure Il·lustració 4), per les vocals i llavors afirma que la comprensió del missatge oral depèn de la percepció de les freqüències altes, corresponents a les consonants més que de les vocals, que les considera redundants.



Il·lustració 4: Evolució temporal de l'energia sonora corresponent a l'emissió d'una vocal seguida d'una consonant en recinte tancat. Font *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*

Açò, junt amb les diferències esmentades respecte a les consonants provoca un solapament temporal de la vocal sobre la consonant següent.

2.3.3.1 STI

L'índex STI (*Speech Transmission Index*) va ser definit per Houtgast Steeneken. Quantifica la intel·ligibilitat de la paraula amb valors entre 0 i 1. El primer indica nul·la intel·ligibilitat i el segon una òptima. El que valora realment són les pèrdues d'intel·ligibilitat a partir de la senyal vocal, mesurant la seua degradació.

Obtindre l'STI resulta complex. Es cèl·lula a partir de la reducció dels diferents índex de modulació "m" de la veu degut a la existència de reverberació i soroll de fons d'una sala.

1. $m(F_0, F_m)$: Es defineixen 7 freqüències portadores, les centrals de les bandes d'octava normalitzades entre 125 Hz i 8000 Hz i es modulen amb les següents freqüències:
2. $\left(\frac{S}{N}\right)_{ap}(F_0, F_m)$: Es mesura la reducció de l'índex de modulació per cada senyal utilitzada. Es trunquen els valors obtinguts per a que estiguen entre -15 dB i 15 dB.
3. $\overline{\left(\frac{S}{N}\right)_{ap}}(F_0)$: Es calcula la relació senyal-soroll aparent associada a cada índex.
4. $\overline{\left(\frac{S}{N}\right)_{ap}}$: Es dedueix de la relació senyal-soroll aparent mig global considerant el diferent efecte de cada banda sobre la intel·ligibilitat.
5. Finalment l'índex es calcula:

$$STI = \frac{\overline{\left(\frac{S}{N}\right)_{ap}} + 15}{30}$$

2.3.3.2 RASTI

Es tracta del càlcul ràpid, la simplificació, de l'índex STI. Es redueix la quantitat de freqüències modulades. Així, $m(F_0, F_m)$ passa de ser 98 a 9 i la expressió final és la mateixa que el pas 5 de l'STI. Es classifica la valoració de l'índex com es mostra en la taula següent (veure Taula 2):

Taula 2: Relació entre el RASTI i la qualitat de la sala

STI/RASTI	QUALIFICACIÓ
0 – 0,29	Dolenta
0,3 – 0,45	Pobre
0,46 – 0,59	Acceptable
0,6 – 0,75	Bona
0,75 – 1	Excel·lent

2.3.3.3 %ALCons

Una manera de mesurar la intel·ligibilitat la va experimentar l'investigador holandés V. M. A. Peutz tenia dos parts. En la primera realitzava una prova en la que s'emetien *logatomos*¹ i els receptors prenen nota del que escoltaven, Carrión (1998). El percentatge d'errades es coneix com %ALCons (*Articulation Loss of Consonants*), per tant, la intel·ligibilitat és millor a menor valor té este paràmetre. La segona part de l'estudi consistia en trobar una llei matemàtica per evitar haver de fer estes proves a partir d'altres paràmetres acústics. Finalment ho va aconseguir a partir de la teoria estadística amb els paràmetres del TR i la diferència de nivell (en dB) entre el camp directe (L_D) i el camp reverberant (L_R) que segueix la següent expressió:

$$L_D - L_R = 10 \log\left(\frac{QR}{r^2}\right) - 17$$

on Q que és el factor de directivitat de la font pren un valor de 2 al generalitzar per a la veu humana, r és la distància a la font.

Com que TR i la diferència $L_D - L_R$ depenen del coeficient mig d'absorció $\bar{\alpha}$, també es pot calcular l'%ALCons a partir del $\bar{\alpha}$, del volum V i de la superfície total amb les següents expressions, dependent de la distància r entre emissor i receptor:

$$\%ALCons = \frac{200 r^2 TR^2}{VQ} \quad (\text{si } r \leq 3,16 D_c)$$

$$\%ALCons = 9 TR \quad (\text{si } r > 3,16 D_c)$$

on D_c és la distància crítica.

Igualment, existeix una relació entre el RASTI i l'%ALCons:

$$RASTI = -0'1845 * \ln(\%ALCons) + 0'9482$$

La següent taula es pot fer servir per valorar la intel·ligibilitat a partir de l'índex STI suposant que els interlocutors són nadius, sense problemes en la pronúncia ni en la comprensió. Es relacionen els valors STI per intervals amb el que suposaria amb síl·labes, amb paraules i amb frases.

Taula 3: Qualificació de la intel·ligibilitat per oients nadius

STI	Intel·ligibilitat segons IEC 60268-16	Intel·ligibilitat de síl·labes (%)	Intel·ligibilitat de paraules (%)	Intel·ligibilitat de frases (%)
0 – 0,3	Dolenta	0 – 34	0 – 67	0 – 89
0,3 – 0,45	Pobre	34 – 48	67 – 78	89 – 92
0,45 – 0,6	Acceptable	48 – 67	78 – 87	92 – 95
0,6 – 0,75	Bona	67 – 90	87 – 94	95 – 96
0,75 – 1	Excel·lent	90 – 96	94 – 96	96 – 100

Pot observar-se en la Taula 3 que l'estimació dels percentatges de intel·ligibilitat augmenten segons cobren significat les cadenes utilitzades per a les proves. Es deu a la relació que fan les persones amb la llengua i el context.

¹ Paraules sense sentit formades per consonant-vocal-consonant.

En l'actualització de la norma de 2020 la classificació és alfabètica de “U” a “A+”, de pitjor a millor intel·ligibilitat segons els valors numèrics i amb exemples i comentaris afegits de com seria (veure Taula 4).

Taula 4: Examples between STI qualification bands and typical applications . Font: UNE

Category	Nominal STI value	Type of message information	Examples of typical uses (for natural or reproduced voice)	Comment
A+	> 0,76		Recording studios	Excellent intelligibility but rarely achievable in most environments
A	0,74	Complex messages, unfamiliar words	Theatres, speech auditoria, parliaments, courts, Assistive Hearing Systems (AHS)	High speech intelligibility
B	0,7	Complex messages, unfamiliar words		
C	0,66	Complex messages, unfamiliar words	Theatres, speech auditoria, teleconferencing, parliaments, courts	High speech intelligibility
D	0,62	Complex messages, familiar words	Lecture theatres, classrooms, concert halls	Good speech intelligibility
E	0,58	Complex messages, familiar context	Concert halls, modern churches	High quality PA systems
F	0,54	Complex messages, familiar context	PA systems in shopping malls, public buildings offices, VA systems, cathedrals	Good quality PA systems
G	0,5	Complex messages, familiar context	Shopping malls, public buildings offices, VA systems	Target value for VA systems
H	0,46	Simple messages, familiar words	VA and PA systems in difficult acoustic environments	Normal lower limit for VA systems
I	0,42	Simple messages, familiar context	VA and PA systems in very difficult spaces	Limited intelligibility
J	0,38		Not suitable for PA systems	
U	< 0,36		Not suitable for PA systems	

These values should be regarded as minimum target values.

NOTE 1 Perceived intelligibility relating to each category also depend on the frequency response at each listening position.

NOTE 2 The STI values refer to measured values in sample listening positions or as required by specific application standards.

La norma actualitzada també classifica els valors contemplant possibles pèrdues d'audició degudes a l'edat (veure Taula 5).

