



TREBALL DE RECERCA

Estudi acústic de
l'església de Sant
Domènec de Cervera



ÍNDEX

1	INTRODUCCIÓ	4
2	ABSTRACT	5
3	HISTÒRIA DE L'ESGLÉSIA I DEL CONVENT	6
3.1	ORIGEN, EVOLUCIÓ I ABANDONAMENT	6
3.2	REHABILITACIÓ DEL CONVENT, L'ESGLÉSIA I L'ENTORN DE SANT DOMÈNEC	8
4	ACÚSTICA	10
5	EL SO	11
5.1	ORIGEN, FORMACIÓ I PROPAGACIÓ DEL SO	11
5.2	QUALITATS DEL SO	12
5.3	FENÒMENS ACÚSTICS	13
5.3.1	Lleis del so	13
5.3.2	Reverberació	16
6	EL CONDICIONAMENT ACÚSTIC	17
6.1	PARÀMETRES ACÚSTICS	18
6.1.1	Temps de reverberació	18
6.1.2	Calidesa acústica o Bass Ratio	22
6.1.3	Brillantor	23
6.1.4	Early Decay Time	23
7	DESENVOLUPAMENT PRÀCTIC	25
7.1	CÀLCULS I RESULTATS	25
7.1.1	Absorció acústica	26

7.1.2	Temps de reverberació	29
7.1.3	Calidesa acústica o Bass Ratio	31
7.1.4	Brillantor	32
7.1.5	Early Decay Time.....	32
8	PROPOSTES DE MILLORA	37
8.1	Conferència i teatre	37
8.2	Música de cambra.....	39
8.3	Música simfònica	40
8.4	Música coral	42
8.5	Deduccions.....	43
9	CONCLUSIÓ.....	44
10	BIBLIOGRAFIA.....	46
11	ANNEXOS.....	49

1 INTRODUCCIÓ

Partint de la meva dedicació a la música des de fa uns 12 anys, acudint a classes al Conservatori Municipal de Cervera i tocant l'oboè, diversos han estat els fets que han motivat la meva elecció per aquest treball; esmentaré els més importants. Primer de tot, cal comentar que tota aquesta formació rebuda, tant instrumental com de solfeig, m'ha donat l'oportunitat de tocar en l'orquestra del mateix conservatori, l'Orquestra Andreu, amb la qual hem realitzat una gran quantitat de concerts, la majoria locals, però també per arreu de Catalunya i algun a l'estranger. Podria dir que aquestes nombroses sortides, duent a terme concerts en una gran varietat d'auditoris, pavellons i esglésies, van despertar en mi un interès especial per l'acústica, observant que, tocant el mateix repertori, la sensació sonora que es produeix en un recinte canvia radicalment quan es toca en un altre lloc. Doncs bé, just el curs passat, al conservatori vaig tenir la possibilitat de cursar l'assignatura d'acústica, la qual va resoldre algun dels meus dubtes, però alhora hem van quedar ganes d'aprofundir una mica més sobre el tema.

Ja en els primers dies en què s'havia d'elegir el tema del treball, tenia clar que volia fer alguna cosa que relacionés els nombres (o les matemàtiques o la física), que sempre m'han agradat molt, amb la música. Així doncs, havent finalitzat el curs del conservatori i havent aprovat l'assignatura d'acústica amb força bona nota, vaig decidir de donar-li una aplicació pràctica a tot l'après durant les classes i em vaig decantar per realitzar un estudi acústic. L'elecció del lloc on realitzar-lo no va ser massa difícil. Després de realitzar una petita reunió amb el regidor de cultura de Cervera, en Marc Holgado, es va buscar algun recinte cerverí on encara no s'hagués fet cap comprovació acústica. D'aquí en va sortir la proposta de Sant Domènec, una església que estava sent rehabilitada per adaptar-la com a recinte per a realitzar-hi tot tipus d'activitats culturals, que va ser acceptada i va passar a ser l'objecte d'estudi.

La realització de l'estudi acústic de l'església té diversos objectius. Per una banda, conèixer quins són els paràmetres que es tenen en compte a l'hora de concicionar acústicament un local i quins són els procediments que se segueixen fins arribar al resultat i, per altra banda, valorar les dades obtingudes i proposar millores i solucions per als defectes que es puguin arribar a trobar. A més, també són objectius del treball documentar-se sobre el convent de Sant Domènec i la seva església, per saber-ne l'origen i la seva història fins avui, i assabentar-se de les reformes que s'han dut o es duran a terme.

Per entendre correctament com s'haurà de realitzar l'estudi caldrà establir també com a objectiu conèixer quina és la naturalesa del so i quines són les seves qualitats essencials.

Tot i tenir en compte aquests fins orientatius, la finalitat principal del treball és obtenir un estudi acústic objectiu, que es pugui presentar a l'Ajuntament de Cervera i que serveixi per prendre algunes decisions sobre els canvis que es podrien arribar a realitzar

realitzar a l'interior de l'església, un cop finalitzada la rehabilitació, per tal de millorar-ne l'acústica.

Pel que fa a l'estudi, sabent el primordial sobre el so i els paràmetres acústics, es podran realitzar els càlculs necessaris per poder obtenir uns valors que es puguin qualificar segons la funció de la sala en tot moment, simulant les obres de l'església acabades. Degut a que la investigació es centrarà bàsicament amb el fenomen de la reverberació, tots els càlculs tindran a veure amb aquesta.

També seria bastant interessant poder realitzar alguna pràctica a l'església per comprovar l'acústica actual, però ja es veurà quins seran els recursos que es tindran a mà i que es podrà fer amb aquests.

Un cop obtinguts els resultats i havent-los avaluat, s'idearan alguns sistemes per corregir aquells paràmetres que no siguin correctes. Es mirarà que és el que falla i s'intentarà contrarestar amb alguna solució o proposta de millora.

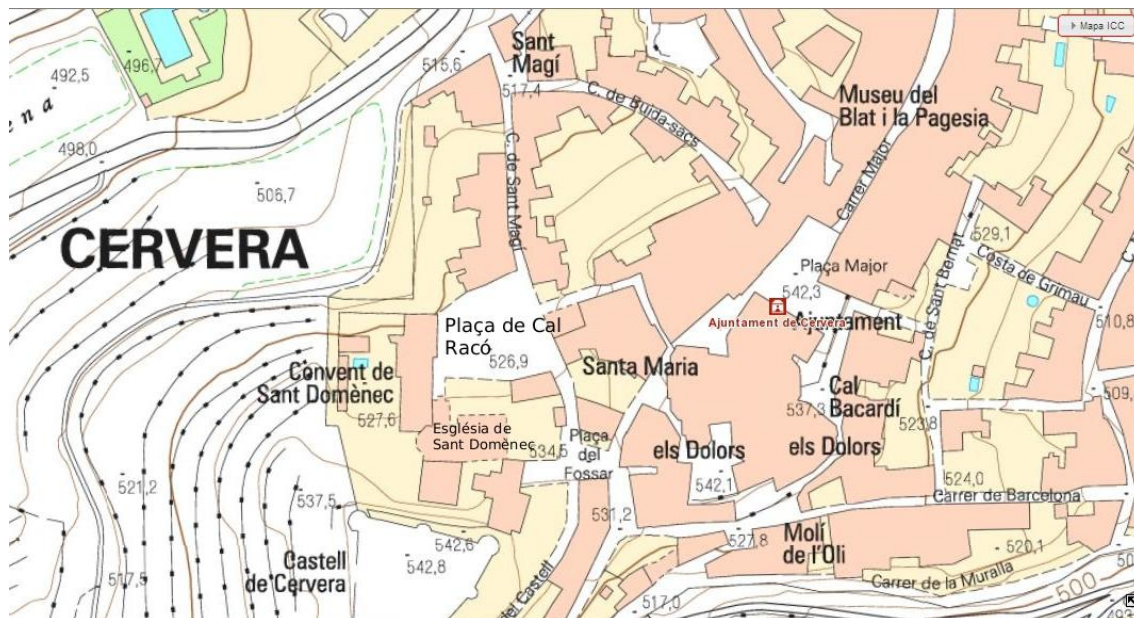
La metodologia, per tant, constarà d'una sèrie de procediments que conduiran a la concreció d'un acabat de l'interior de l'església que s'adaptarà, acústicament parlant, a qualsevol tipus d'activitat cultural que es pugui realitzar-hi, ja siguin concerts, conferències, reunions, exposicions...

2 ABSTRACT

The project consists in a study of the acoustic of Saint Domenec's church in Cervera. The study is about finding out whether the sound quality of the church is good or not. First, it tells the story of the church from its beginnings to the present, paying attention to the rehabilitation that is being done. Then, it explains some sound theories and the reason for choosing certain acoustic parameters to understand the later study. It is necessary to mention that the study has been based on the phenomenon of the reverberation. The acoustic parameters are measures taken the response of the sound inside the church. Formulas of acoustic parameters are applied to the study to see if the acoustic parameters are correct or not. In order to apply these formulas it was necessary to calculate the volume and surface inside the church. Also a checking has been done using technical material in the church (basically a computer with the right software and a microphone). When the values of acoustic parameters have been obtained, analysis has been done by observing the theoretical correct values and proposing improvements to solve some problems. The reason of this acoustic study is the possibility that the church has for hosting cultural activities like concerts, exhibitions or conferences after the rehabilitation that is realized.

3 HISTÒRIA DE L'ESGLÉSIA I DEL CONVENT

Sant Domènec (s.XIV-XV) és l'església gòtica de l'antic convent dels dominics, de l'Orde dels Predicadors¹. Es troba situada a la ciutat de Cervera, en el casc antic, concretament a la plaça de Cal Racó.



Mapa de Cervera enfocat sobre la zona del Convent de Sant Domènec

Heus aquí la història des dels seus inicis fins a l'actualitat.

3.1 ORIGEN, EVOLUCIÓ I ABANDONAMENT

L'any 1318, el rei Jaume II² lliurà als frares Predicadors, per a la construcció del convent i l'església, una certa extensió de terres a la proximitat del castell, de les quals s'havia apropiat en la reconquesta del territori de Cervera. No obstant, és possible que l'obra no comencés fins l'any 1358, després que es demanés un canvi de terrenys per millorar la situació del convent, considerada pels frares dominics



Escut de l'ordre dominicà, on s'hi reflecteixen els seus colors (blanc i negre) i el seu lema: *Lloar, beneir, predicar*

¹ *Orde dels Predicadors*: És un ordre religiós fundat per Sant Domènec de Guzman que es dedicà a predicar i a emetre un vot de pobresa no sols individual, sinó també de la comunitat o del convent com a tal. El seu hàbit és blanc amb túnica, escapulari, caputxa i capa de color negre. Com a símbol fan servir la creu de Calatrava.

² *Jaume II*: També anomenat Jaume el Just (València, 10 d'abril de 1267 – Barcelona, 2 de novembre de 1327) va ser rei d'Aragó i de València i comte de Barcelona entre 1291 i la seva mort, i rei de Sicília entre 1285 i 1302. Va ostentar els títols honorífics de Portaestendard, Almirall i Capità General de la Santa Església Catòlica.

excessivament ensotada; malgrat tot, aquest canvi no va arribar a realitzar-se. S'havia plantejat una gran obra, la qual cosa volia dir que tindria una llarga durada i que farien falta un gran nombre de donacions.

L'any 1362 era començada la construcció de l'església, la qual seria una obra molt luxosa. A més, els frares dominics volien assegurar-se una vida pacífica i retirada, adequada a la pròpia activitat de predicadors; per això demanaren que les muralles construïdes pels voltants de l'any 1365, tanquessin el convent a l'interior i fossin prou altes per aconseguir que pobles veïns no hi poguessin tenir vista.

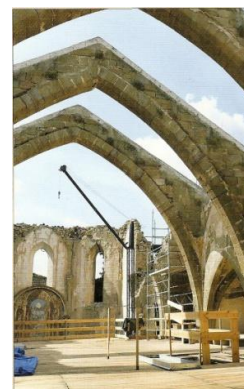


El convent de Sant Domènec (a l'extrem superior dret) envoltat per les muralles de Cervera

L'any 1409, quan fra Vicent Ferrer³ fou a Cervera i, segons la tradició, acudí al convent a predicar, en l'habitació on descansava tingué lloc l'aparició de Sant Domènec. Aquest fet va fer canviar el nom utilitzat fins aleshores, convent de Cervera, pel de convent de Sant Domènec.

Les obres de construcció es van allargar durant gairebé un segle. L'església en concret, quedà acabada l'any 1434 en la forma que encara avui pot ser contemplada: una nau molt ampla amb sis capelles laterals per banda, d'estructura ogival amb creueria i clau de volta i amb un absis pentagonal.

El convent era molt gran i tingué una gran importància abans de les devastacions sofertes. Primer, patí els efectes de la guerra napoleònica l'any 1810 i, més endavant, l'any 1835 va arribar l'abandonament i el saqueig del lloc. El convent quedà en un estat deplorable, però aquests últims anys s'han portat a terme obres per adaptar les restes de l'edifici com a centre cultural. Seguidament, es passarà a explicar els processos que s'han seguit durant aquesta rehabilitació.



Interior de l'església on s'observen els arcs en punta propis de l'estructura ogival

³ *Vicent Ferrer*: (València, 1350 – Gwened, Bretanya, 1419) Dominic valencià que recorregué mitja Europa predicant la seva moral i visió del cristianisme i que més endavant esdevingué sant.

3.2 REHABILITACIÓ DEL CONVENT, L'ESGLÉSIA I L'ENTORN DE SANT DOMÈNEC

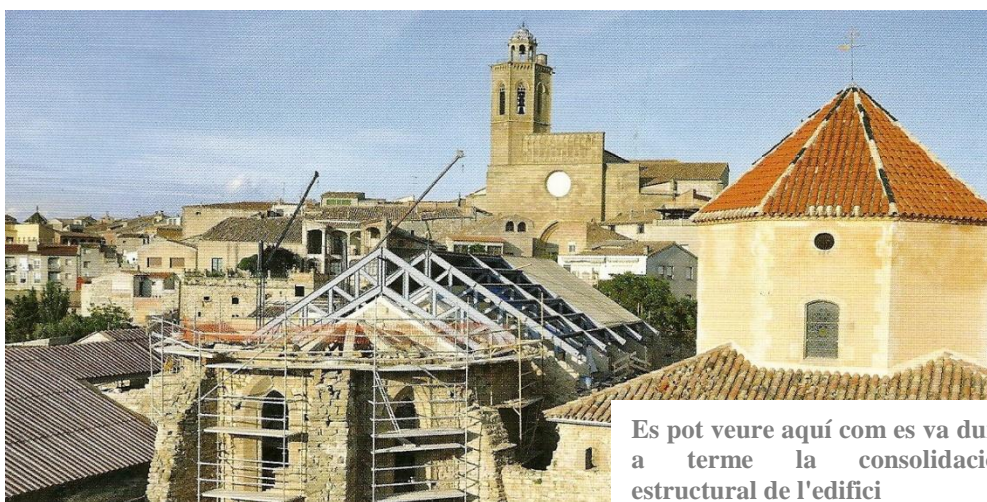
La urbanització de l'entorn de Sant Domènec i l'habilitació de l'església com a nou auditori municipal ja entraven en el projecte de millora del nucli antic, el qual rep la subvenció del Pla de Barris⁴, l'any 2006. Durant el 2007 es van iniciar els estudis geotècnics, arqueològics, topogràfics i planimètrics i es van redactar els projectes d'instal·lacions per rehabilitar l'església de Sant Domènec i d'urbanització per



Façana principal de l'església de Sant Domènec

adequar l'indret. Malgrat tot, les obres de la primera fase de rehabilitació de l'església no van començar fins l'agost del 2010, amb un termini d'execució d'onze mesos. Aquesta primera fase va correspondre a la consolidació estructural de tot l'edifici i va servir per solucionar els problemes bàsics d'estabilitat i seguretat de l'església, la qual es trobava en un estat de degradació important, després molts anys en desús absolut. El primer que es va fer va ser retirar la vegetació de la façana, tancar el perímetre i recuperar les pedres caigudes de les voltes i els arcs. Una vegada acabades aquestes tasques es van anar executant les següents actuacions:

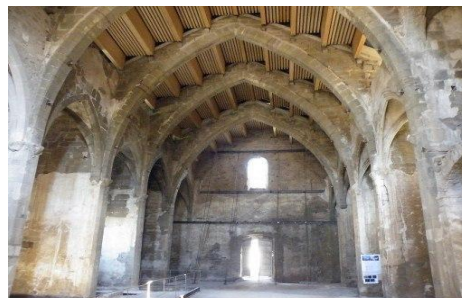
- Apuntament de tot l'edifici.
- Nova fonamentació de reforç.
- Reconstrucció dels arcs i les voltes.
- Col·locació de tensors a l'interior de l'estructura.
- Reforç estructural i reconstrucció de les cobertes.
- Execució de la xarxa de desguàs d'aigües pluvials.