Taula 5: Adjusted intelligibility qualification tables for normal listeners and people over 60 years old with hearing loss. Font UNE

STI label category	Normal listeners (Standard STI)	Older listeners PTA=15 dB	Older listeners PTA=20 dB	Older listeners PTA=30 dB
bad – poor	0,30	0,42	0,47	0,51
poor – fair	0,45	0,57	0,62	0,66
fair – good	0,60	0,72	cannot be achieved	cannot be achieved
good – excellent	0,75	cannot be achieved	cannot be achieved	cannot be achieved

To achieve an intelligibility equivalent to an STI of 0,45 for an older listener with PTA=15 dB, the transmission system needs to achieve an STI of 0,57.

NOTE 1 For details on categories, refer to ISO 9921.

NOTE 2 Typical normal listeners have a PTA of between 0 dB and 5 dB

3. MESURA DE LA RESPOSTA A L'IMPULS

En el següent apartat es descriuen les necessitats i activitats realitzades en el treball de camp durant la presa de mesures i el tractament de les dades obtingudes.

3.1 Instrumentació

A continuació es mostra un llistat del material que s'ha utilitzat.

- Fujitsu Lifebook A555 amb Cool Edit 2000
- Targeta de so M-AUDIO Fast Track Pro
- Micròfon Behringer ECM8000
- Trípod
- Altaveu Brüel & Kjaer Sound Source Type 4224
- Metro làser Bosch GLM 40

Per a la connexió de la targeta de so amb els dispositius d'eixida i entrada s'han utilitzat cables d'una llargària de 20 m per a major llibertat en la col·locació del micròfon.

3.2 Procediment *in situ*

Donat que la intenció és comparar les dades obtingudes en unes esglésies i en altres, és convenient seguir el mateix procediment en unes i en altres. El procediment que es segueix és el mateix en totes les localitzacions.

Les mesures es realitzen amb la porta tancada, sense gent a l'església més que la persona responsable i una persona ajudant. S'entén que són espais amb molt de valor cultural i econòmic, raó per la qual en alguns casos ha estat present un responsable de l'església i raó també per la que no es mou res del mobiliari ni la decoració, encara que siga eventual com és el cas de la festivitat del Corpus Cristi.

Sobre l'altar de l'església té lloc l'eucaristia, el moment més important de la missa per als catòlics. Seria ideal col·locar l'altaveu sobre l'altar a l'altura d'un home d'estatura mitja, però per respecte es tria posar-lo al centre de l'escaló més alt d'accés al terra del presbiteri on té lloc el sermó.

El micròfon es col·loca en sis posicions diferents en la nau central entre els bancs cobrint la sala en diferents punts a la llarga i també en amplària. Encara que l'altura ideal del micròfon és de 1,2 m AENOR (2010), es col·loca a 1,5 m per guardar distància amb el reposa mans davanter del banc.

Els cables tenen una llargària de 20 m que permet moure el micròfon lliurement situant l'ordinador junt amb la targeta aproximadament al centre de la nau.

Es crea amb el software Cool Edit 2000 un senyal *sinesweep*² i amb el propi programa es crea el processa el seu invers. Este procés només cal realitzar-lo una vegada, en totes les mesures s'utilitzen els mateixos.

Per a cada mesura, el senyal creat es reproduïx a través de l'altaveu amb una potència que omple i s'enregistra amb el micròfon. Amb Cool Edit 2000 es convoluciona la gravació amb el senyal invers del *sinesweep*. Així s'obté la resposta a l'impuls en un arxiu amb extensió *.wav*. A

² Senyal que recorre totes les freqüències

partir d'este arxiu, també es trauen els paràmetres acústics que s'exporten a un full de càlcul per a treballar amb les dades.

Finalment, de les dos persones assistents a les mesures, una recull i l'altra pren les mesures d'altura, amplària i llargària del temple per obtindre el volum aproximadament.

3.3 Obtenció de paràmetres acústics

El programa Cool Edit 2000 permet extraure una taula de cadascuna de les respostes a l'impuls obtingudes. Les taules contenen dades relacionades amb el temps de reverberació i amb l'energia. Es calcula la mitjana de cada valor amb Excel, però només es prenen per a la comparativa les relacionades amb l'energia. Per obtindre el temps de reverberació es processen les respostes a l'impuls amb Matlab i en el mateix programa es realitzen els càlculs relacionats amb dit paràmetre.

En la Il·lustració 2 es mostra la formulació necessària per al càlcul de cada paràmetre:

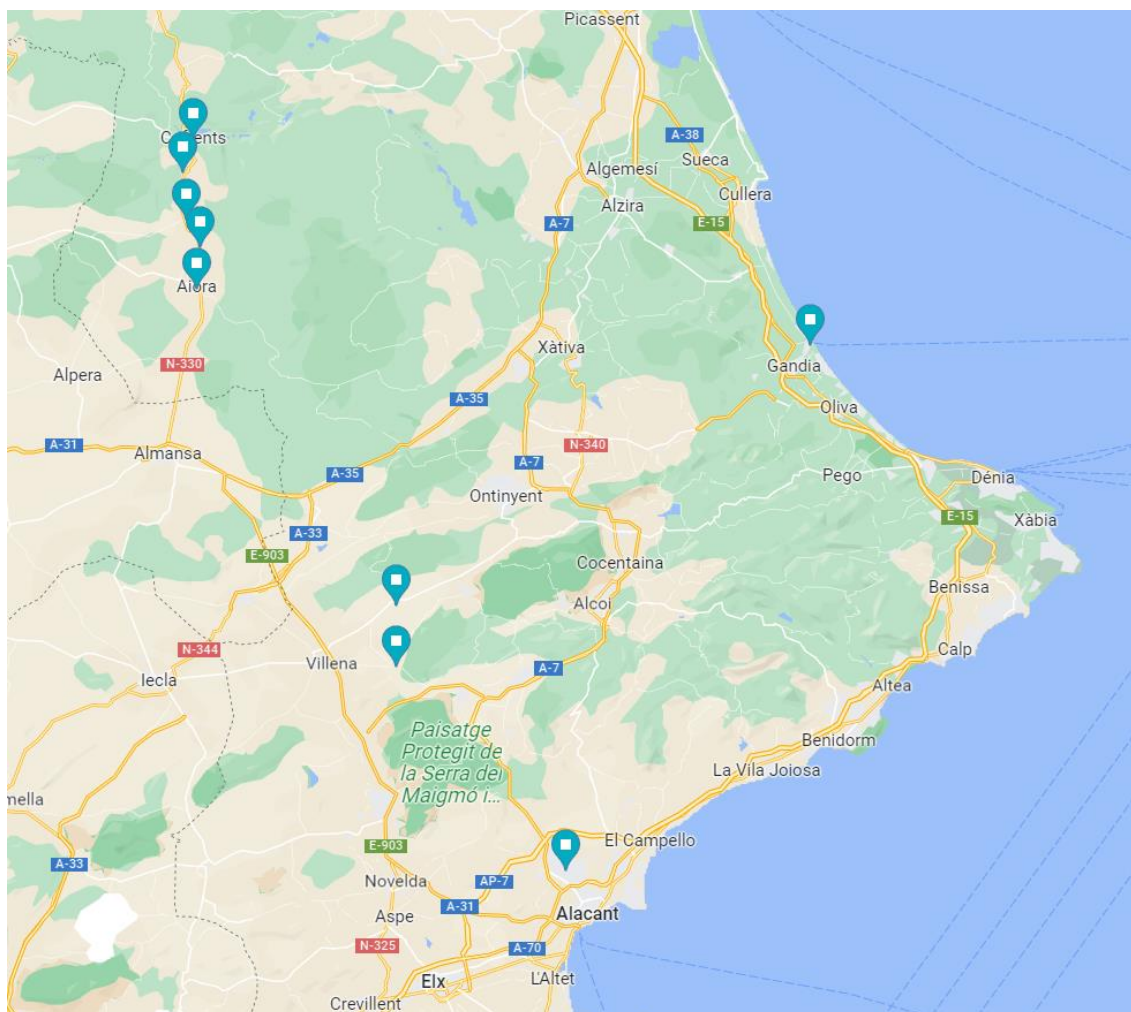
Taula 6: Formulari

Temps de reverberació	$TR_{mid} = \frac{TR_{500Hz} + TR_{1000Hz}}{2}$
Calidesa	$BR = \frac{TR_{125} + TR_{250}}{TR_{500} + TR_{1000}}$
Brillantor	$Br = \frac{TR_{2000} + TR_{4000}}{TR_{500} + TR_{1000}}$
Claredat de la veu	$C_{50}(\text{speech average})$ $= 0,15 C_{50}(500Hz) + 0,25 C_{50}(1 kHz)$ $+ 0,35 C_{50}(2 kHz) + 0,25 C_{50}(4 kHz)$
Claredat musical	$C_{80}(\text{music average})$ $= \frac{C_{80}(500Hz) + C_{80}(1 kHz) + C_{80}(2 kHz)}{3}$
%ALCons	$\%ALCons = \frac{200 r^2 TR^2}{VQ} \quad (\text{si } r \leq 3,16 D_c)$ $\%ALCons = 9 TR \quad (\text{si } r > 3,16 D_c)$
RASTI	$RASTI = -0'1845 * \ln(\%ALCons) + 0'9482$

S'annexen els documents que recullen les taules extretes de Cool Edit 2000, les respostes a l'impuls i els arxius Matlab utilitzats.

4. ESGLÉSIES MESURADES

En el procés de selecció s'han triat esglésies de poblacions relativament xicotetes. Totes elles es troben dins el territori de la Comunitat Valenciana, més concretament en les províncies de València i Alacant. S'han triat estes localitzacions degut a la facilitat que han posat els encarregats per a la realització de mesures per tindre contacte previ al projecte. En la Captura 1 es mostren puntejades les localitzacions de les diferents esglésies mesurades.



Captura 1: Localitzacions

La Taula 7 indica les esglésies estudiades, la seua localització i l'any de construcció. L'últim valor és més bé orientatiu, en alguns casos, respecte a l'antiguitat i l'estil arquitectònic predominant ja que la majoria d'estos temples han sigut modificats amb el pas del temps bé amb ampliacions, bé amb reformes o bé amb restauracions. En tots els casos s'anota la data més representativa.

Taula 7: Dades generals

Nº	Església	Població	Província	Any de construcció
1	Nostra Senyora de l'Assumpció	Biar	Alacant	1696
2	La Immaculada	Sant Vicent del Raspeig	Alacant	1993
3	Sant Joan Baptista	Beneixama	Alacant	1841
4	Nostra Senyora de l'Assumpció	Aiora	València	1628
5	Sant Josep	Cofrents	València	1621
6	Sant Miquel Arcàngel	Xalans	València	1736
7	Santa Catalina Màrtir	Xarafull	València	1689
8	Nostra Senyora de l'Assumpció	Teresa de Cofrents	València	1740
9	Sant Nicolau de Bari	Grau de Gandia	València	1962

Les seues dimensions es mesuren de manera general i aproximada. En el cas de sostres voltats es pren la mesura sobre la part més alta. Es mostren en la següent taula en la que s'identifiquen els temples amb la mateixa numeració i per població (veure Taula 8):

Taula 8: Dimensions

Nº	Població	Alt [m]	Llarg [m]	Ample [m]	Volum [m³]
1	Biar	13,7	26,5	20,1	7301
2	Sant Vicent del Raspeig	19,2	25,0	19,3	9248
3	Beneixama	15,7	37,1	21,5	12523
4	Aiora	13,0	43,0	23,6	13192
5	Cofrents	12,6	25,0	18,1	5687
6	Xalans	11,9	28,9	16,2	5593
7	Xarafull	5,5	20,6	9,9	1122
8	Teresa de Cofrents	12,4	26,5	10,3	3377
9	Grau de Gandia	13,1	32,9	15,0	6450

A continuació es presenten unes fitxes que contenen informació identificadora; una xicoteta descripció i dades sobre la construcció; imatges de l'interior, l'exterior i, en els casos que s'ha trobat, la planta; i les dades mesurades. Una fitxa per cada església.

4.2 Església de la Immaculada, Sant Vicent del Raspeig (Alacant)

Nº	Església	Població	Província	Any de construcció
2	La Immaculada	Sant Vicent del Raspeig	Alacant	1993

La Parròquia Immaculada Concepció de Sant Vicent del Raspeig és la segona de la localitat. El seu estil és contemporani. Des de l'exterior s'aprecia que la seua forma és similar a la d'una nau esportiva, però considerant l'arquitectura eclesiàstica podem esmentar que té una sola nau amb un sostre de volta de canó. Destaca la seua lluminositat natural gràcies a les grans finestres que té. El propi retor comenta el detall que la paret de l'altar no és paral·lela a la paret del fons.



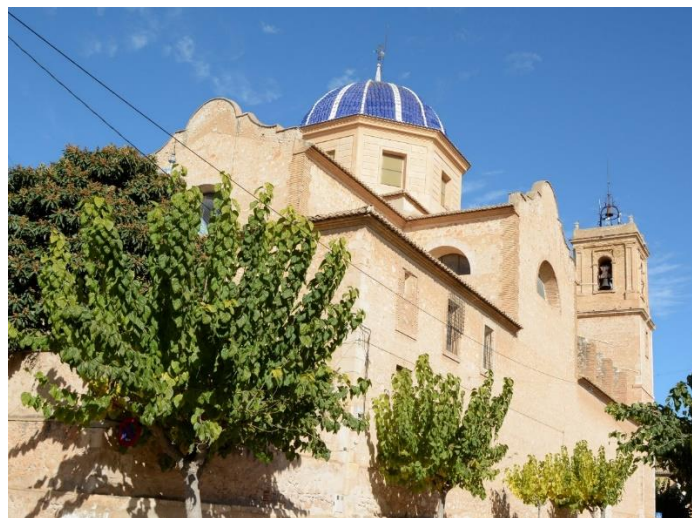
Dimensions	
Alt [m]	19,2
Llarg [m]	25,0
Ample [m]	19,3
Volum [m ³]	9248

Paràmetres acústics	
%ALCons [%]	50
RASTI	0,23
TR _{mid} [s]	5,5662
BR [s]	1,0661
Br [s]	0,9718
C ₅₀ [dB]	-3
C ₈₀ [dB]	-4

4.3 Església de Sant Joan Baptista, Beneixama (Alacant)

Nº	Església	Població	Província	Any de construcció
3	Sant Joan Baptista	Beneixama	Alacant	1841

L'església de Sant Joan Baptista de Beneixama està situada a la plaça de Carles IV en el centre del poble. La seua planta basilical és d'estil neoclàssic, rectangular amb forma de creu llatina. L'església consta de tres naus: una principal acompanyada de dos de menor amplària als seus costats. Les naus laterals tenen xicotetes capelles dedicades a diferents sants. El sostre de la nau té forma de volta de canó amb una cúpula en el creuer. Als peus de l'església, sobre l'entrada hi ha l'espai del que siguera en el seu moment l'orgue i l'espai que hui dia ocupa la coral.