Es pot veure aquí com es va dur a terme la consolidació estructural de l'edifici

⁴ *Pla de barris*: projecte de millora de barris, àrees urbanes i viles que requereixen una atenció especial impulsat pel Govern.

A més, a l'interior de la nau es va col·locar un sostre acústic i es van restaurar i redreçar les voltes de creueria de les capelles de les naus laterals. També es va acabar de reconstruir la cúpula semiesfèrica d'una de les capelles de l'església, la del Roser, i es va recompondre la coberta i reconstruir i reforçar les voltes de l'absis.



Interior de l'església on es pot observar el sostre acústic que s'hi ha col·locat

El setembre de l'any 2011, els treballs d'aquesta primera fase es van donar per acabats havent hagut de modificar el termini inicial d'execució de les obres per la troballa d'unes restes d'antigues construccions que van forçar a modificar els treballs previstos per fer-los compatibles amb les restes arqueològiques.

Les obres fins al moment havien costar 1.071.477,81 euros i, per fer-hi front, la Paeria de Cervera va disposar de finançament del Pla de barris (510.739,52 euros) i del Pla Únic d'Obres i Serveis de Catalunya⁵ (507.164,40), mentre que l'aportació de fons propis va estar de 53.573,89 euros.

Una vegada finalitzada aquesta primera fase, estava previst l'inici del condicionament de l'interior del convent i la urbanització del seu entorn per poder acollir activitats culturals; aquestes obres correspondrien a la segona fase. No obstant, no va ocórrer així degut a la manca de fons econòmics i no va ser fins al juny del 2012 que els treballs van començar. El primer que es va fer va ser adaptar un espai de la plaça de Cal Racó, lloc vital per la festa de l'Aquelarre, per situar-hi un espai de pagament on el públic pugui gaudir de la festa, amb els seus correfocs i espectacles, amb més tranquil·litat i comoditats.



Imatge de la plaça de Cal Racó; a l'esquerra l'espai VIP utilitzat en la festa de l'aquelarre

La part pràctica del meu treball, l'estudi acústic, es podria considerar, de forma no oficial, com un pas per l'habilitació de l'església de Sant Domènec com a recinte polivalent per realitzar-hi concerts, exposicions, reunions i/o conferències.

⁵Pla Únic d'Obres i Serveis de Catalunya: El PUOSC és el programa de cooperació local del Govern amb una dotació econòmica més gran, cosa que el converteix en el principal instrument de suport al món local. Aquest pla incideix directament en la qualitat de vida de la ciutadania, finançant actuacions per cobrir les necessitats dels habitants dels municipis. La majoria d'aquestes obres es concreten en urbanitzacions, pavimentació, conservació de la via pública, abastament d'aigua i equipaments culturals, esportius o docents.

4 ACÚSTICA

El terme *Acústica* prové del grec *Akoustikós*, paraula derivada de *Akuein* que significa sentir. Com a conseqüència, es defineix l'acústica com la part de la Ciència Física dedicada a l'estudi del so, és a dir, la ciència i tècnica del so entès com un fenomen físic en el més ampli sentit. Per aquesta raó, l'acústica estudia molts i variats aspectes sonors, entre els quals es poden citar els següents:

1. Les diverses fonts primàries del so produïdes per una oscil·lació elàstica en un medi.
2. Els fenòmens relacionats amb la propagació del so en els diferents medis.
3. Els diversos dispositius per l'amplificació, propagació, transmissió, registre i reproducció del so.
4. Els problemes provocats pel soroll i els seus efectes, a més de la lluita i la protecció contra aquest.
5. Els problemes relacionats amb les condicions acústiques dels locals segons la finalitat d'aquests.
6. El funcionament dels òrgans fonadors i auditius i, especialment, el conjunt de sensacions i percepcions produïdes per un estímul acústic exterior.
7. Les relacions existents entre la ciència física i l'art musical.
8. L'estudi de la tècnica que regeix la construcció dels instruments musicals.

Aquests aspectes i alguns més donen lloc a diverses branques de l'acústica que poc a poc s'han anat estructurant com disciplines i especialitats independents, encara que estretament relacionades entre sí. El meu treball pràctic es situaria en la rama de l'anomenada *Acústica Arquitectònica*, la qual, amb l'ajuda de l'acústica purament física, es dedica a l'estudi dels aspectes estructurals i constructius dels locals i edificis, relacionats amb els punts 4 i 5 dels aspectes sonors dits anteriorment. No obstant, es deixaran de banda la protecció contra el soroll i les molèsties sonores que poden arribar a causar les activitats que es dugin a terme a l'interior de l'església relacionades amb els aïllaments acústics, ja que no afecten a la qualitat del so interior sinó a l'equilibri emocional i nerviós de les persones que es puguin trobar a l'exterior i ens centrarem en els problemes relacionats amb les condicions acústiques dels locals.

L'acústica condiona a l'arquitectura; hi ha locals que es dissenyen segons les condicions necessàries per una correcta audició. Aquest és el cas de cinemes, teatres, sales de concerts i conferències, estudis d'àudio, etc. Per aconseguir una òptima acústica d'un local, cal que la seva forma i dimensions siguin aquelles que evitin l'aparició d'anomalies sonores, perjudicials per a una correcta audició. Malgrat tot, en el meu cas, no s'està construint un edifici de nou, sinó que s'està habilitant un local com a sala per a realitzar-hi concerts i conferències. Per això, no serà possible modificar la forma ni la dimensió d'aquest, però sí que es podran aplicar les tècniques de l'acústica arquitectònica per observar si la qualitat sonora del local és la idònia per a la seva funció i per proposar, si s'escau, millores que afectin de forma mínima a l'estructura.

5 EL SO

Abans de passar a fer l'estudi acústic, cal fer un repàs d'alguns conceptes relacionats amb el so per tal d'entendre correctament els processos que se seguiran a continuació.

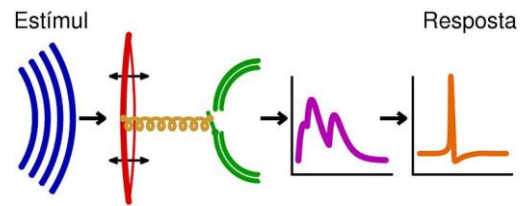
5.1 ORIGEN, FORMACIÓ I PROPAGACIÓ DEL SO

El so es pot definir com la impressió produïda en l'òrgan de l'oïda per les vibracions elàstiques d'un cos que es propaguen en tots els medis materials en forma d'ones, és a dir, és qualsevol agent físic que altera el sentit de l'oïda.

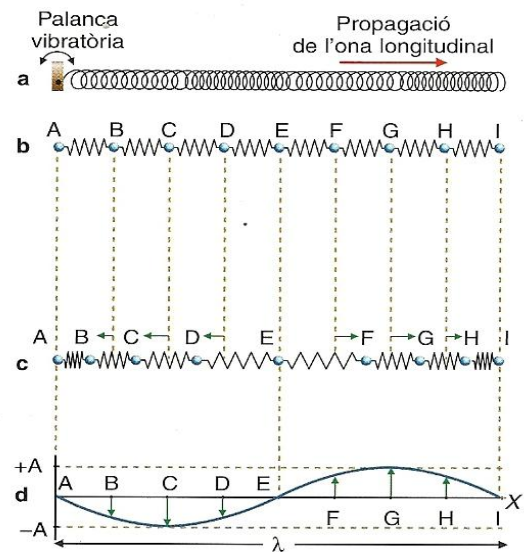
El so és una successió de canvis de pressió (compressions i depressions) produïts per vibracions dels cossos. Per tant, perquè existeixi so, es necessari que un cos productor realitzi un moviment vibratori⁶, el qual es propaga per un medi material, que pot ser gasos, líquid o sòlid, i fa arribar la vibració en forma de moviment ondulatori⁷ (ones sonores) a l'element receptor, el timpà. És llavors quan el nostre sistema auditiu realitza el pas de vibració a so, ja que el so no existeix en la vibració, sinó només en la impressió del receptor.

Així doncs, perquè el so es produeixi són imprescindibles tres condicions que deriven de la necessitat de l'existència de tres elements: un productor, un transmissor i un receptor. Sempre caldrà un element receptor capaç de rebre les ones sonores originades pel moviment vibratori produït pel cos productor i transmeses a través d'un medi material la velocitat del so, la qual varia segons el medi en què es transmeti el so.

Les ones sonores són ones mecàniques, ja que no es produeix transport de matèria sinó



Representació esquemàtica de la percepció del so. (Blau: ones sonores. Vermell: timpà. Verd: cèl·lules de receptors auditius. Lila: espectre de resposta de l'oïda. Taronja: impuls del nervi)



Representació de la propagació d'una ona longitudinal mitjançant una molla on es poden veure les compressions i depressions de les partícules

⁶ *moviment vibratori*: És aquell en què un mòbil es desplaça seguint una trajectòria rectilínia recurrent-la alternativament en un sentit i en sentit contrari amb oscil·lacions molt petites anomenades vibracions.

⁷ *moviment ondulatori*: Moviment originat quan un moviment vibratori es propaga en un medi elàstic.

d'energia; ones esfèriques, ja que els seus fronts d'ona⁸ són esferes radials que surten del focus emissor cap a totes les direccions, i ones longitudinals, ja que la seva direcció de propagació és la mateixa que la de la vibració de les partícules.

5.2 QUALITATS DEL SO

Els sons tenen una sèrie de característiques gràcies a les quals es poden determinar i reconèixer; aquestes característiques s'anomenen qualitats del so i són les següents:

- **Altura:** És la qualitat que s'expressa quan es diu que un so és més agut o més greu que un altre. L'altura d'un so depèn principalment de la freqüència que té aquest, essent els sons greus produïts per moviments vibratoris de freqüència petita i els sons aguts per freqüències elevades. L'oïda humana en condicions normals pot percebre sons d'una freqüència⁹ entre 20 i 20.000 Hz.

- **Intensitat:** És la qualitat per la qual un so és més fort que un altre. La intensitat acústica és l'energia que arriba a un punt determinat expressada en W/m² (watts cada metre quadrat). Aquesta intensitat depèn de la força amb la qual un so ha estat executat (nivell de potència acústica) i de la distància del receptor a la font sonora, essent major quan es desenvolupa una potència acústica elevada que es rep a curta distància. L'orella humana no pot percebre sons d'intensitat inferior als 10⁻¹² W/m² (llindar d'audibilitat humana¹⁰) i experimenta una sensació dolorosa per sobre d'1W/m². Per aquesta raó, l'estímul sonor o intensitat relativa que produeix una determinada intensitat acústica a l'oïda és el quocient entre la intensitat real o absoluta i la intensitat llindar.

- **Sonoritat:** És la sensació auditiva que produeix una determinada intensitat en el sentit de l'oïda, també anomenada nivell d'intensitat sonora. Es mesura amb bels¹¹ i estableix una relació amb la intensitat acústica de manera que un so situat en un valor d'intensitat acústica igual que el del llindar d'audició tingui una sonoritat de 0 dB i que el valor per la sensació dolorosa sigui de 120 dB. Com es pot veure i comprovar, aquesta relació entre intensitat i sonoritat no és proporcional, sinó que ve definida per la Llei de Weber-

⁸ *fronts d'ona:* És el conjunt de punts del medi als quals arriba la pertorbació sonora en un mateix moment

⁹ *freqüència:* És el nombre d'oscil·lacions efectuades en la unitat de temps. La seva unitat en el SI (sistema internacional) és el hertz, Hz, en honor al físic alemany Heinrich Rudolf Hertz. Un hertz simplement significa un moviment o oscil·lació per segon.

¹⁰ *llindar d'audibilitat humana:* És el valor mínim que ha de tenir la intensitat d'un so per començar a ser sentit (10⁻¹² W/m²).

¹¹ *bel:* És la sensació experimentada quan l'estímul, a una freqüència determinada, té una intensitat 10 vegades major que en el llindar d'audibilitat. Per tant, quan un so multiplica per 10 la seva intensitat, la sensació augmenta 1 bel. Com que el bel és una unitat massa gran, s'utilitza un submúltiple 10 vegades més petit anomenat decibel (dB).

Fechner¹² que diu: *Quan els estímuls o intensitat creixen en progressió geomètrica, les sensacions o sonoritat creixen en progressió aritmètica, és a dir, que la magnitud d'una sensació sonora creix amb el logaritme de l'estímul.* Per a la determinació de nivells sonors s'utilitza un instrument de mesura anomenat sonòmetre.



Sonòmetre

$$\text{Sonoritat} = 10 \cdot \log \frac{I_{\text{absoluta}}}{I_{\text{llindar}}} \text{ (dB)}$$

- Timbre: És la qualitat per la qual es poden diferenciar dos sons de la mateixa altura i intensitat però de diferent procedència. Tot i comentar aquest concepte, el timbre no té cap influència a l'hora de realitzar l'estudi acústic.

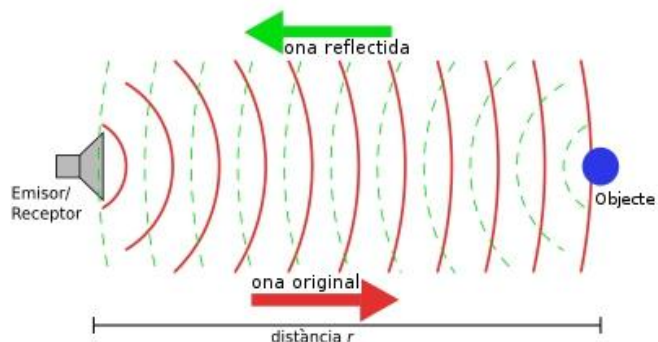
5.3 FENÒMENS ACÚSTICS

Per valorar una sala a nivell acústic cal tenir molt en compte els fenòmens acústics que es produeixen a l'interior, els quals estan molt relacionats amb com ha estat construïda: tenen molt a veure tant la seva forma com els materials que s'han utilitzat.