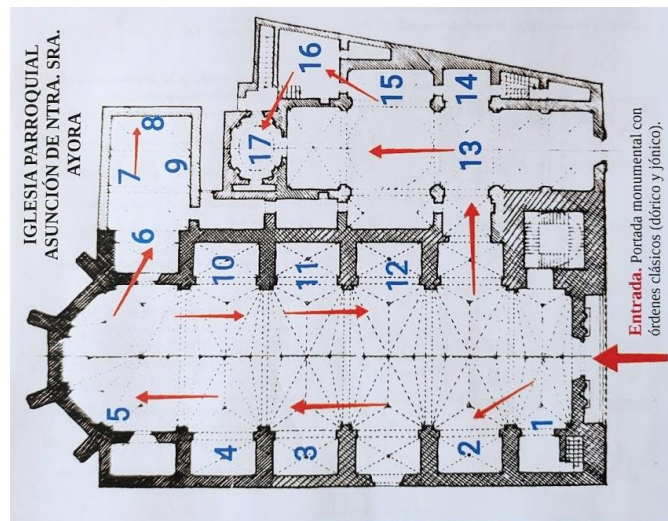
Dimensions	
Alt [m]	15,7
Llarg [m]	37,1
Ample [m]	21,5
Volum [m ³]	12523

Paràmetres acústics	
%ALCons [%]	52
RASTI	0,22
TR _{mid} [s]	5,8763
BR [s]	1,0779
Br [s]	0,9233
C ₅₀ [dB]	-2
C ₈₀ [dB]	-4

4.4 Església de la Nostra Senyora de l'Assumpció, Aiora (València)

Nº	Església	Població	Província	Any de construcció
4	Nostra Senyora de l'Assumpció	Aiora	València	1628

L'església es troba al centre de la població. La seua primera fase va ser entre 1508 i 1577, el que correspon a l'absis vuitat de l'altar i el presbiteri i la volta de creueria que hi ha a sobre. La segona fase es realitza entre 1595 i 1628, el que correspon a la nau central, el campanari i la façana. La construcció d'este temple finalitza amb una tercera fase entre 1693 i 1702 amb una capella barroca.



Dimensions	
Alt [m]	13,0
Llarg [m]	43,0
Ample [m]	23,6
Volum [m ³]	13192

Paràmetres acústics	
%ALCons [%]	56
RASTI	0,21
TR _{mid} [s]	6,4325
BR [s]	1,1083
Br [s]	0,8625
C ₅₀ [dB]	-3
C ₈₀ [dB]	-5

4.5 Església de Sant Josep, Cofrents (València)

Nº	Església	Població	Província	Any de construcció
5	Sant Josep	Cofrents	València	1621

L'església es troba a la plaça Espanya del poble. La seua construcció data de 1621 i es troba sobre el que fou abans la mesquita. La restauració de l'edifici en 1961 va fer desaparèixer els arcs ogivals i contraforts i el sostre voltat.



Dimensions	
Alt [m]	12,6
Llarg [m]	25,0
Ample [m]	18,1
Volum [m ³]	5687

Paràmetres acústics	
%ALCons [%]	27
RASTI	0,34
TR _{mid} [s]	2,9516
BR [s]	1,0446
Br [s]	0,9525
C ₅₀ [dB]	-3
C ₈₀ [dB]	-2

4.6 Església de Sant Miquel Arcàngel, Xalans (València)

Nº	Església	Població	Província	Any de construcció
6	Sant Miquel Arcàngel	Xalans	València	1736

L'església es troba al casc antic del poble als peus del castell. Va ser construïda sobre una mesquita musulmana l'any 1736.



Dimensions	
Alt [m]	11,9
Llarg [m]	28,9
Ample [m]	16,2
Volum [m ³]	5593

Paràmetres acústics	
%ALCons [%]	31
RASTI	0,31
TR _{mid} [s]	3,4540
BR [s]	1,0493
Br [s]	0,9253
C ₅₀ [dB]	-1
C ₈₀ [dB]	-1

4.7 Església de Santa Catalina Màrtir, Xarafull (València)

Nº	Església	Població	Província	Any de construcció
7	Santa Catalina Màrtir	Xarafull	València	1689

L'església es troba al centre de la població. La seua construcció, sobre una antiga mesquita, va finalitzar l'any 1689. És d'ordre dòric i té set capelles als laterals i deu retables.



Dimensions	
Alt [m]	5,5
Llarg [m]	20,6
Ample [m]	9,9
Volum [m ³]	1122

Paràmetres acústics	
%ALCons [%]	45
RASTI	0,25
TR _{mid} [s]	4,9359
BR [s]	1,0337
Br [s]	0,9558
C ₅₀ [dB]	-2
C ₈₀ [dB]	-2

4.8 Església de la Nostra Senyora de l'Assumpció, Teresa de Cofrents (València)

Nº	Església	Població	Província	Any de construcció
8	Nostra Senyora de l'Assumpció	Teresa de Cofrents	València	1740

L'església es troba al centre de la població. La seua construcció data de 1636 i és d'estil neoclàssic, encara que després de la Guerra Civil va patir la destrucció de les seues imatges i el retable major. En 1996 i 1997 es van restaurar el creuer i el presbiteri i les pintures de la cúpula i les imatges dels sants. L'estructura té tres naus que es comuniquen a partir d'arcs de mig punt cobertes amb una volta de canó cadascuna. Sobre el centre del creuer es troba una cúpula i als peus de l'església, sobre l'entrada s'ubica la coral.



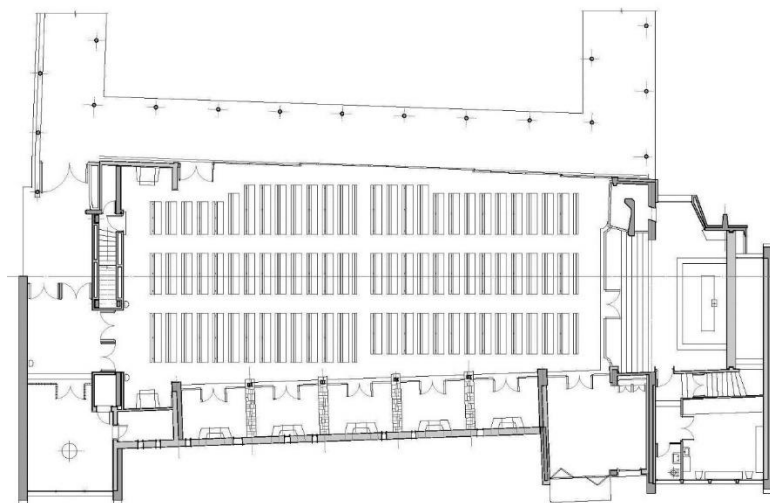
Dimensions	
Alt [m]	12,4
Llarg [m]	26,5
Ample [m]	10,3
Volum [m ³]	3377

Paràmetres acústics	
%ALCons [%]	38
RASTI	0,27
TR _{mid} [s]	4,3883
BR [s]	1,0808
Br [s]	0,9053
C ₅₀ [dB]	-3
C ₈₀ [dB]	-4

4.9 Església de Sant Nicolau de Bari, Grau de Gandia (València)

Nº	Església	Població	Província	Any de construcció
9	Sant Nicolau de Bari	Grau de Gandia	València	1962

L'església es troba al Grau de Gandia, junt al port. Es construeix en substitució de la destruïda en la Guerra Civil i per la necessitat d'un nou temple davant el creixement de la població en 1962. Té una nau longitudinal amb una planta de forma trapezoidal que emfatitza la perspectiva de la vista al presbiteri. Té dos grans closques laterals que ofereixen molta llum. Un dels laterals ofereix accés al claustre i pot obrir-se per ampliar la capacitat i l'altre lateral conté xicotetes capelles separades per murs baixets.



Dimensions	
Alt [m]	13,1
Llarg [m]	32,9
Ample [m]	15,0
Volum [m ³]	6450

Paràmetres acústics	
%ALCons [%]	22
RASTI	0,38
TR _{mid} [s]	2,4416
BR [s]	1,0153
Br [s]	1,1012
C ₅₀ [dB]	-1
C ₈₀ [dB]	-1

5. ANÀLISI ACÚSTICA COMPARATIVA I EXPOSICIÓ DE DADES

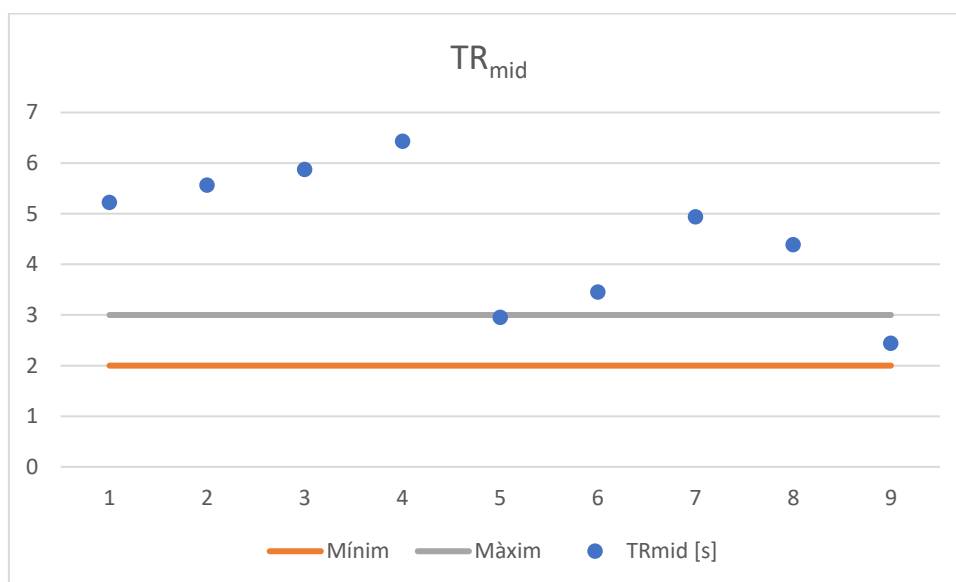
5.1 Taules globals comparatives paràmetres acústics

En les fitxes anterior es mostren els paràmetres de cada sala. A continuació, es mostren agrupats per paràmetres per tal de poder comparar els temples. Com que alguns noms de les esglésies es repeteixen, resulta més senzill identificar-les per la numeració assignada i la seua localització.

5.1.1 Temps de reverberació (TR_{mid})

Taula 9: Temps de reverberació

Nº	Població	TR_{mid} [s]	Compleix $2 < TR_{mid} < 3$
1	Biar	5,2237	No
2	Sant Vicent del Raspeig	5,5662	No
3	Beneixama	5,8763	No
4	Aiora	6,4325	No
5	Cofrents	2,9516	Sí
6	Xalans	3,4540	No
7	Xarafull	4,9359	No
8	Teresa de Cofrents	4,3883	No
9	Grau de Gandia	2,4416	Sí



Gràfica 1: Temps de reverberació

És cert que el valor de recomanat fa referència a sales ocupades i que les mesures s'han realitzat amb la sala buida. Per tant, el temps de reverberació canvia si el recinte està ocupat parcial o totalment, el temps de reverberació canvia depenent de l'ocupació i els seients. Generalment, es pot acceptar quan la ocupació gire al voltant del 60%, el temps a freqüències mitges baixarà al voltant de 0.3 s (si el temps oscil·la entre 1 i 1,2 s i depenent del tipus de butaca). Com que els

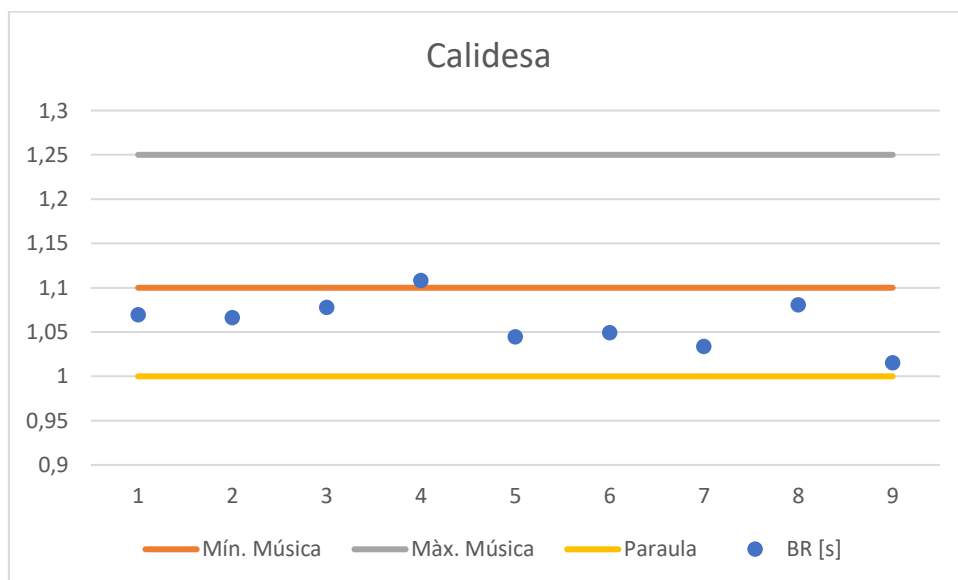
casos mesurats no es troben en eixe interval, no es pot referenciar, però igualment, quasi tots els casos superen el temps de reverberació màxim recomanat.

Els casos 5 i 9, Sant Josep (Cofrents) i Sant Nicolau de Bari (Grau de Gandia) són els únics que queden dins dels valors recomanats. Suposant que el TR_{mid} disminueix en estar la sala ocupada, pot ser també compliria el cas 6, corresponent a Sant Miquel Arcàngel (Xalans), però la resta de les esglésies tenen valors molt superiors al màxim.

5.1.2 Calidesa (BR)

Taula 10: Calidesa

Nº	Població	BR [s]
1	Biar	1,0695
2	Sant Vicent del Raspeig	1,0661
3	Beneixama	1,0779
4	Aiora	1,1083
5	Cofrents	1,0446
6	Xalans	1,0493
7	Xarafull	1,0337
8	Teresa de Cofrents	1,0808
9	Grau de Gandia	1,0153



Gràfica 2: Calidesa

Es pren com a referència la recomanació de Beranek (1996) per a sales de concert per valorar la calidesa de les esglésies. Cap d'elles encaixa en les condicions que determinen un o altre interval, però es pren de referència el de major TR_{mid} . Igualment, en la gràfica es representa també la referència de $BR=1$ per a paraula.

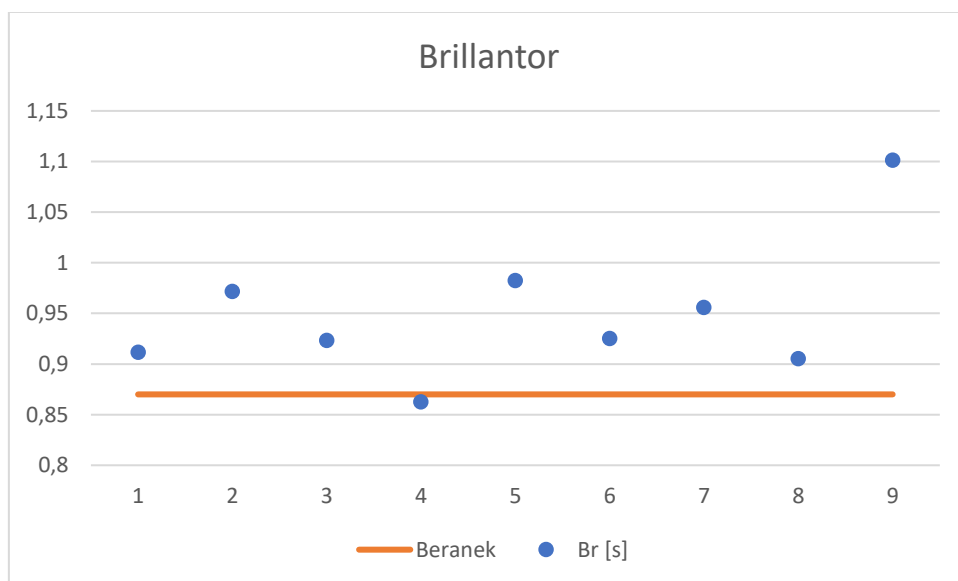
Pot observar-se que cap de les esglésies té una calidesa adequada per a la paraula. La més propera és la de Sant Nicolau de Bari (Grau de Gandia). Per a la música només entra en els valors

recomanats Nostra Senyora de l'Assumpció (Aiora). Una calidesa adequada per a la música és incompatible amb una calidesa adequada per a la paraula. La majoria dels casos mesurats no ho són ni per una cosa ni per a l'altra. Pot ser amb els temples ocupats, les que queden entre mitges entrarien en l'interval musical degut a l'absorció de l'audiència.