5.3.1 Lleis del so

Quan en un medi elàstic es propaga una ona sonora i aquesta es troba amb una superfície estranya, poden produir-se quatre tipus de fenòmens que es coneixen com a lleis del so:

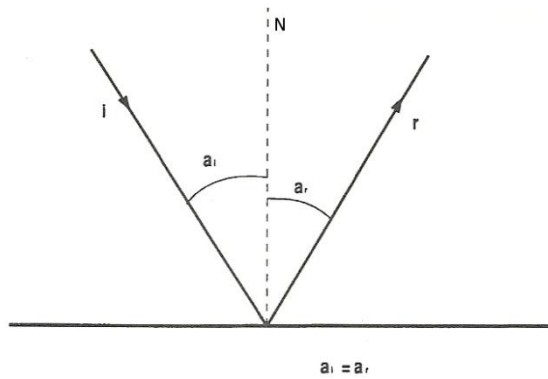
-...Reflexió: S'anomena així al fenomen que es produeix quan una ona sonora incideix sobre una superfície i es propaga en el mateix medi però en sentit diferent. Perquè aquesta superfície actuï com reflectant cal que sigui opaca a l'ona incident, és a dir, que impedeixi la propagació del so a través seu. En tota reflexió regular, l'angle d'incidència i l'angle de reflexió són iguals, situant-se en el mateix pla els



Una ona es reflecteix (rebota al medi del qual prové) quan es troba amb un obstacle que no pot traspasar ni rodejar

¹² *Weber-Fechner*: La llei té aquest nom ja que va ser elaborada en primer lloc pel psicòleg alemany Ernst Heinrich Weber (1795-1878), i modificada fins la seva forma actual per una altre alemany, el també psicòleg Gustav Theodor Fechner (1801-1887).

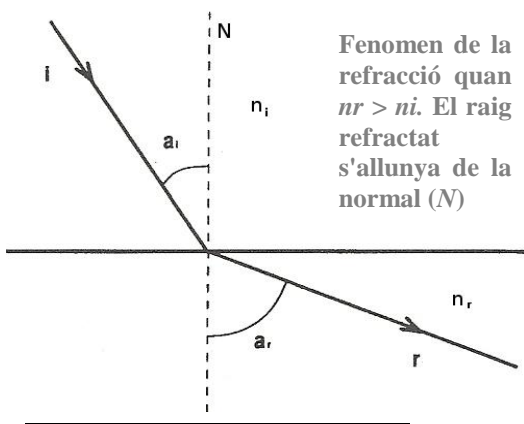
raigs¹³ incidents i reflectits. Com a conseqüència, si l'ona incideix perpendicularment a la superfície, aquesta es reflecteix seguint la mateixa direcció però en sentit contrari. Les lleis de la reflexió són de vital importància per a l'estudi de l'acústica dels locals, ja que si es disposa de superfícies concretes que provoquin una reflexió desitjada, es pot intensificar el nivell sonor en zones determinades.



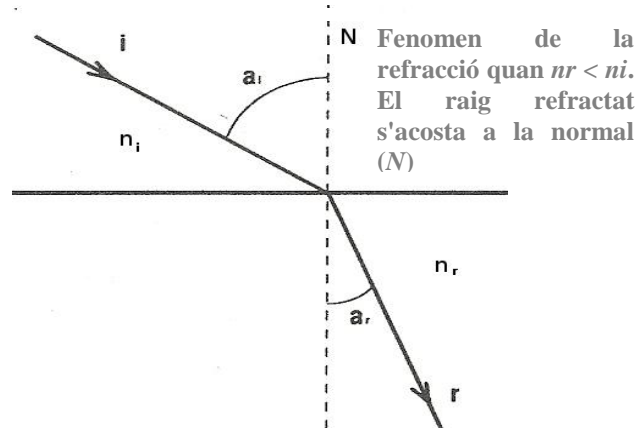
Fenomen de la reflexió on i és el raig incident, r el raig reflectit, i a_i i a_r els angles d'incidència i de reflexió respectivament respecte a la normal (N) del pla d'incidència del raig de so

- Refracció: És un fenomen que consisteix en la desviació que sofreixen les ones sonores en la seva direcció de propagació quan el so passa d'un medi a un altre de diferent. A diferència del que passa en la reflexió, en aquest cas, l'angle d'incidència i de refracció no són iguals. La refracció es deu a que al canviar de medi, la velocitat de propagació varia.

La relació entre la direcció del raig incident i la del raig refractat es pot obtenir mitjançant la llei d'Snell¹⁴: si n_i i n_r són els índexs de refracció dels dos medis i si a_i i a_r són els angles que formen el raig incident i el refractat respecte a una línia perpendicular a la superfície, es compleix que $n_i \cdot \sin a_i = n_r \cdot \sin a_r$. Amb aquesta expressió resulta interessant estudiar els dos casos possibles: $n_r > n_i$ i $n_r < n_i$.



Fenomen de la refracció quan $n_r > n_i$. El raig refractat s'allunya de la normal (N)

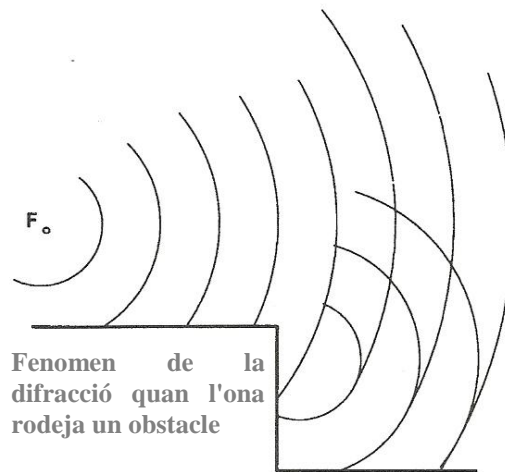


Fenomen de la refracció quan $n_r < n_i$. El raig refractat s'acosta a la normal (N)

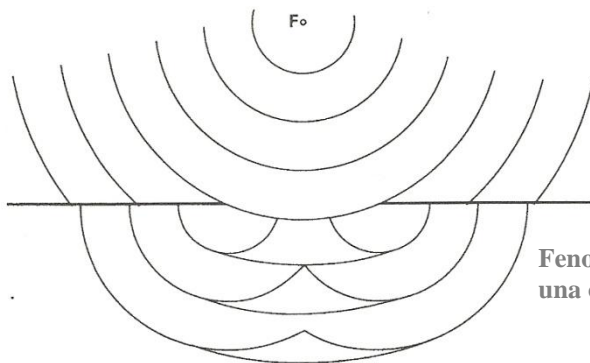
¹³ Raigs: Són les rectes que indiquen la direcció de propagació del moviment ondulatori. Aquestes rectes són perpendiculars als fronts d'ona en cadascun dels seus punts.

¹⁴ Willebrord Snel van Royen (Leiden, 1580-1626) va ser un astrònom i matemàtic holandès cèlebre per la llei de la refracció que porta el seu nom. Va introduir varis descobriments importants sobre la mida de la Terra i va realitzar millores al mètode aplicat del càlcul.

- Difracció: És el fenomen que possibilita que una ona sonora pugui rodejar un obstacle o propagar-se en un ambient a través d'una petita obertura. Perquè això sigui possible, es produeix una dispersió en l'ona, és a dir, es desvia la propagació rectilínia de les ones. L'explicació és proporcionada pel principi de Huygens¹⁵, que estableix que qualsevol punt d'un front d'ones és susceptible de convertir-se en un nou focus emissor d'ones idèntiques a les que el van originar, anomenades ones secundàries.

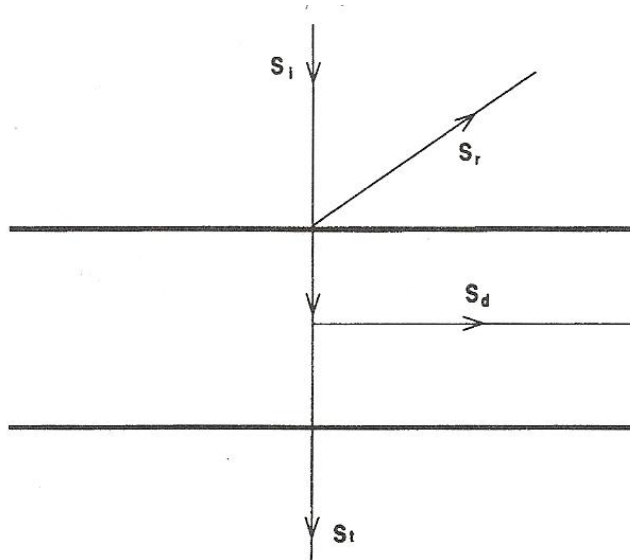


Fenomen de la difracció quan l'ona rodeja un obstacle



Fenomen de la difracció quan l'ona penetra per una obertura

- Absorció: S'anomena així al fenomen que es produeix quan una superfície impedeix l'avanç d'una ona sonora, repartint-se l'energia d'aquesta en parts variables entre el so reflectit, el so transmès i el so dissipat, denominant absorció a la suma del so transmès i el so dissipat.



Fenomen de l'absorció on S_i és el so incident, S_r el so reflectit, S_d el so dissipat i S_t el so transmès

Des del punt de vista acústic, tot material queda definit per uns coeficients que determinen les propietats absorbents, reflectants i transmissores d'aquest, anomenats coeficients d'absorció acústica (α).

Aquests coeficients depenen dels materials o elements adopten valors molt diferents en funció de la freqüència. L'absorció total d'un recinte per una determinada freqüència es troba sumant els valors de les absorcions de cadascun dels elements que el formen i la

¹⁵ Christiaan Huygens (La Haia, 1629-1695) va ser un físic i astrònom neerlandès que va realitzar grans aportacions en el camp de la dinàmica i l'òptica.

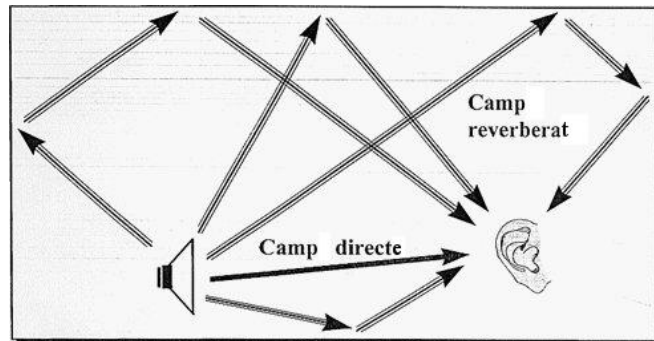
seva unitat és el sabine¹⁶, en honor al físic americà Wallece C. Sabine, del qual se'n tornarà a parlar més endavant.

5.3.2 Reverberació

Aquestes lleis del so tenen una àmplia repercussió en un altre fenomen acústic conegut com a reverberació, el qual té una gran influència en l'acústica d'un local. La reverberació és un fenomen produït per la reflexió del so que consisteix en una lleugera permanència del so una vegada la font original ha deixat d'emetre. D'aquesta manera, es diu que la reverberació ens indica el "grau de vivesa" d'una sala.

Popularment, es confon amb la ressonància, però no, ja que aquesta és el reforçament de l'amplitud sonora, degut a la coincidència d'ones similars pel que fa a la freqüència.

L'oïda pot distingir separadament sensacions que estiguin per sobre del temps de persistència, que és de 1/10 segons per a sons musicals i de 1/15 per a sons secs (per exemple la parla). Quan rebem un so ens arriba des del seu emissor a través de dos vies: el so directe (a través del camp directe) i el so que s'ha reflectit en algun obstacle (a través del camp reverberat). Així



Diferenciació entre el camp directe (indicat amb la fletxa més negra) i el camp reverberat (fletxes que reboten a les superfícies anant a parar a l'orella)

doncs, la reverberació es produeix quan les ones reflectides en les diferents superfícies del recinte, com ara les parets, arriben a l'oient abans de l'extinció de l'ona directa, és a dir, en un temps menor que la persistència acústica de l'oïda. Quan el so reflectit és intel·ligible per l'oïda humana com un segon so es parla d'eco. En aquest cas, es necessita una distància considerable entre la font emissora i qualsevol superfície on puguin rebotar les ones i arribar a l'orella passat el temps de persistència acústica, sentint així dos sons diferenciables; a més, cal que no se situïn altres elements entre la font emissora i la paret on rebotar el so, ja que n'absorbeixen una part i eviten l'eco. Per tant, en una sala on hi hagi públic, és molt difícil que es produeixi eco i, per aquesta raó, no serà un fenomen a tenir en compte en l'estudi acústic.

El fenomen de la reverberació, al modificar els sons originals, pot comportar un deficient confort acústic i, per tant, té una gran influència en el condicionament acústic d'un local; controlant adequadament aquest efecte es contribueix a millorar-ne les condicions acústiques.

¹⁶ *sabine*: És la unitat de l'absorció que equival a una superfície d'un metre quadrat que tingui un coeficient d'absorció de la unitat, és a dir, una finestra oberta d'1 m², que no provoca cap reflexió del so, es diu que absorbeix tot el que hi incideix expulsant-lo a l'exterior i té una absorció d'1 sabine.

6 EL CONDICIONAMENT ACÚSTIC

El coneixement dels fenòmens ondulatoris pot servir per a comprendre moltes qüestions pràctiques i per a aconseguir unes bones condicions acústiques en locals destinats a l'audició de concerts, sales de conferències, cinemes, teatres, esglésies, aules...

Ja s'ha parlat de l'acústica arquitectònica però, com s'ha comentat, l'estudi no correspon ben bé a aquesta branca, ja que no es tenen en compte els problemes provocats pel soroll i els seus efectes, a més de la lluita i la protecció contra aquest. Així doncs, l'estudi es basa amb una part de l'acústica arquitectònica, anomenada acústica de locals, que és una ciència relativament moderna, que investiga la propagació del so en recintes tancats i les condicions per aconseguir una bona percepció del so.

El disseny d'un espai destinat a l'audició tant musical com oratòria és, sens dubte, el més complex des del punt de vista acústic. Per una banda, no existeixen fórmules magistrals que puguin garantir a priori la qualitat acústica d'una sala i, per altra banda, cada tipus d'activitat requereix un recinte amb unes característiques específiques i diferenciades.

Al llarg de les últimes dècades, s'han fet importants esforços encaminats a relacionar les valoracions subjectives sobre la qualitat acústica d'una sala amb una sèrie de paràmetres objectius (físicament mesurables). No obstant, el marge de valors recomanats per cada paràmetre no s'ha establert com a resultat de profunds estudis matemàtics, sinó que s'ha fixat seguint un procés totalment experimental. Els valors corresponents a aquells recintes considerats excel·lents des d'un punt de vista acústic han estat elegits com a patró pel disseny de noves sales.