5.1.3 Brillantor (Br)

Taula 11: Brillantor

Nº	Població	Br [s]	Compleix $\leq 0,87$
1	Biar	0,9117	Sí
2	Sant Vicent del Raspeig	0,9718	Sí
3	Beneixama	0,9233	Sí
4	Aiora	0,8625	No
5	Cofrents	0,9825	Sí
6	Xalans	0,9253	Sí
7	Xarafull	0,9558	Sí
8	Teresa de Cofrents	0,9053	Sí
9	Grau de Gandia	1,1012	>1



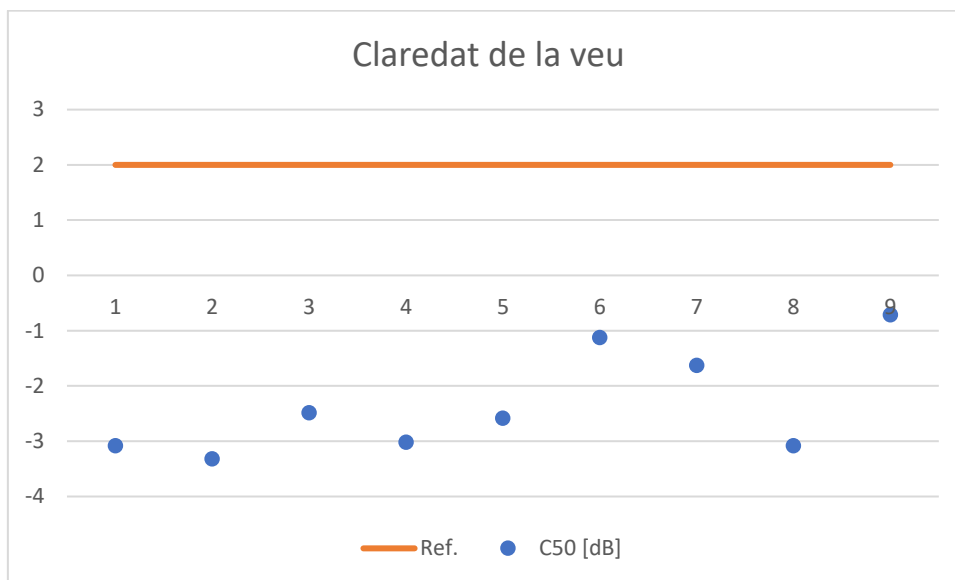
Gràfica 3: Brillantor

La brillantor de quasi tots els temples compleix amb la condició recomanada per Beranek (1996). L'únic cas que no ho fa presenta una diferència molt xicoteta amb el valor de referència. En el cas de Sant Nicolau de Bari (Grau de Gandia) pot parèixer un bon valor per complir amb la recomanació, però tampoc és recomanable que supere la unitat degut a la pèrdua d'energia de les ones sonores al propagar-se per l'aire, sobretot a freqüències altes, a partir de 2 kHz. Com que no ho supera excessivament, es considera que la claredat d'harmònics és acceptable.

5.1.4 Claredat de la veu (C_{50})

Taula 12: Claredat de la veu

Nº	Població	C_{50} [dB]	Compleix > 2 dB
1	Biar	-3	No
2	Sant Vicent del Raspeig	-3	No
3	Beneixama	-2	No
4	Aiora	-3	No
5	Cofrents	-3	No
6	Xalans	-1	No
7	Xarafull	-2	No
8	Teresa de Cofrents	-3	No
9	Grau de Gandia	-1	No



Gràfica 4: Claredat de la veu

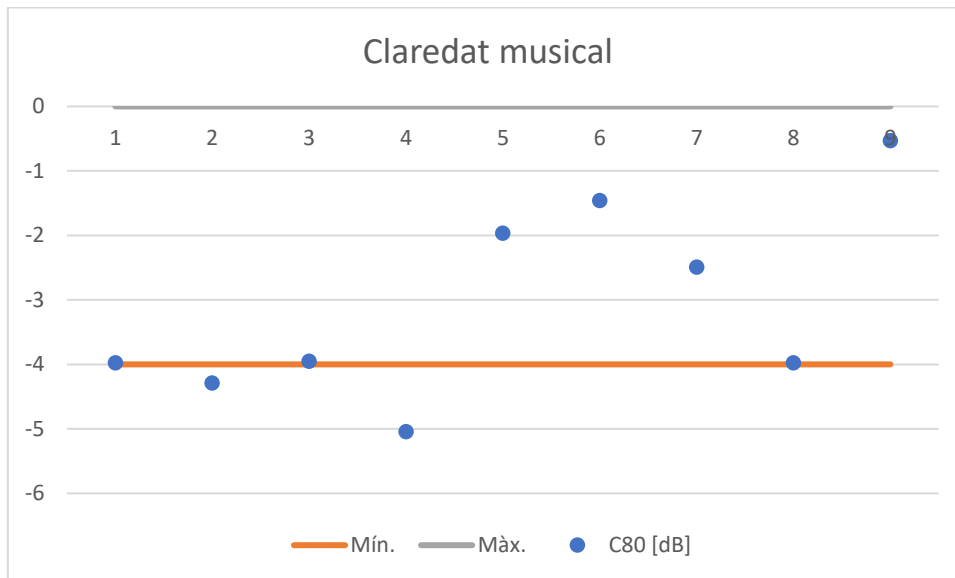
Pot observar-se que cap de les esglésies arriba al mínim requerit per considerar que hi ha una bona claredat de la paraula. De fet, tots els valors són inferiors a 0 dB i mostren una bona diferència amb la recomanació. Per tant, en tots els casos s'espera que la intel·ligibilitat de la paraula siga difícil.

5.1.5 Claredat musical (C_{80})

Taula 13: Claredat musical

Nº	Població	C_{80} [dB]	Compleix $-4 < C_{80} < 0$
1	Biar	-4	Sí
2	Sant Vicent del Raspeig	-4	No
3	Beneixama	-4	Sí

4	Aiora	-5 No
5	Cofrents	-2 Sí
6	Xalans	-1 Sí
7	Xarafull	-2 Sí
8	Teresa de Cofrents	-4 Sí
9	Grau de Gandia	-1 Sí



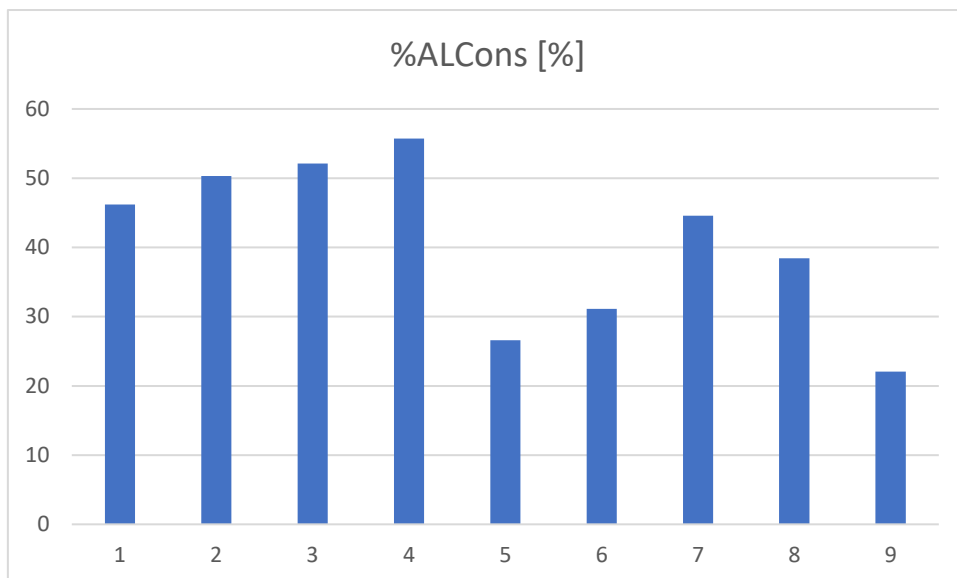
Gràfica 5: Claredat musical

Per a la claredat musical es pren de referència l'interval per a sales buides de Beranek (1996). S'observa que la majoria es troben dins l'interval proposat. La claredat musical és bona en elles, excepte per als casos nº 2 i nº 4.