Tanmateix, l'èxit en el disseny no recau tan sols en aconseguir que aquests valors es trobin dins del marge desitjat, sinó que això passi a tots els punts de la sala. Així doncs, la finalitat de condicionar un determinat recinte és també aconseguir que el so provinent d'una o més fonts sonores s'emeti per igual en totes les direccions obtenint un camp sonor difós idealment. Com que aquesta uniformitat no sempre s'aconsegueix simplement gràcies a la forma estructural del local, la acústica arquitectònica intenta aproximar-se al màxim a aquest ideal a través de certes tècniques que aprofiten les qualitats d'absorció, reflexió i difusió del so que tenen els materials constructius del sostre, el terra, les parets i altres elements presents en el recinte.

Un oient situat en qualsevol punt de la sala rep dos tipus d'energia acústica: la que proporciona el so directe y la proporcionada pel so reverberat. Es defineix so directe com aquell que arriba a l'oient directament des de la font sonora sense cap tipus d'interferència i so indirecte o reverberat el que s'origina com a conseqüència de les diferents reflexions que sofreix degut a les característiques geomètriques de la sala.

Donat que la funció que complirà l'església de Sant Domènec un cop acabada serà la de recinte apte per acollir activitats culturals en general, s'estudiarà quina és l'activitat que

serà millor acollida acústicament i s'intentaran aportar propostes per adaptar l'acústica a altres possibles activitats.

6.1 PARÀMETRES ACÚSTICS

Com ja s'ha dit, per avaluar acústicament un recinte tancat s'han d'estudiar uns paràmetres acústics fonamentals per a una bona audició. El present estudi acústic de l'església de Sant Domènec es basarà principalment amb els relacionats amb la reverberació.

Els paràmetres que es tindran en compte són els següents:

- Temps de reverberació mitjà (*RT*)
- Calidesa acústica o Bass Ratio (*BR*)
- Brillantor (*Br*)
- Early Decay Time "Temps de decaïment primari" (*EDT*)

Aquests paràmetres ens indicaran quina és la resposta de la sala al so, analitzant variis aspectes de les ones sonores i observant si són o no correctes.

6.1.1 Temps de reverberació

Per valorar la intervenció acústica de la reverberació s'utilitza el temps de reverberació (T_r), que és el període de temps que dura la sensació de permanència del so una vegada la font original ha deixat d'emetre. És el temps que transcorre perquè la intensitat del so quedi reduïda a una milionèsima del seu valor inicial, a partir que el so hagi estat interromput. Equival a una disminució de 60 decibels respecte la intensitat inicial. Degut a aquesta equivalència, en alguns casos el símbol del temps de reverberació també pot ser T_{60} .

Com que està relacionat directament amb la reverberació, que és el fenomen del so que més afecta a nivell acústic, el temps de reverberació és el paràmetre més important per avaluar la qualitat acústica d'un espai.

El temps de reverberació depèn de la freqüència dels sons emesos i, molt especialment, de les dimensions i dels condicionants acústics del local, aquests últims relacionats amb el grau d'absorció dels diferents materials constructius del recinte. A continuació, s'expressen els temps de reverberació, amb els seus volums corresponents, d'una sèrie de sales de concert i de reconegut prestigi mundial:

Sala	Volum (m ³)	RT(s)
Royal Festival Hall (Londres)	22.000	1,47
Free Trade Hall (Manchester)	15.000	1,60
Usher Hall (Edimburgo)	16.000	1,65
Concertgebouw (Amsterdam)	19.000	2,00
Beethovenhalle (Bonn)	15.700	1,70
Grosser Musikvereinsaal (Viena)	15.000	2,05
Carnegie Hall (Nueva York)	24.300	1,70
Symphony Hall (Boston)	18.500	1,80
Royal Opera House (Londres)	12.300	1,20
La Scala (Milán)	11.200	1,20
Metropolitan Opera House (N. York)	19.600	1,80
Binyanei Ha Oomah (Jerusalén)	24.700	1,75
Philharmonic Hall (Nueva York)	24.400	1,90
Philharmonie (Berlín)	26.000	2,00
Kongressitalo (Helsinki)	18.000	1,70
Gewandhaus (Leipzig)	10.600	1,55
Konserthus (Goteburgo)	11.900	1,70
Musikhochschule (Berlín)	9.600	1,65
Queen Elizabeth Hall (Londres)	10.150	1,90
Radiohuset (Copenhague)	11.890	1,50
Auditorio Manuel de Falla (Granada)	10.100	1,80
Auditorio Nacional (Madrid)	22.000	2,00
Auditorio Nacional Sala de Cámara	4.500	1,60

Com es pot observar en la taula anterior, no s'intenta buscar una reverberació nul·la. Si la reverberació s'elimina del tot o si es disminueix excessivament, el so arriba massa "sec" i no és agradable. Si la reverberació és excessiva, és a dir, si els sons s'allarguen massa, es deformen i l'audició és confusa. El temps òptim del temps de reverberació d'un local depèn de l'ús concret a què es destini, que correspon a un valor suficient per allargar el temps d'excitació de l'orella sense que arribi a ser confús. La següent taula recull aquests valors òptims per a diferents activitats:

Ús de la sala	Temps de reverberació mitjà amb la sala ocupada expressat en segons
Conferències i teatre	0,7 - 1
Òpera	1,2 - 1,5
Música de cambra ¹⁷	1,3 - 1,7
Música simfònica ¹⁸	1,8 - 2,2
Música coral ¹⁹	2,0 - 3,0

La forma més senzilla per obtenir aquest temps és mitjançant la utilització d'un sonòmetre o amb l'ajuda d'un analitzador d'ona sonora. Aquest últim està compost per un ordinador, una tarja d'àudio, un programari específic de medició i un micròfon de precisió i permet l'obtenció d'unes mesures més precises. No obstant, també existeixen diverses fórmules matemàtiques que permeten obtenir, amb força aproximació, el temps

¹⁷ *Música de cambra*: Música composta per a un grup reduït d'instruments.

¹⁸ *Música simfònica*: Música interpretada per una agrupació, conjunt musical o orquestra de grans dimensions que consta de diverses famílies d'instruments musicals, com el vent fusta i metall, la corda i la percussió.

¹⁹ *Música coral*: És una música cantada per un grup de persones que actuen (canten) com una unitat.

de reverberació de qualsevol recinte. Totes elles deriven de la fórmula que Sabine²⁰ va proposar a finals del segle XIX:

$$T_r = \frac{0,161 \cdot V}{S_1 \cdot a_1 + S_2 \cdot a_2 + S_3 \cdot a_3 \dots} (s)$$

Essent *0,161* una constant, anomenada constant de Sabine, vàlida per temperatures del recinte interior al voltant dels 20°C, *V* el volum de la sala expressat en metres cúbics (m³), *S*₁, *S*₂, *S*₃, ... les superfícies dels diferents materials amb els quals està construït el local expressades en metres quadrats (m²) i *a*₁, *a*₂, *a*₃, ... els coeficients d'absorció acústica de cadascun d'aquests materials segons la freqüència (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz i 4000 Hz són les freqüències que s'aplicaran).

L'expressió del denominador (*S*₁ · *a*₁ + *S*₂ · *a*₂ + *S*₃ · *a*₃ ...) es considera com l'absorció superficial del recinte, que s'expressa en sabins.

$$A_s = \sum S_i \cdot a_i \text{ (sabins)}$$

De tota manera, a part de l'absorció superficial també hi pot haver alguns elements independents que siguin absorbents i també s'han de tenir en compte. L'absorció acústica d'aquests, expressada en sabins, es calcula mitjançant l'expressió:

$$A_e = N_1 \cdot a_1 + N_2 \cdot a_2 + N_3 \cdot a_3 \dots = \sum N_i \cdot a_i \text{ (sabins)}$$

On *N*_{*i*} és cadascun dels elements i *a*_{*i*} els seus coeficients d'absorció acústica.

A més, quan el volum del recinte és superior als 250 m³ i els sons són de freqüències mitges-elevades per obtenir una absorció total precisa, caldrà sumar-hi també l'absorció de l'aire (*A*_{*a*}), que es formula amb l'expressió *4·m·V*, on *V* és igualment el volum i *m*, el factor mig amb què la sonoritat disminueix cada metre que les ones sonores recorren, que és 0,003 m⁻¹ per a 500 Hz, 0,005 m⁻¹ per a 1000 Hz, 0,01 m⁻¹ per a 2000 Hz i 0,02 m⁻¹ per a 4000 Hz.

L'absorció de l'aire cal tenir-la en compte donat que les ones sonores disminueixen de nivell d'intensitat sonora (dB) un valor *m* per unitat de trajectòria; i més en els valors

²⁰ Wallece Clement Sabine (13 de juny de 1868 – 10 de gener de 1919) va ser un físic americà que va fundar l'anomenat camp de l'acústica arquitectònica. Basant els seus estudis en l'absorció acústica i el temps de reverberació, Sabine va ser el professional acústic del Boston's Symphony Hall, considerada com una de les millors sales de concerts del món per la seva acústica.

elevats com ja s'ha dit, ja que la influència de l'aire és més gran. El factor 4 s'aplica perquè les ones sonores són ones esfèriques i la superfície d'una esfera és $4 \cdot \pi \cdot r^2$.

Per tant, l'absorció total real d'un recinte és la suma de l'absorció superficial, l'absorció dels elements i l'absorció de l'aire.

$$A_{total} = A_s + A_e + A_a = \sum S_i \cdot a_i + \sum N_i \cdot a_i + 4 \cdot m \cdot V \text{ (sabins)}$$

Per aquesta raó, la fórmula de Sabine també es pot escriure, de forma més curta i precisa, de la següent manera:

$$T_r = \frac{0,161 \cdot V}{A_{total}} \text{ (s)}$$

D'aquí es dedueix que el temps de reverberació augmenta com més volum té local i disminueix amb la col·locació de materials més absorbents, per tant, tractant adequadament les superfícies de l'interior del local amb materials d'absorció adequada, es pot controlar el temps de reverberació d'una sala.

Aquesta fórmula ens dona el temps de reverberació (en segons) $[T_r]$ que es produeix en una determinada freqüència del so, ja que només s'apliquen els coeficients d'absorció (que com s'ha dit anteriorment, varien segons la freqüència) que pertanyen a aquesta. Per obtenir un temps de reverberació mitjà $[RT]$, que ens doni un valor aplicable per a totes les freqüències, cal fer la mitjana aritmètica entre el temps de reverberació que es produeix amb 500 Hz de freqüència i el que es produeix amb 1000 Hz, és a dir, fer la mitjana entre les freqüències mitges.

$$RT = \frac{T_r(500 \text{ Hz}) + T_r(1000 \text{ Hz})}{2} \text{ (s)}$$

No obstant, la fórmula de Sabine és únicament utilitzable en càlculs que no requereixin una gran precisió o quan no es coneguin amb molta exactitud els coeficients d'absorció dels materials, els quals per aquesta fórmula no haurien de ser majors a 0,25. Per aquesta raó, per a calcular el temps de reverberació de l'església s'utilitzarà la fórmula d'Eyring, ja que és la més precisa i la més utilitzada en estudis acústics de sales i és la que s'ha d'aplicar quan es necessita obtenir un resultat fiable. L'expressió d'aquesta fórmula és la següent:

$$T_r = \frac{0,161 \cdot V}{-S_t \cdot L_n(1 - a_m)} \text{ (s)}$$

Essent 0,161 el mateix coeficient i V el mateix volum en metres cúbics que en la fórmula de Sabine, S_t és la superfície total, és a dir, la suma de cadascuna de les superfícies S_1, S_2, S_3, \dots de l'interior de la sala en metres quadrats i a_m , el coeficient

mitjà de l'absorció superficial mitjana en sabins expressada mitjançant la següent fórmula:

$$a_m = \frac{A_s + A_e}{S_t} = \frac{\sum S_i \cdot a_i + \sum N_i \cdot a_i}{S_t}$$

El significat del negatiu en el denominador en la fórmula d'Eyring recau en què el logaritme neperià d'un nombre menor que el número e donarà un resultat negatiu i fent la divisió amb numerador i denominador de signes contraris, el temps de reverberació donarà també negatiu, cosa que no pot ser.

En la fórmula d'Eyring, de la mateixa manera que en la de Sabine, al denominador s'afegeix el sumand $4 \cdot m \cdot V$ de l'absorció de l'aire, que ja s'ha comentat anteriorment, quedant la fórmula de la següent manera:

$$T_r = \frac{0,161 \cdot V}{-S_t \cdot L_n(1 - a_m) + 4 \cdot m \cdot V} \text{ (s)}$$

Així doncs, com que l'església no està acabada del tot i falten molts materials per col·locar, els resultats que puguin donar un sonòmetre o un analitzador d'ona sonora no seran reals, i, per tant, el temps de reverberació que s'obtindrà i es podrà valorar serà l'extret de la mitjana aritmètica entre el valor del temps de reverberació per a 500 Hz de freqüència i el del temps de reverberació per a 1000 Hz, tots dos obtinguts a partir de la fórmula d'Eyring, aplicant les superfícies dels materials amb els seus coeficients d'absorció que en un futur es col·locaran dins l'església de Sant Domènec.

6.1.2 Calidesa acústica o Bass Ratio

Si una sala presenta bona resposta a freqüències baixes es diu que té bona calidesa acústica. Aquest concepte representa la riquesa en sons greus, melositat i suavitat de la música en la sala.

Com a mesura objectiva d'aquest paràmetre, s'utilitza el Bass Ratio (BR) definit per Beranek²¹ com la relació entre la suma dels temps de reverberació (T_r) a freqüències baixes (125 Hz i 250 Hz) i la suma dels temps de reverberació corresponents a freqüències mitjanes (500 Hz i 1000 Hz) i, per tant, no té unitat:

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

²¹ Leo Leroy Beranek (nascut el 15 de setembre de 1914) és un físic americà expert en acústica.

Aquest concepte és només aplicable a la música i no a la parla, i segons Beranek els marges dels valors vàlids per a una sala de concerts de música simfònica totalment ocupada varien segons el valor del temps de reverberació mitjà i són els següents:

- Si $TR \simeq 1,8$ segons, el marge de valors acceptable per a la calidesa acústica és:

$$1,10 \leq BR \leq 1,45$$

- Si $TR \simeq 2,2$ segons, aleshores: $1,10 \leq BR \leq 1,25$

Per obtenir un valor correcte de calidesa acústica caldrà tenir especial cura amb els coeficients d'absorció a freqüències baixes dels diversos materials de l'interior del local.

6.1.3 Brillantor

També relacionat amb el temps de reverberació, el terme brillantor (Br) s'aplica únicament a la música i indica si el so és clar i ric en harmònics²². Es defineix com la relació entre la suma dels temps de reverberació (T_r) a freqüències altes (2000 Hz i 4000 Hz) i la suma dels temps de reverberació corresponents a freqüències mitjanes (500 Hz i 1000 Hz); tal com el Bass Ratio, la brillantor tampoc té unitat:

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

Alguns autors recomanen que el valor de brillantor per a sales totalment ocupades verifiqui que:

$Br \geq 0,87$; però, en qualsevol cas, s'aconsella que la brillantor no sigui superior a 1.

Al ser un concepte molt semblant a la calidesa acústica, per obtenir un valor correcte de brillantor també caldrà vigilar els coeficients d'absorció dels diversos materials de l'interior del local, però aquest cop a freqüències elevades.