5.1.6 %ALCons

Taula 14: %ALCons

Nº	Població	%ALCons [%]
1	Biar	46
2	Sant Vicent del Raspeig	50
3	Beneixama	52
4	Aiora	56
5	Cofrents	27
6	Xalans	31
7	Xarafull	45
8	Teresa de Cofrents	38
9	Grau de Gandia	22



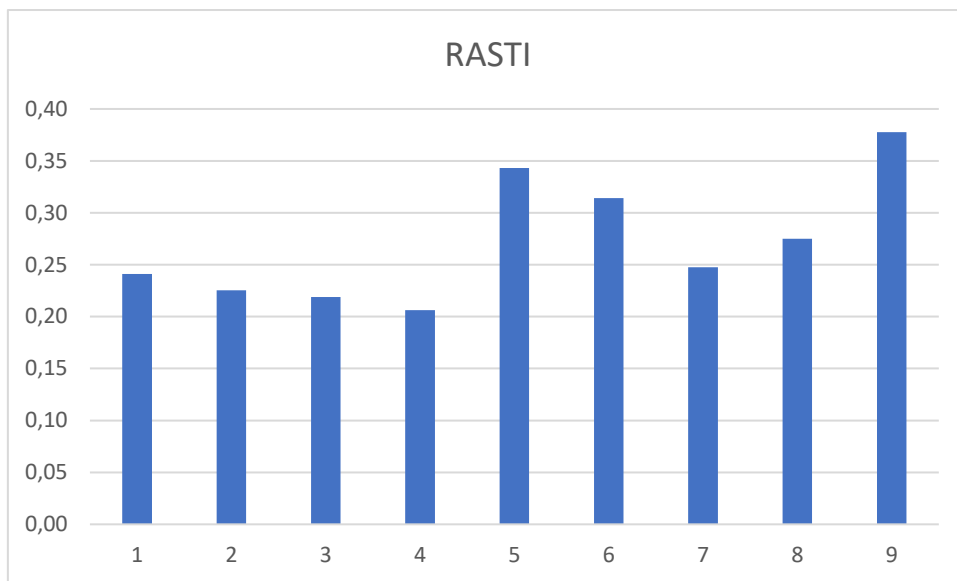
Gràfica 6: %ALCons

La pèrdua de consonants és en quasi tots els casos el 40%. El que fa considerar que en la majoria dels casos la intel·ligibilitat de la paraula és d'una qualitat deficient. Fins i tot s'arriba al 50%, és a dir, la meitat de les consonants es perden.

5.1.7 RASTI

Taula 15: RASTI

Nº	Població	RASTI	Qualificació	Categoria
1	Biar	0,24	Dolenta	U
2	Sant Vicent del Raspeig	0,23	Dolenta	U
3	Beneixama	0,22	Dolenta	U
4	Aiora	0,21	Dolenta	U
5	Cofrents	0,34	Pobre	U
6	Xalans	0,31	Pobre	U
7	Xarafull	0,25	Dolenta	U
8	Teresa de Cofrents	0,27	Dolenta	U
9	Grau de Gandia	0,38	Pobre	J



Gràfica 7: RASTI

Donada la relació entre els paràmetres %ALCons i RASTI, s'entén que el resultat indique que la majoria d'esglésies tenen una intel·ligibilitat dolenta i que les que millor valoració tenen només arriben a ser valorades com pobres.

5.2 Valoració general

A continuació s'ordenen les esglésies segons la data de construcció i també segons el volum seguint la numeració utilitzada anteriorment:

Taula 16: Dades generals ordenades

Nº	Any de construcció	Nº	Volum [m³]
5	1621	7	1122
4	1628	8	3377
7	1689	6	5593
1	1696	5	5687
6	1736	9	6450
8	1740	1	7301
3	1841	2	9248
9	1962	3	12523
2	1993	4	13192

Per poder fer una valoració general, s'ordenen les esglésies segons cada paràmetre de més positiu a més negatiu en la següent taula:

Taula 17: Paràmetres ordenats

Nº2	TR _{mid} [s]	Nº	BR [s]	Br [s]			%ALCons			Nº RASTI			
				Nº	Nº C ₅₀ [dB]	Nº C ₈₀ [dB]	Nº [%]						
9	2,4416	9	1,0153	9	1,1012	9	-1	9	-1	9	22	9	0,38
5	2,9516	7	1,0337	5	0,9825	6	-1	6	-1	5	27	5	0,34
6	3,4540	5	1,0446	2	0,9718	7	-2	5	-2	6	31	6	0,31
8	4,3883	6	1,0493	7	0,9558	3	-2	7	-2	8	38	8	0,27
7	4,9359	2	1,0661	6	0,9253	5	-3	3	-4	7	45	7	0,25
1	5,2237	1	1,0695	3	0,9233	4	-3	1	-4	1	46	1	0,24
2	5,5662	3	1,0779	1	0,9117	1	-3	8	-4	2	50	2	0,23
3	5,8763	8	1,0808	8	0,9053	8	-3	2	-4	3	52	3	0,22
4	6,4325	4	1,1083	4	0,8625	2	-3	4	-5	4	56	4	0,21

Per tal de simplificar la interpretació de la taula anterior es deixa només l'identificador numèric:

Taula 18: Paràmetres ordenats simplificat

TR _{mid} [s]	BR [s]	Br [s]	C ₅₀ [dB]	C ₈₀ [dB]	%ALCons [%]	RASTI
9	9	9	9	9	9	9
5	7	5	6	6	5	5
6	5	2	7	5	6	6
8	6	7	3	7	8	8
7	2	6	5	3	7	7
1	1	3	4	1	1	1
2	3	1	1	8	2	2
3	8	8	8	2	3	3
4	4	4	2	4	4	4

A la taula s'observa que l'església nº 9 es troba en tots els paràmetres en primera posició, el millor valorat respecte de la resta. Esta església, Sant Nicolau de Bari és notablement més actual que la resta, excepte la de la Inmaculada. Sembla que l'acústica ha estat cuidada en la planificació d'esta construcció, al menys més que en el passat. El volum no pareix ser un factor determinant o diferenciador per als resultats obtinguts, però sí la geometria de les superfícies que conformen les parets principals: la inclinació de les parets i la asimetria de la seua planta deixen veure que la seua estructura no té res a veure amb el que s'entén per església catòlica de la zona.

Així doncs, crida l'atenció que l'església de la Inmaculada, nº 2, ocupa posicions en la taula alternes i en la seua majoria, de les últimes, entre les pitjors valorades.

D'altra banda, l'església nº 5 ocupa per a tots els paràmetres la part superior de la taula, en la majoria de casos el segon lloc. És el cas de l'església de Sant Josep, la més antiga de les mesurades, però que ha sigut reformada. La diferència la marca el sostre sense voltes que té una data prou més recent.