6.1.4 Early Decay Time

L'Early Decay Time (temps de decaïment primari -traducció aproximada en català-) es defineix com sis vegades el temps que transcorre des que el focus emissor ha deixat d'emetre fins que el nivell d'intensitat sonora cau 10 dB. Igual que el temps de reverberació, el temps de decaïment és un indicador del grau de "vivesa" de la sala, però en aquest cas, de "vivesa subjectiva". El temps de reverberació mesura la reverberació real i l'Early Decay Time (EDT) la reverberació percebuda. Són conceptes molt

²² *harmònics*: Són les vibracions addicionals que es produeixen a partir d'un so generador i canvien la qualitat del so fonamental, fent un so més ric.

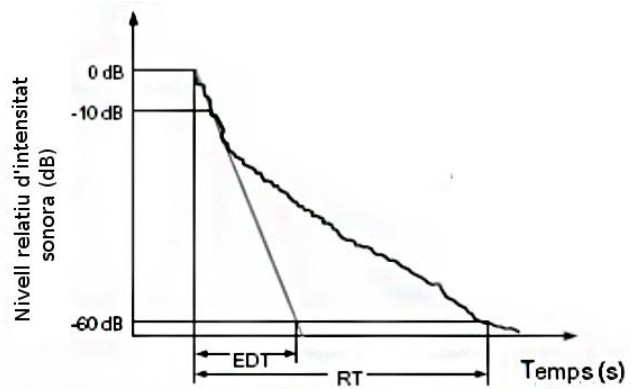
semblants, ja que l'EDT multiplica per sis el temps que triga el so a reduir 10 dB i el temps de reverberació directament calcula el temps que tarda a disminuir 60 dB.

Aquest paràmetre permetrà observar si la difusió del so dins la sala és uniforme, cosa que passa quan la sala té una geometria regular i una

distribució homogènia dels materials absorbents. Si es donen aquestes condicions, el temps de reverberació mitjà (RT) i el temps de decaïment primari (EDT) són aproximadament igual. No obstant, en general, els locals no compleixen aquests requisits i, en ells, el RT i l'EDT difereixen.

Així doncs, per garantir una bona difusió el valor recomanat per al temps de decaïment primari ha de ser similar al del temps de reverberació mitjà: $EDT \approx RT$

No existeix una fórmula precisa per calcular l'Early Decay Time i, per aquesta raó, es farà mitjançant un sonòmetre o un analitzador d'ona sonora. Els resultats no seran reals ja que l'interior de l'església no està acabat, però ens donarà un valor indicatiu.



Gràfica de relació entre el temps de reverberació (RT) i el temps de decaïment primari (EDT)

7 DESENVOLUPAMENT PRÀCTIC

Un cop acabada aquesta part teòrica, que servirà per entendre tots els procediments que es seguiran a continuació, comença l'estudi acústic de l'església de Sant Domènec. Aquest estudi per aconseguir un bon condicionament acústic del recinte es basarà en una sèrie de càlculs basats amb les fórmules dels paràmetres acústics i també en alguna comprovació "in situ" mitjançant aparells específics.

L'objectiu és obtenir uns valors que es puguin interpretar per poder observar si el condicionament acústic de l'església és el correcte tenint en compte la funció d'aquesta.

7.1 CÀLCULS I RESULTATS

Abans d'utilitzar les fórmules dels paràmetres acústics (temps de reverberació, Bass Ratio i brillantor) ha calgut obtenir una estimació del volum i de les diferents superfícies del recinte. Per aquesta raó, es van demanar a l'arquitecte de l'obra de rehabilitació de l'església, Antoni Martí, alguns dels plànols que permetessin fer les mesures necessàries. Es poden trobar a l'annex 1.

Així doncs, fent aproximacions geomètriques sobre paper i també amb algunes comprovacions a l'església, s'han obtingut tant el volum com les superfícies del recinte. Després d'això, s'han classificat les diferents superfícies segons els materials, amb l'assessorament de l'arquitecte, per així poder establir un coeficient d'absorció acústica específic a cadascun.

L'església de Sant Domènec té un volum de 5829 m³ i una superfície total de 3596 m². Pel que fa als materials de les superfícies, les parets són de guix i pedra, el terra serà pràcticament tot de formigó, exceptuant l'escenari i un altell que es situarà a l'entrada. En aquests el terra serà un entarimat de fusta. El sostre és de pedra, guix, totxo i morter i hi ha instal·lat un sostre acústic molt absorbent. Tot això, a part de les finestres, portes i baranes que seran de vidre i de les suposades cadires que es disposaran per als esdeveniments, que seran de plàstic.

Aquests documents de mesures i càlculs es poden trobar a l'annex 2 i 3, juntament amb unes taules que contenen els coeficients d'absorció de materials varis, que es troben a l'annex 4.

Cal dir també, que els procediments de càlcul s'han fet seguint el CTE²³ (codi tècnic d'edificació).

²³ El Codi Tècnic de l'Edificació (CTE) és el marc normatiu que estableix les exigències que han de complir els edificis en relació amb els requisits bàsics de seguretat i habitabilitat establerts en la Llei 38/1999 de 5 de novembre, d'Ordenació de l'Edificació.

7.1.1 Absorció acústica

Per començar, cal calcular l'absorció total de la sala per a les diferents freqüències, tenint en compte si la sala és plena, al 50% o buida (o quasi bé) de públic i si està actuant una orquestra simfònica²⁴ o es tracta d'una conferència. S'han agafat aquestes dues activitats, perquè marquen els extrems de l'ocupació de l'escenari; una orquestra és l'ocupació màxima, en canvi, un conferenciant és l'ocupació mínima. Aquesta absorció acústica s'ha calculat, tal com es pot veure en les taules de càlcul de l'absorció en l'annex 3, establint per a cada diferent material el seu coeficient d'absorció i multiplicant aquest últim per la superfície que tenen (absorció superficial) o pel nombre de persones quan es tracta de l'orquestra o el conferenciant (absorció dels elements).

$$A_s = \sum S_i \cdot a_i \text{ (sabins)} \quad \Bigg| \quad A_e = \sum N_i \cdot a_i \text{ (sabins)}$$

Els resultats de l'absorció superficial, en sabins, han estat els següents:

125 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	388,7	376,9	364,9
Conferenciant	393,3	381,4	369,5

250 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	506,6	488,4	470,1
Conferenciant	511,2	492,9	474,7

500 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	548,7	524,4	500,1
Conferenciant	552,8	528,5	504,2

1000 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	634,4	607,2	580,0
Conferenciant	638,9	611,7	584,

2000 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	629,0	601,8	574,6
Conferenciant	634,0	606,8	579,6

²⁴ *Orquestra simfònica*: Orquestra de grans dimensions que agrupa totes les famílies d'instruments, pensada per interpretar la música simfònica.

4000 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	645,5	619,7	596,0
Conferenciant	649,0	623,2	599,6

La diferència, pel que fa a l'afluència de públic, recau en l'absorció que tenen l'àrea d'audiència ocupada, la superfície que queda lliure de cadires i en la part del terra a la qual hi arriba el so. Que actuï una orquestra o es dugui a terme una conferència afecta a l'absorció superficial pel fet que una orquestra simfònica ocupa tota la superfície de l'escenari, mentre que l'àrea que ocupa un conferenciant és insignificant.

A continuació, es mostren els resultats de l'absorció dels elements sense considerar si la sala és plena o buida, ja que l'absorció acústica de la zona del públic no té efectes sobre la de l'escenari.

125 Hz	Absorció acústica (sabins)
Orquestra	15,2
Conferenciant	0,21

250 Hz	Absorció acústica (sabins)
Orquestra	32,8
Conferenciant	0,33

500 Hz	Absorció acústica (sabins)
Orquestra	44,8
Conferenciant	0,41

1000 Hz	Absorció acústica (sabins)
Orquestra	56,0
Conferenciant	0,42

2000 Hz	Absorció acústica (sabins)
Orquestra	49,2
Conferenciant	0,46

4000 Hz	Absorció acústica (sabins)
Orquestra	46,4
Conferenciant	0,42

Les diferències d'absorció dels elements entre quan actua una orquestra i quan es tracta d'una conferència són: per una banda, les persones tenim un coeficient d'absorció

diferent segons estiguem drets o asseguts tocant un instrument i, per altra banda, és clar que no absorbeix el mateix un sol conferenciant que una orquestra de 40 membres (més o menys el nombre de persones que formen una orquestra simfònica mitjana).

Havent obtingut els valors de les absorcions superficials, es pot calcular el coeficient d'absorció mitjana (a_m) de l'absorció superficial del recinte, tenint en compte les variables que ja s'han comentat:

$$a_m = \frac{\sum S_i \cdot a_i + \sum N_i \cdot a_i}{S_t}$$

125 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	0,1106	0,1073	0,1041
Conferència	0,1077	0,1045	0,1012

250 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	0,1476	0,1427	0,1377
Conferència	0,1400	0,1350	0,1300

500 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	0,1625	0,1558	0,1492
Conferència	0,1514	0,1448	0,1381

1000 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	0,1890	0,1815	0,1741
Conferència	0,1750	0,1675	0,1601

2000 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	0,1834	0,1760	0,1686
Conferència	0,1716	0,1642	0,1568

4000 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	0,1871	0,1801	0,1737
Conferència	0,1756	0,1686	0,1622

Un cop calculat el coeficient d'absorció mitjà, s'ha de calcular l'absorció de l'aire per a les freqüències de 500, 1000, 2000 Hz i 4000 Hz:

$$A_a = 4 \cdot m \cdot V (\alpha)$$

El valor que varia segons la freqüència és m , tal i com es pot comprovar mirant la fórmula descrita anteriorment. Al no considerar que l'afluència de públic provoqui un canvi de volum del recinte a tenir en compte, l'absorció de l'aire només canvia amb la freqüència, augmentant com més gran és aquesta.

500 Hz

$$A_a = 4 \cdot 0,003\text{m}^{-1} \cdot 5829\text{m}^3 = 59,948 \text{ sabins}$$

1000 Hz

$$A_a = 4 \cdot 0,005\text{m}^{-1} \cdot 5829\text{m}^3 = 116,58 \text{ sabins}$$

2000 Hz

$$A_a = 4 \cdot 0,01\text{m}^{-1} \cdot 5829\text{m}^3 = 233,16 \text{ sabins}$$

4000 Hz

$$A_a = 4 \cdot 0,02\text{m}^{-1} \cdot 5829\text{m}^3 = 466,32 \text{ sabins}$$

7.1.2 Temps de reverberació

Havent calculat tota l'absorció acústica, és el moment de calcular, en primer lloc, el temps de reverberació per a cada freqüència (125, 250, 500, 1000, 2000 i 4000 Hz) i, després, el temps de reverberació mitjà:

$$T_r = \frac{0,161 \cdot V}{-S_t \cdot L_n(1 - a_m) + 4 \cdot m \cdot V} \text{ (s)}$$

125 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	2,192 s	2,263 s	2,338 s
Conferència	2,254 s	2,328 s	2,407 s

250 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	1,608 s	1,669 s	1,734 s
Conferència	1,703 s	1,771 s	1,844 s

500 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	1,326 s	1,383 s	1,444 s
Conferència	1,422 s	1,487 s	1,557 s

1000 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	1,053 s	1,094 s	1,139 s
Conferència	1,133 s	1,181 s	1,232 s

2000 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	0,955 s	0,989 s	1,024 s
Conferència	1,010 s	1,047 s	1,086 s

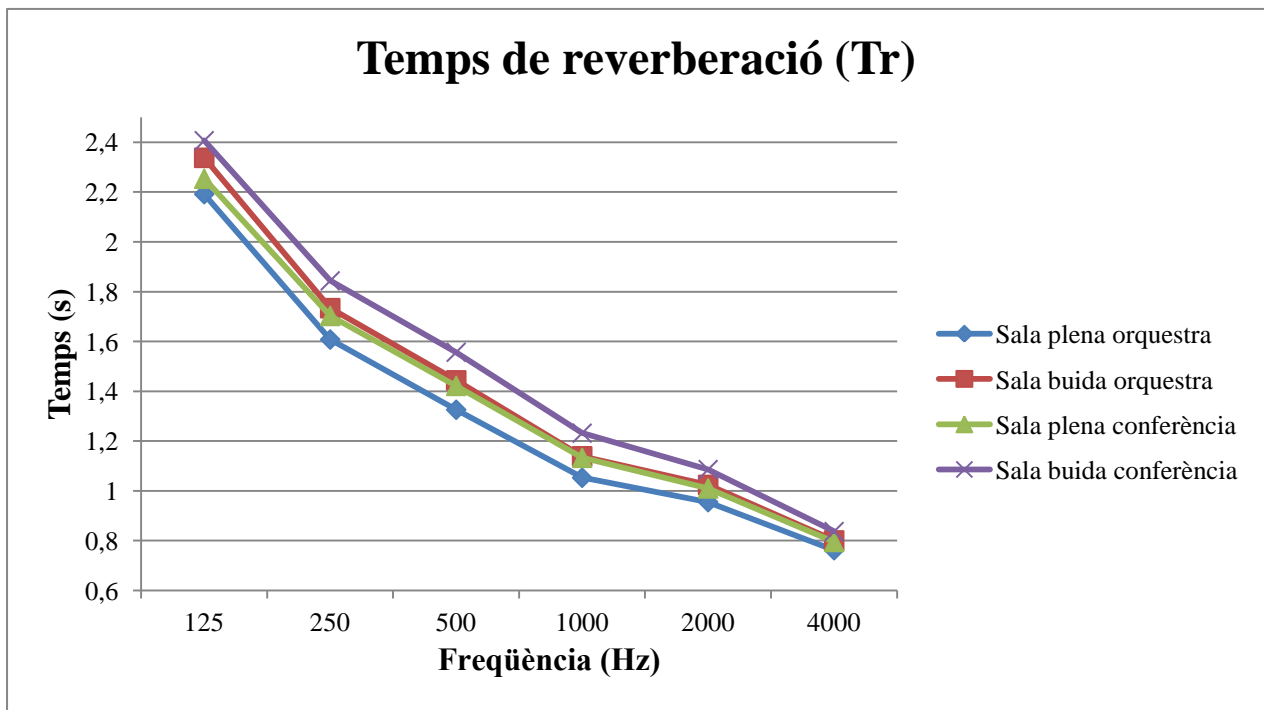
4000 Hz	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	0,762 s	0,782 s	0,801 s
Conferència	0,795 s	0,817 s	0,837 s

$$RT = \frac{T_r(500 \text{ Hz}) + T_r(1000 \text{ Hz})}{2} \text{ (s)}$$

Temps de reverberació mitjà (RT)	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Orquestra	1,190 s	1,239 s	1,291 s
Conferència	1,278 s	1,334 s	1,394 s

Tal i com es pot observar, el temps de reverberació disminueix mentre van augmentant les freqüències del so, pel fet que a freqüències elevades el so s'absorbeix més fàcilment. També és menor com més afluència de públic tingui la sala, degut a que els espectadors absorbeixen una bona part del so. Per aquesta raó, és més petit quan actua una orquestra que quan es tracta d'una conferència.

A continuació, es mostra un gràfic. En ell es reflecteixen les mesures del temps de reverberació per a les diferents freqüències quan actua una orquestra o s'està duent a terme una conferència i quan la sala està plena o buida:



Com s'observa en la última taula, el temps de reverberació mitjà no és dolent, ja que indica una reverberació força controlada, però és un valor per a la sala totalment ocupada que no s'adapta a cap dels dos casos plantejats: ni a l'actuació d'una orquestra simfònica ni a l'exposició oral d'un conferenciant. És un temps de reverberació correcte per a l'òpera, un esdeveniment que és molt difícil que es dugui a terme a l'església; també es podria considerar acceptable per a música de cambra, però per aquesta activitat s'intentarà buscar alguna millora, acústicament parlant.

Degut a que la sala està pensada per acollir diferents activitats, caldrà proposar millores que s'adaptin a cadascuna de les situacions per separat, per tant, s'hauran d'utilitzar elements que es puguin posar i treure sense massa dificultat. Es necessita un temps de reverberació major per a la música simfònica i menor per a les conferències.

Per acabar de comentar el temps de reverberació, cal dir que el sostre acústic que s'hi ha col·locat fa un treball d'atenuació molt bo, ja que degut al gran volum de l'església i al no tenir superfícies especialment absorbents, en un primer moment, es podia pensar que el temps de reverberació sortiria força elevat. Però no ha estat així, gràcies a aquest sostre format bàsicament per llistons de fusta, que absorbeix fantàsticament el so i que és el principal element que evita una reverberació excessiva.

La forma del sostre acústic i els materials amb què ha estat construït es poden consultar als plànols 11 i 12 de l'annex 1.

7.1.3 Calidesa acústica o Bass Ratio

Tenint els valors del temps de reverberació per a les freqüències baixes amb la sala totalment ocupada, es pot calcular la calidesa acústica o Bass Ratio.

$$BR = \frac{T_r(125Hz) + T_r(250Hz)}{T_r(500Hz) + T_r(1000Hz)} = \frac{2,20s + 1,61s}{1,45s + 1,23s} = \mathbf{1,60}$$

Aquest valor de calidesa acústica o Bass Ratio ens indica, observant simplement el resultat, que la sala no té una bona resposta a les freqüències baixes i que els sons greus no és reproduïen amb tota la melositat i suavitat que ho podrien fer.

Tot i que aquest valor no entra dins els marges òptims i tenint en compte que el temps de reverberació mitjà calculat en l'apartat 7.1.2 no és l'ideal per una orquestra simfònica, perquè no es troba entre 1,8 i 2,2 segons, en aquests moments no cal donar-li massa importància. Més endavant, en les propostes de millora caldrà observar-lo més detingudament.

7.1.4 Brillantor

De la mateixa manera, però amb els temps de reverberació a les freqüències altes, també és pot obtenir el valor de la brillantor.

$$Br = \frac{T_r(2000Hz) + T_r(4000Hz)}{T_r(500Hz) + T_r(1000Hz)} = \frac{1,25s + 1,22s}{1,45s + 1,23s} = \mathbf{0,72}$$

El valor d'aquest paràmetre tampoc és massa correcte, ja que queda fora dels valors òptims, indicant que el so en el recinte no és del tot clar ni ric en harmònics. Malgrat tot, passa exactament el mateix que amb la calidesa acústica o Bass Ratio (que el temps de reverberació mitjà no entra dins el marge correcte per la música simfònica), per tant, es valorarà més endavant.

7.1.5 Early Decay Time

Al no existir cap fórmula per calcular l'EDT, el seu valor s'havia d'obtenir mitjançant un programa d'ordinador que analitza com es rep un impuls sonor dins el recinte i un sonòmetre.

Per fer això, s'ha dut a terme una pràctica a l'església amb l'ajuda d'en Robert Canela, estudiant de sonologia a l'ESMUC²⁵, qui ha facilitat material tècnic necessari per a la prova: l'ordinador amb el programa (versió de prova del Dirac 5²⁶), un micròfon de

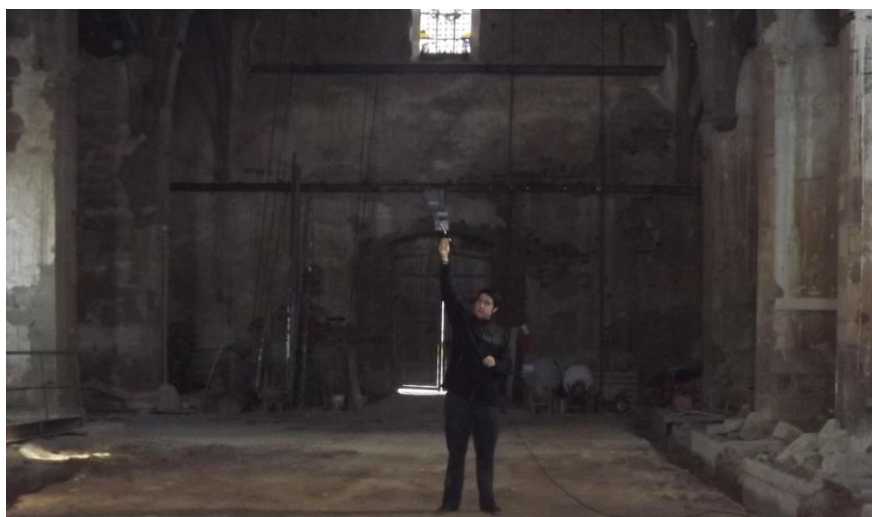
²⁵ L'Escola Superior de Música de Catalunya (ESMUC) és l'únic centre oficial d'iniciativa pública que imparteix a Catalunya el Títol superior de música, en el marc de la nova ordenació dels ensenyaments artístics i la seva inserció en l'Espai Europeu de l'Educació Superior.

²⁶ Dirac és una eina acústica de programari per enginyers de camp o de laboratori. Mesura les respostes d'impuls i calcula diversos paràmetres d'acústica de sales.

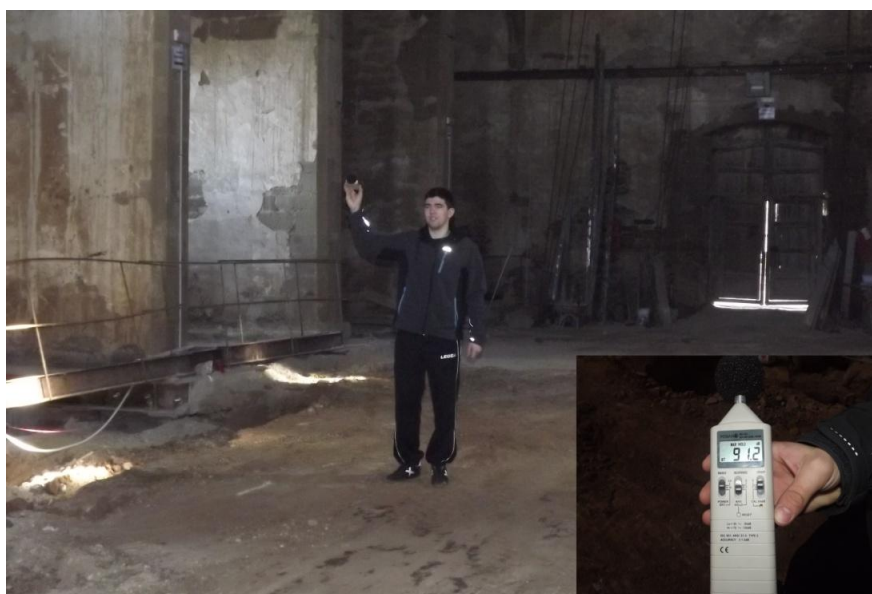
medició i una tarja d'àudio externa. També han fet falta globus, petards i una agulla, que han sigut d'aportació pròpia, i un sonòmetre, que m'han cedit molt amablement.

Primer s'ha instal·lat l'ordinador amb la tarja d'àudio i s'hi ha connectat el micròfon, col·locant-lo al centre de la sala. A continuació, fent petar un globus amb l'agulla o esclatant un petard en la zona de l'escenari, el micròfon ha rebut tant l'ona sonora directa com les ones reflectides que es provoquen i, finalment, l'ordinador ha interpretat els resultats. També amb el sonòmetre s'ha mesurat com evoluciona el nivell d'intensitat sonora (dB) en la sala.

Com s'ha dit anteriorment, els resultats aportats per l'ordinador, que es comentaran a continuació, no són fiables, ja que, com es pot veure en les imatges preses durant la pràctica, la rehabilitació de l'església no està acabada, però són mesures indicadores.



En Robert Canela, aguantant el micròfon de mesures, en alt a la mà dreta, connectat a l'ordinador mitjançant la tarja d'àudio externa. Aquests últims aparells no es veuen, però estaven a la dreta de la imatge, darrere una columna



Altres mesures fetes amb el sonòmetre, situat a la mà dreta. A l'extrem inferior dret, un resultat d'una comprovació que es va fer amb l'aparell

Les taules i gràfics obtingudes durant la pràctica aporten valors dels paràmetres i observacions molt interessants. Són els següents:

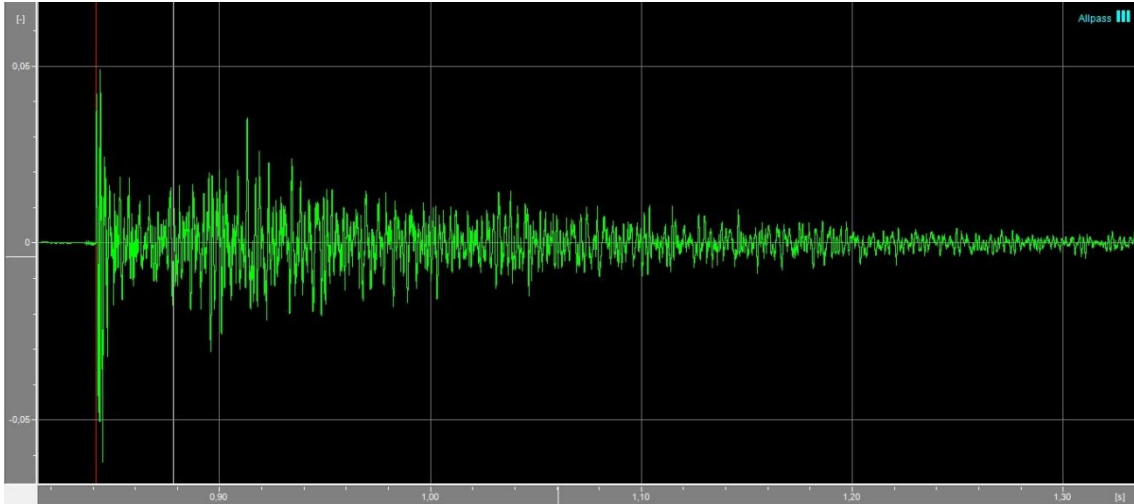


Figura 1

En la *figura 1* es pot veure l'ona sonora o, més ben dit, la suma de l'ona directa i les reflectides, que provoca l'esclat del globus amb l'agulla. Tot i no veure's massa bé, la barra vertical indica amplitud en metres i la barra horitzontal el temps en segons. S'observa doncs, com l'ona va disminuint la seva amplitud amb el temps. No és un gràfic que tingui gran repercussió en l'estudi que s'està fent, però està bé contemplar l'ona que es produeix. Aquesta disminució de l'amplitud de l'ona sonora és pot veure millor en el gràfic següent on es representa l'amplitud com a nivell d'intensitat sonor. (*figura 2*).

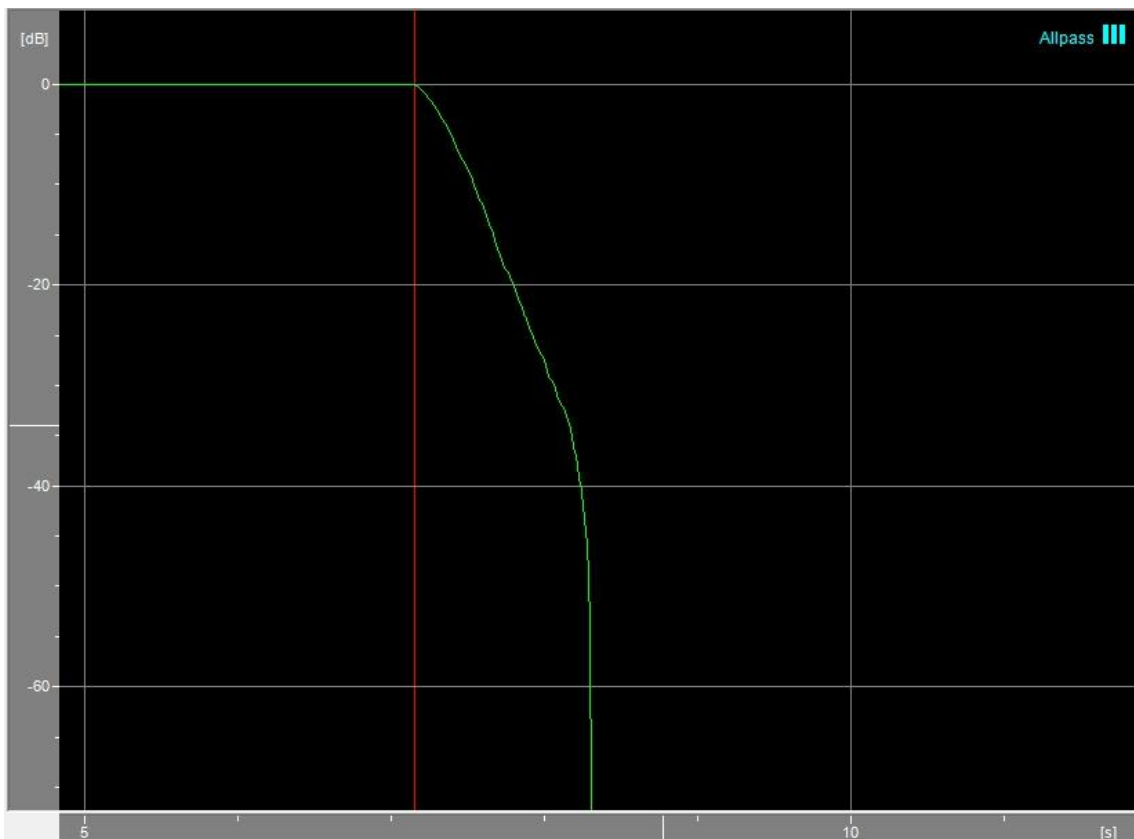


Figura 2

El decaïment dels decibels es pot contemplar de forma diferent amb el gràfic de decaïment de la intensitat sonora anterior, que serveix per calcular tant l'Early Decay Time com el temps de reverberació. El programa agafa com a punt de partida (la línia vertical vermella) el moment en què es produeix l'impuls sonor (esclat del petard en aquest cas), i, a partir d'aquí, va analitzant com va disminuint el nivell d'intensitat sonora (en decibels) amb el temps (en segons).

El programa agafa com a valor inicial el 0 i va observant com van caient els decibels (-20, -40, -60), sense obtenir un valor real de sonoritat. Amb el sonòmetre s'ha mesurat, donant l'esclat del petard un valor màxim de 125,1 dB.

Cal recordar que l'EDT és sis vegades el temps que tarda el so a disminuir 10 dB i que el temps de reverberació és el que triga a reduir 60 dB i, per tant, ja és pot intuir amb aquest gràfic com serà el temps de decaïment primari respecte al de reverberació.