Com última església a destacar, es troba la nº 4 per ocupar en quasi tots els paràmetres els últims llocs. És tracta de l'església de Nostra Senyora de l'Assumpció d'Aiora. De les esglésies mesurades és la de més volum i una de les més antigues, raó per la qual no és sorprenent el resultat mostrat.

6. CONCLUSIONS

L'objectiu principal d'este projecte ha sigut comparar l'acústica de diferents esglésies. S'han pres diferents paràmetres acústics que poden ser útils per valorar l'acústica d'estos recintes valorant la paraula i a la música ja que a les celebracions religioses és el que abunda.

La hipòtesi de partida en la que es suposava que totes les esglésies tenien una acústica dolenta es va trencar amb simple observació auditiva a l'arribar a les esglésies de Cofrents i del Grau de Gandia. Unes esglésies en les que va ser fàcil apreciar que el temps de reverberació era notablement menor que en la majoria de temples de l'estil. Encara així, quedava per a l'observació dels resultats si eren llocs adequats per a música sacra com pensaven els retors.

L'objectiu de mesurar deu esglésies era ambiciós però no impossible. Tenia permís i contactes per mesurar quasi en vint, però una mala gestió del temps i la falta de claredat en la metodologia i necessitats de les mesures, ens van deixar a les portes d'acomplir l'objectiu. Igualment, les esglésies mesurades ofereixen perfils molt diferents i interessants entre elles.

Donat que les esglésies mesurades es troben en pobles de diferents grandàries de poblacions i diferent història, a la vegada que similar, s'han pogut mesurar esglésies d'entre el segle XVII i el segle XX. Qüestió que resulta interessant per observar si hi ha hagut evolució o preocupació per l'acústica dels temples amb el pas dels anys a través de les noves construccions i de les reformes fetes.

Vistos i comparats els paràmetres mesurats entre les esglésies i ordenades segons la seua valoració en cada paràmetre, és cert que destaca positivament l'església de Sant Nicolau de Bari (Grau de Gandia) junt amb la de Sant Josep (Cofrents) i que destaca negativament la de Nostra Senyora de l'Assumpció (Aiora). Sense oblidar que ni siquiera els millors casos compleixen en alguns del requisits per considerar positius els seus valor per a alguns paràmetres com és la claredat de la veu. La majoria de les esglésies queden fora dels límits proposats i aquelles que compleixen ho fan per molt poquet.

Per tant, queda clar que no totes sonen igual. Qüestió imaginable però difícil d'apreciar sense realitzar les mesures o sense una escolta més atenta. S'ha confirmat, en la majoria dels casos, que la comprensió de la paraula és molt difícil en els temples, llevat els casos nº 9 i nº 5, en les que a més d'experimentar allí mateix una millor comprensió, els paràmetres TR_{mid} , %ALCons i RASTI han confirmat que és notablement millor que en la resta.

D'altra banda, es confirma que la majoria de les esglésies són aptes per a música ja que la seua claredat musical C_{80} es troba dins l'interval recomanat per Beranek (1996).

Els retors coincideixen en que desitjarien una millor intel·ligibilitat de la paraula en els seus temples. "Solucionar" l'acústica de les esglésies implicaria que l'ambient espiritual, en certa manera, es perdria. A més, el primer a analitzar serien els alts sostres voltats que els caracteritzen. Són l'element que falta en les dos esglésies millor valorades de les que s'han mesurat: les voltes.

En general s'aprecia que l'acústica eclesiàstica de la zona està imposada d'esta manera (dolenta) des de fa segles pels interessos de l'església de generar por al poble. L'ambient espiritual que es sent a les esglésies, no ve només donat per les imatges que representen als altars i als quadres, ve donat també per l'acústica que s'ha creat i la música composta per a estos llocs. Des de l'experiència personal, la sensació al visitar les esglésies de menor temps de reverberació ha sigut estranya.

Realitzar este treball ha mantingut la curiositat que ja tenia per l'acústica eclesiàstica i fins i tot l'ha augmentat. Després d'haver realitzat les mesures, continue visitant esglésies i observant les seues dimensions, els seus sostres i materials per entendre l'ambient i sensació que em dona i la seua acústica. En esglésies que no he mesurat m'he trobat casos com les esglésies Fernandines de Còrdoba que a pesar de l'altura i llargària no donen la sensació de tanta reverberació que supose es deu als sostres mudèjars de fusta.

7. BIBLIOGRAFIA

- ABAD, M. (s.f.). *Estudio Acústico y Electroacústico de la sala de conciertos Ritmo y Compás (Madrid)*. Trabajo Final de Máster. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- AENOR (2010). *ISO 3382-1:2009: Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 1: Salas de espectáculos*. Madrid: AENOR.
- AENOR (2020). *UNE-EN IEC 60268-16:2021: Equipos para sistemas electroacústicos. Parte 16: Evaluación objetiva de la inteligibilidad del habla mediante el índice de transmisión del habla. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en enero de 2021.)*. Madrid: AENOR.
- ACÚSTICA DECORATIVA. (2019). *Conceptos básicos de acústica* en Acústica Decorativa. Disponible a <https://acusticadecorativa.com/blog/conceptos-basicos-de-acustica-b86.html>
- ARAU-PUCHADES, H. (2008). *¿Es el criterio acústico el paradigma de la excelencia acústica en el diseño de salas?*. Universidade de Coimbra.
- BERANEK, L. L. (1996). *Concert and opera halls. How they sound*. Acoustical Society of America.
- BRÜEL & KJÆR (s. f.) *Acústica de salas y edificios*. Disponible a <https://www.bksv.com/es/knowledge/applications/environmental-noise/building-acoustics> [consulta 2023-07-12]
- CARRIÓN, A. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona: Edicions UPC.
- DE BARRIO, J. I. (2008). *Sistemas de predicción de parámetros que caracterizan el campo sonoro en Iglesias*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- DÍAZ, B. (2019). *Arquitectura y sonido. El evento sonoro como generador del proyecto*. Trabajo de Fin de Grado. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- ECO PHONE (s.f.) *Tiempo de reverberación* en Eco Phone. Disponible a <https://www.ecophon.com/es-lat/about-ecophon/acoustic-solutions/acoustic-knowledge-bank/basic-acoustics/room-acoustic-descriptors/reverberance/reverberation-time/> [consulta 2023-07-15]

- GALINDO, M. (2003). *La acústica en espacios religiosos católicos: iglesias gótico-mudéjares*. Tesis. Sevilla: Departamento de Física aplicada II.
- PRO AUDIO, D. (2019) *Inteligibilidad de la palabra y su medición, predicción y mejora*. STI. Disponible a <<https://www.doctorproaudio.com/content.php?2480-inteligibilidad-medicion-sti-rasti-stipa>> [consulta 2023-07-13]
- MARSHALL, L. W. (1999). *Introduction to electroacoustics and audio amplifier design*. Kendal/Hunt.
- NTI AUDIO (s.f.) *Medición del tiempo de reverberación en NTI audio* <<https://www.nti-audio.com/es/aplicaciones/acustica-de-salas-y-edificios/medicion-del-tiempo-de-reverberacion>> [consulta 2023-07-15]
- RUIZ, L. (2015). *Comparación de resultados obtenidos mediante procedimientos experimentales y computacionales en la caracterización acústica de recintos*. Trabajo Final de Grado. Pamplona: Escuela Técnica superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación.
- SENDRA, J. J. , ZAMARREÑO, T. i NAVARRO, J. (1997). *El problema de las condiciones acústicas en las Iglesias: principios y propuestas para la rehabilitación*. Sevilla: Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción.
- SENDRA, J. J. , ZAMARREÑO, T. i NAVARRO, J. (1999). *La acústica de las Iglesias gótico-mudéjares de Sevilla*. Sevilla: Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción.
- Sendra, J. J. i Navarro, J. (1996). *El concilio de Trento y las condiciones acústicas en las Iglesias*. Madrid.