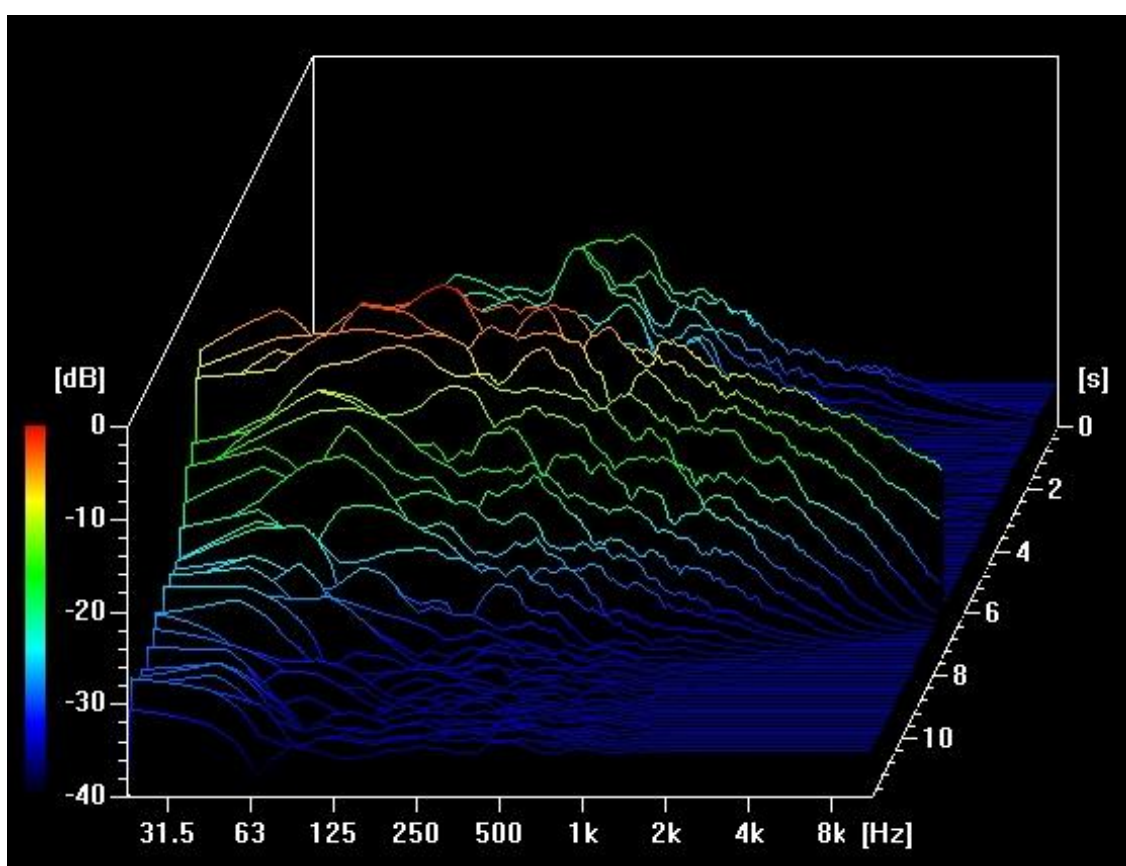


Figura 3

En el gràfic de la *figura 3* s'observa el mateix que en l'anterior però en tres dimensions, afegint-hi també la variació de decibels respecte la freqüència. L'esclat del petard es produeix més o menys als 4 segons, moment en què es veu el pic d'intensitat sonora.

A continuació es troba la taula amb les mesures calculades pel programa d'ordinador, el Dirac, a partir dels impulsos sonors. És la taula de l'esclat d'un globus; la d'un petard no

està introduïda en el treball, ja que, com ha de ser, els valors dels paràmetres són els mateixos:

▶ EDT [s]	1,521
RT [s]	1,328

Bé, tenint en compte que l'església estava pràcticament nua, essent tot el terra de sorra i grava, sense haver-hi finestres, es pot dir que el valor de temps de decaïment prematur (EDT) no dóna molt incorrecte, ja que queda per sobre el temps de reverberació mitjà (RT), però bastant pròxim. Tot i això, ens indica que la difusió de l'església no és bona del tot i que la sensació de perdurabilitat del so serà major que la que indiqui el RT.

També s'observa amb aquest resultat, com en l'obtingut sobre paper, que el treball que realitza el sostre acústic és extraordinari, reduint el temps de reverberació fins el valor que es pot veure.

Aquests són els valors que s'han pogut obtenir tal com està l'església; pot ser que variïn una mica quan la sala estigui totalment acabada, però, el valor de l'EDT, no es podrà tornar a comprovar, ja que el termini d'entrega del treball no ha coincidit amb la finalització de l'obra que encara tardarà arribar. Sí que s'ha calculat ja el temps de reverberació que tindrà l'església, simulant, amb l'assessorament de l'arquitecte de l'obra, els materials que es col·locaran en un futur.

Comparant el temps de reverberació donat pel programa fent la comprovació "in situ" i l'obtingut a partir dels càlculs sobre paper, establint la rehabilitació de l'església acabada, s'observa que la diferència entre els valors per a la sala buida o quasi bé, tal com estava el dia de la pràctica, és mínima. El dubte que sorgeix és el següent: com és que considerant que hi ha una orquestra sobre l'escenari i que s'ha reduït el volum del recinte col·locant una porta en una de les capelles, el temps de reverberació sigui semblant al donat per l'ordinador en una sala acabada? Doncs bé, això és pel fet que, tenint en compte l'estat actual, les finestres sense vidre que donen a l'exterior absorbeixen tot el so que hi incideix i són superfícies d'absorció màxima i, a més, la sorra i la grava del terra tenen un coeficient d'absorció força més gran que el del formigó amb el qual es pavimentarà el local més endavant.

Havent obtingut tots els resultats i un cop feta una petita reflexió sobre cadascun, ara és hora de proposar alguna solució per aquells valors que no hagin sortit del tot correctes. Degut a que el temps de reverberació de l'església no ha resultat ser l'òptim per a les activitats que s'han de desenvolupar-hi, són tots els paràmetres acústics que s'han de corregir, exceptuant l'Early Decay Time que no es podrà tornar a mesurar.

Per aquesta raó, s'aportaran alguns sistemes per a optimitzar l'acústica, sempre tenint en compte, és clar, que el recinte ha de ser polivalent i ha de servir per a múltiples activitats. Per tant, cadascuna de les propostes serà destinada a adaptar les condicions acústiques a un tipus d'activitat i no tindrà repercussions negatives vers cap altra.

8 PROPOSTES DE MILLORA

Per aconseguir millores a nivell acústic que optimitzin una activitat i no repercuteixin a cap altra, es treballarà amb dos casos diferents: disminuint el temps de reverberació mitjà (RT) i augmentant-lo. La conferència i el teatre són els casos en què s'ha de reduir el RT, i la música de cambra, la música coral i la música simfònica activitats en què es necessita un temps de reverberació major per aconseguir una acústica correcta. A més, en el cas de la música d'orquestra (simfònica) també es comprovarà si és possible aconseguir un millor resultat per als paràmetres de la brillantor i la calidesa acústica, que optimitzi encara més el gaudi sonor en l'església.

Per tant, es treballarà en el condicionament acústic per a cinc activitats diferents: la conferència, el teatre, la música de cambra, la música simfònica i la música coral. L'òpera no es tindrà en compte, ja que, com ja s'ha dit, és un esdeveniment que rarament es produirà a Sant Domènec.

8.1 Conferència i teatre

Perquè tant la conferència com el teatre s'adaptin acústicament al recinte fa falta reduir el temps de reverberació mitjà amb la sala ocupada del valor obtingut anteriorment simulant l'exposició oral d'un conferenciant (1,278 s) almenys fins a 1 segon. Per això cal instal·lar superfícies que absorbeix bé el so, les quals, per comoditat, es col·locaran tocant a les parets. Degut a que ha de ser quelcom que no tingui complicacions per posar i treure no poden ser revestiments, que serien molt efectius, però molt difícils de retirar, i, per tant, s'ha decidit que unes cortines de teixit espès, que es puguin plegar i desplegar, serien les ideals.

Aquestes cortines tenen un coeficient d'absorció acústica per a 500 i 1000 Hz (les freqüències importants per calcular el temps de reverberació mitjà) de 0,35 i 0,45, respectivament. Per aconseguir el RT desitjat es necessiten concretament 386,6 m² del teixit de les cortines, per així poder-les adaptar a les parets de l'església, tal com s'observa en el plànol indicatiu de la pàgina següent. La idea és col·locar les cortines amb algun sistema que permeti plegar-les o desmuntar-les amb facilitat; estaria bé que es poguessin fer córrer horitzontalment per la paret sobre una guia situada a l'extrem superior, fins arribar a retirar-les en un costat.



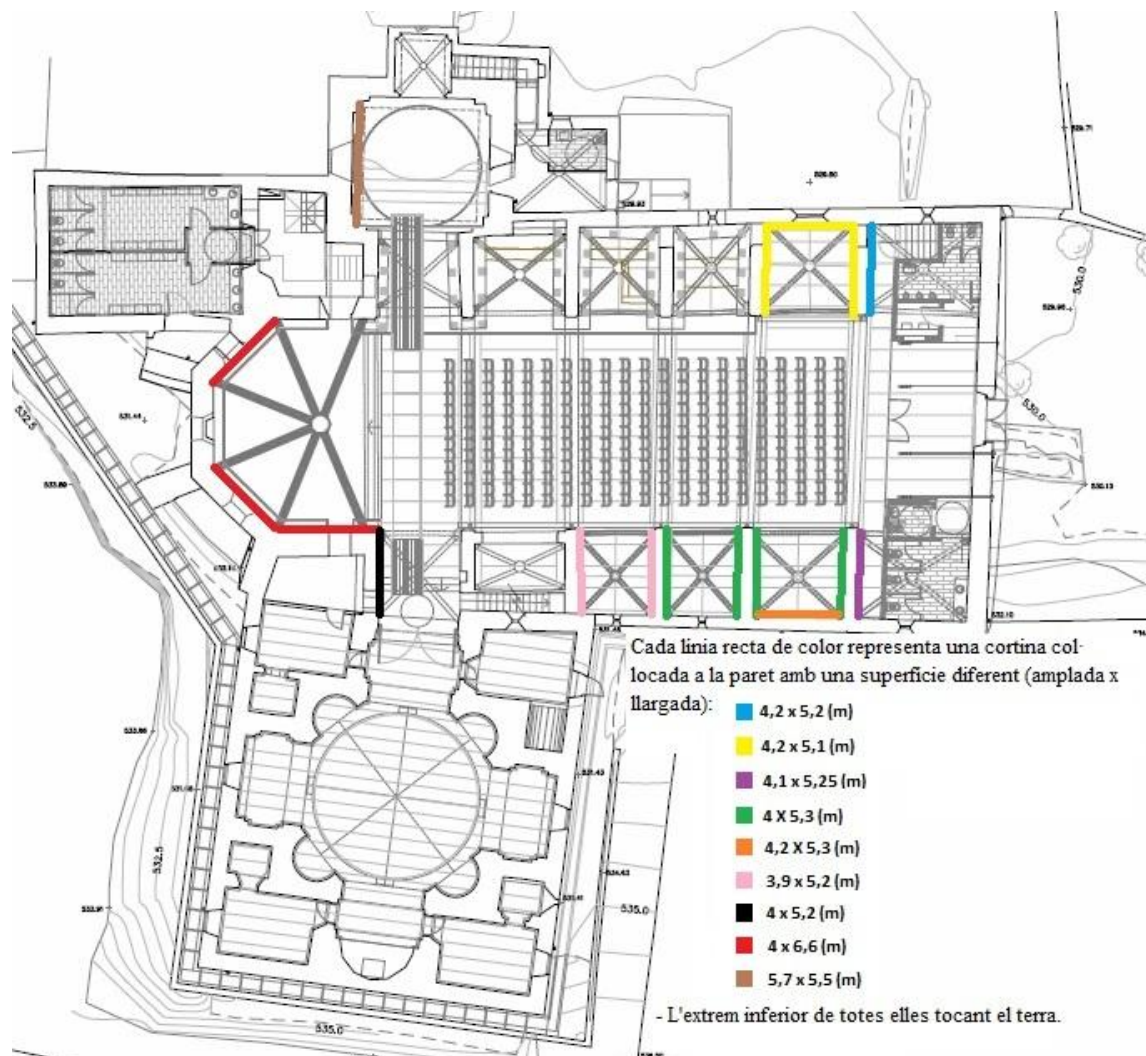
El sistema de les cortines ideat seria semblant amb aquest. Quan es necessités la seva absorció, cortines desplegades, i quan no, cortines ben recollides en un costat

500 Hz	Superfície (m ²)	Coeficient d'absorció	Absorció (sabins)
Cortines [211] ²⁷	386,6	0,35	135,310

1000 Hz	Superfície (m ²)	Coeficient d'absorció	Absorció (sabins)
Cortines [211]	386,6	0,48	185,568

Pel càlcul de la nova absorció superficial total, ha calgut sumar-hi l'absorció de les cortines i restar superfície als materials sobre els quals es col·loquin (al ser parets, els materials són pedra i guix, repartits de forma desigual).

Amb aquesta reforma, s'obté un temps de reverberació mitjà d'1,030 segons; un valor totalment acceptable per a la realització d'una conferència o de teatre.



²⁷ El número de referència correspon amb el llistat de coeficients d'absorció que es pot trobar en l'annex 3.

8.2 Música de cambra

Per aconseguir un bon condicionament acústic per un tipus d'esdeveniment com la música de cambra amb la sala totalment ocupada, cal augmentar una mica el temps de reverberació obtingut amb els primers càlculs i fer que entri dins el marge que va de l'1,3 a l'1,7 segons. Per tant, el primer de tot és no comptar amb les cortines espesses proposades anteriorment per reduir el RT.

Al no haver fet uns càlculs específics de l'absorció per a la música de cambra, sinó que només s'han realitzat amb la conferència i la música simfònica, s'ha pres com a model la taula de càlculs de la conferència per obtenir el resultat del nou temps de reverberació mitjà (RT), ja que l'ocupació d'escenari d'un grup de cambra és mínima, al igual que la d'un conferenciant.

El sistema que s'ha ideat per a fer augmentar el RT tant en aquest cas com en els de la música simfònica i coral, és el de limitar l'element més absorbent de tot el recinte, el sostre acústic, també utilitzant cortines, ja que és un sistema fàcil d'instal·lar i molt manejable, però no amb la mateixa intenció. En aquest cas, les cortines serviran per impedir que el so arribi al sostre acústic i evitar que l'absorbeixi. Per aquesta raó, també cal mirar que les cortines no siguin massa bones absorbents.

Entre els diferents arcs de volta de l'església hi ha situats sis blocs de sostre acústic que s'han numerat de l'1 al 6 començant per la banda de la porta principal de la sala.

Diferents blocs del sostre acústic col·locats entre els arcs de volta. En els plànols de seccions 8, 9 i 10 de l'annex 1, es pot veure millor la seva col·locació



La idea és col·locar de la forma més propera possible al sostre acústic una cortina de teixit prim ben tensada, amb un coeficient d'absorció per a 500 i 1000 Hz de 0,11 i 0,18 respectivament; coeficients bastant més petits que els del sostre acústic. Aquestes cortines han de cobrir totalment el nombre que es triï de blocs del sostre acústic i, per fer això, s'ha pensat un sistema amb unes guies corbes que recorrin els diferents arcs de volta entre els quals es decideixi situar els teixits i que permetin el desplaçament de la tela al llarg del sostre acústic amb la mínima distància entre aquests.

Com que no es necessita una gran reducció del temps de reverberació i, conseqüentment, de l'absorció acústica, en aquest cas només farà falta tapar amb la cortina un sol bloc del sostre acústic, el primer, doncs té la superfície més gran.

500 Hz	Superfície (m ²)	Coeficient d'absorció	Absorció (sabins)
Sostre acústic total en condicions normals	434,3	0,85	369,155

1000 Hz	Superfície (m ²)	Coefficient d'absorció	Absorció (sabins)
Sostre acústic total en condicions normals	434,3	0,90	390,870

500 Hz	Superfície (m ²)	Coefficient d'absorció	Absorció (sabins)
Cortines [206]	92,6	0,11	10,186

1000 Hz	Superfície (m ²)	Coefficient d'absorció	Absorció (sabins)
Cortines [206]	92,6	0,18	16,668

Pel càlcul de la nova absorció superficial total, ha calgut sumar-hi l'absorció de la cortina i restar la superfície del sostre acústic a la qual no hi pot arribar el so, reduint així clarament l'absorció.

Amb aquest canvi s'obté un temps de reverberació mitjà d'1,471 segons, idoni per a la reproducció de música de cambra. Si es volgués una reverberació, sense sobrepassar del marge recomanat per realitzar música de cambra, també es podria tapar amb la cortina qualsevol altre bloc del sostre acústic, obtenint així el RT major permès que es pot obtenir, d'1,675 segons, tapant, a més a més, el segon i el cinquè, els blocs que tenen més superfície, a part del primer.

8.3 Música simfònica

Per aquest tipus de música, també fa falta incrementar el temps de reverberació mitjà almenys fins als 1,8 segons amb la sala totalment ocupada. A més, a part del temps de reverberació també s'han de tenir en compte altres paràmetres acústics, com la brillantor i la calidesa acústica o Bass Ratio.

És obvi, que per a realitzar aquests càlculs d'absorció s'hagi agafat com a model la taula de càlcul simulant una actuació orquestral feta anteriorment.

El procediment que s'ha seguit és el mateix que per la música de cambra, amb la diferència que aquesta vegada cal tapar més blocs del sostre acústic, concretament 4, el primer, el segon, el cinquè i el sisè, els 4 de més superfície. Malgrat tot, el temps de reverberació mitjà també seria correcte si les quatre cortines no corresponguessin a les esmentades. Un cop obtingut el valor del temps de reverberació, en aquest cas, per a totes les freqüències, també s'ha observat com variaven els altres dos paràmetres comentats.

Considerant que els coeficients per a totes les freqüències (125, 250, 500, 1000, 2000 i 4000 Hz), de menor a major, són 0,04, 0,05, 0,11, 0,18, 0,30 i 0,35, els resultats de la nova absorció superficial han estat els següents:

125 Hz	Superfície (m ²)	Coeficient d'absorció	Absorció (sabins)
Cortines [206]	309,72	0,04	12,389

250 Hz	Superfície (m ²)	Coeficient d'absorció	Absorció (sabins)
Cortines [206]	309,72	0,05	15,486

500 Hz	Superfície (m ²)	Coeficient d'absorció	Absorció (sabins)
Cortines [206]	309,72	0,11	34,069

1000 Hz	Superfície (m ²)	Coeficient d'absorció	Absorció (sabins)
Cortines [206]	309,72	0,18	55,750

2000 Hz	Superfície (m ²)	Coeficient d'absorció	Absorció (sabins)
Cortines [206]	309,72	0,30	92,916

4000 Hz	Superfície (m ²)	Coeficient d'absorció	Absorció (sabins)
Cortines [206]	309,72	0,35	108,402

Amb aquesta nova absorció, calculada de la mateixa forma que en el cas de la música de cambra, s'obté un temps de reverberació mitjà per a l'actuació d'una orquestra simfònica en una sala totalment ocupada d'1,811, un valor perfecte per aquesta activitat. Si es volgués una reverberació major, sense sobrepassar els marges recomanats, també es podria passar una cortina més, la quarta, obtenint valor màxim permès de RT que es pot obtenir, de 2,022 segons. També es podria tapar la meitat d'un bloc de sostre acústic per arribar al valor màxim real de RT, però bé, ja és suficient el que s'ha comprovat.

Un cop aconseguits els valors correctes del temps de reverberació mitjà, s'hi si amb totes les freqüències passa el mateix, no només amb 500 i 1000 Hz. Observant així quina és la resposta a les freqüències baixes i altes a partir dels paràmetres de la calidesa acústica o Bass Ratio i la brillantor, respectivament.

- Calidesa acústica o Bass Ratio:

Recordant que hi havia dos marges acceptables per a la calidesa acústica aplicada a la música simfònica, depenent de si el valor del temps de reverberació mitjà s'apropava a 1,8 segons o a 2,2 segons amb la sala totalment ocupada, es tornaran a comprovar els resultats. Com que s'han pogut recrear tots dos casos, es comprovarà el paràmetre acústic pels dos.

- Si $RT \approx 1,8s \rightarrow RT = 1,811s$

$$BR = 1,05$$

És cert que el valor no entra dins els marges recomanables, però no hi queda molt lluny, i, per tant, es considera que el Bass Ratio és acceptable i, consegüentment, es pot dir que si es fes la reforma proposada la melositat i suavitat de la sala no estarien del tot malament.

- Si $RT \approx 2,2s \rightarrow RT = 2,022$

$$BR = 0,94$$

En aquest cas, el valor del paràmetre no és tan desitjable, però encara es manté proper a l'1,10 que és el valor mínim recomanat. Així doncs, la calidesa acústica mostra un valor més o menys correcte pel desenvolupament de música simfònica, destacant la riquesa en els sons greus.

- Brillantor:

El valor d'aquest paràmetre acústic aplicant la proposta de millora oscil·la entre 0,51 i 0,57, depenent de la variació de l'absorció del sostre acústic, uns resultats que s'allunyen força del valor recomanat ($Br \geq 0,87$) i que, per tant, serien considerats com incorrectes, acústicament parlant. Això indica que el so no acaba de ser del tot clar ni ric en harmònics.

8.4 Música coral

Ja amb el temps de reverberació mitjà per a una orquestra, s'ha comprovat que el sistema de millora permet superar el valor de 2 segons i, per tant, entra en el marge ideal per a la música coral. No obstant, tapant absolutament tot el sostre acústic amb les cortines sobre les guies i, per tant, neutralitzant-lo pràcticament del tot, es pot aconseguir un temps de reverberació fantàstic pel cant. L'absorció d'aquest últim cas es mostra a continuació per a 500 Hz i 1000 Hz, les freqüències importants per al temps de reverberació mitjà:

500 Hz	Superfície (m ²)	Coefficient d'absorció	Absorció (sabins)
Cortines [206]	434,3	0,11	47,773

1000 Hz	Superfície (m ²)	Coefficient d'absorció	Absorció (sabins)
Cortines [206]	434,3	0,18	78,174

Amb aquesta nova absorció s'obté un temps de reverberació de 2,271 segons, provocant unes condicions ideals pel cant a l'interior de l'església.

Cal dir, que el procediment de càlcul s'ha seguit segons el model de l'orquestra simfònica, ja que l'ocupació d'escenari d'aquesta i d'una coral es, si fa no fa, la mateixa.

8.5 Deduccions

Sembla ser que les reformes proposades per millorar l'acústica de l'església són força encertades, permetent adaptar el recinte acústicament a variades activitats culturals.

S'aconsegueix adaptar el temps de reverberació mitjà en tots els casos, col·locant més superfícies absorbents per reduir-lo en la conferència i el teatre i limitant el sostre acústic per disminuir l'absorció i, com a conseqüència, augmentar el temps de reverberació.

Ja s'ha comentat la superfície i col·locació de la cortina de teixit espès per tal d'adaptar el recinte a la conferència o el teatre, però no s'ha comentat quina superfície de cortina de teixit prim es necessita per tapar el sostre acústic i adaptar la sala a les músiques. Doncs bé, l'ideal seria col·locar cortines sota tots els blocs del sostre acústic i, per tant, instal·lar un total de 434,3 m² de teixit prim (92,56 m² pel primer bloc, 74,76 m² pel segon, 60,52 m² pel tercer, 64,08 m² pel quart, 74,76 m² pel cinquè i 67,64 m² pel sisè), per així poder arribar a una reverberació màxima de 2,271 segons i afavorir perfectament el cant en l'església. Però retallant costos, el bloc número tres podria quedar sempre descobert, sense que cap de les activitats proposades sortís perjudicada pel que fa a la reverberació.

Tot i això, s'han buscat solucions als problemes acústics que no suposen una gran despesa econòmica en relació a l'ajut acústic que proporcionen a l'església, per a poder adaptar-se a múltiples esdeveniments.

Caldrà tenir present que les dues mesures proposades, la de les cortines espesses i la de les primes, no són compatibles de funcionar alhora, ja que tenen funcions contràries entre sí.

L'únic que no s'ha pogut millorar és el paràmetre de la brillantor, ja que ha quedat considerablement per sota del valor mínim òptim. Ha resultat impossible controlar les freqüències elevades, ja que per sobre dels 2000 Hz, l'aire actua de forma increïble atenuant el so i això fa impossible un control exhaustiu en un recinte tan gran. A més, no es disposa del coneixement de cap material capaç de realitzar aquesta tasca. No obstant, el resultat no és menyspreable doncs no indica una audició musical precària. L'únic que mostra és que no serà l'òptima en aquest aspecte.

9 CONCLUSIÓ

Un cop acabat el treball, cal fer una reflexió, tot comentant els resultats finals obtinguts, de com ha estat l'experiència d'un treball d'aquesta envergadura.

Quan al maig de 2012 elegíem el tema de la recerca i el tutor, es veia molt lluny haver d'entregar el treball de recerca, però el temps ha anat passant i el nombre de pàgines ha anat augmentant fins arribar a les cinquanta actuals. Pàgines en què s'ha intentat anar completant un a un els objectius que es proposaven a l'inici, els quals estan reflectits en la introducció, fins arribar a complir-los tots.

D'aquests objectius n'hi ha hagut alguns que no han estat massa complicats de realitzar, com la petita recerca històrica de l'església i el convent de Sant Domènec o la redacció de la teoria del so. Però, havent acabat aquesta part més teòrica i començant la pràctica, el fet de realitzar l'estudi acústic, de calcular volums i superfícies sobre plànols, d'obtenir uns coeficients d'absorció fiables, de calcular l'absorció del recinte i, finalment, d'obtenir els paràmetres acústics, no ha estat pas fàcil. La veritat és que han sorgit una quantitat enorme de dubtes duent a terme aquesta part i, fins i tot, hi havia moments que no es veia massa clar el camí que s'havia de seguir per continuar realitzant l'estudi acústic correctament. Crec que la dificultat més gran amb què m'he torbat ha estat la de no tenir una visió de l'església acabada, ja que la rehabilitació encara es troba en curs, i haver de simular i imaginar en tot moment quins seran els materials que es col·locaran sobre les diferents superfícies de l'església, però també m'ha estat força complicat entendre segons quins conceptes de l'acústica, degut a que és un tema molt especialitzat. Per sort, vaig poder comptar amb l'ajuda de persones més enteses del tema, aconseguint obtenir uns primers valors dels paràmetres acústics.

No obstant, en aquest primer moment, aquests valors no eren massa adients per a les funcions de l'església, ja que el temps de reverberació no entrava en el marge recomanat per a cap activitat que es pogués desenvolupar dins l'església. Per aquesta raó, es van idear i proposar uns sistemes basats amb cortines de teixit amb característiques diferents que permetessin adaptar el recinte a qualsevol tipus d'activitat, acústicament parlant. Distingint entre conferència i teatre, música de cambra, música simfònica i música coral, s'ha aportat una solució pels problemes acústics que sorgien en cadascuna, relacionats amb la reverberació, paràmetre fonamental per a la realització d'aquest estudi acústic. Tots aquests problemes s'han aconseguit solucionar amb les millores proposades que es troben en el cos de desenvolupament del treball, concretament en el punt 8, les quals estableixen un valor de temps de reverberació idoni per a cada esdeveniment. L'única excepció ha estat un paràmetre aplicable únicament a la música simfònica que ha acabat donant un valor difícilment considerat com acceptable, ja que surt bastant dels marges recomanats. Estic parlant de la brillantor (Br), que indica riquesa en harmònics i claredat en el so. Aquests són els únics aspectes que no s'han pogut optimitzar amb l'execució de l'estudi acústic, però això no significa que no es puguin realitzar concerts a l'església, ni molt menys, només indica que aquests dues

característiques del so no destacaran en la reproducció de música simfònica, podent gaudir sense cap problema d'una bona audició musical.

Per tant, considerant tot el que s'ha dit, crec que s'ha realitzat una bona tasca, ja que aquella finalitat principal que es comentava a la introducció de poder presentar la feina feta a l'Ajuntament de Cervera, perquè puguin tenir en compte les meves observacions, està més que complerta.

Deixant ara de banda els resultats obtinguts i centrant-me en l'experiència personal que m'ha suposat realitzar el treball de recerca, penso que a part dels coneixements adquirits, que són molts, la investigació també aporta un nivell de maduresa extra a un mateix, ja que quan es necessita comptar amb ajuts externs a l'entorn d'un, cal mostrar seriositat i augmentar el grau de responsabilitat, per així transmetre confiança a la persona que t'està prestant suport. Per exemple, en el meu cas, es va haver de fer una petició més o menys formal a l'Ajuntament per obtenir l'accés a l'església i cada vegada que se'm deixava la clau d'aquesta, suposava acceptar un cert grau de responsabilitat.

Així doncs, per acabar, només dir una frase que resumeix el treball realitzat i l'experiència viscuda: per aconseguir quelcom de profit, que pugui tenir una aplicació pràctica més endavant, cal realitzar un treball a consciència, contrastant totes les fonts de dades possibles, obtenint, d'aquesta manera, un resultat fiable.

10 BIBLIOGRAFIA

DURAN I SANPERE, Agusti. *Llibre de Cervera*. Tàrrega: F. Camps Calmet, 1972, p.201-208

CALVO-MANZANO, Antonio. *Acústica físico-musical*. Madrid: Grupo Real Musical, 2004.

P. MAS, Carles. *Manual de Sonorización en Directo*. Barcelona: Música y Tecnología. S.L., 1999

ARMERO ROVIRA, Juan, [et al.] *Física II batxillerat*. Barcelona: Grup Edebé, 2009, p.72-142

Música, enseñanza secundaria 1 y 2. Madrid: CEN, Centro de Estudios Académicos

"Revitalització integral del nucli antic". A: *La Paeria de Cervera, revista d'informació municipal*. (juliol 2006, desembre 2007, desembre 2009, abril 2010, octubre 2010, desembre 2010, , juliol 2011, gener 2012, juliol 2011, maig 2012), Cervera. p.4.

Geoportall IDEC Local. *Ajuntament de Cervera*. Dins de:
<http://www.geolocal.cat/geoLocal/crearAplicacionOL.jsp?codi=a250729&tipus=v&schema=carrer> (Consultat: 10/07/2012)

Monestirs de Catalunya. *Convent de Sant Domènec de Cervera*. Dins de:
<http://www.monestirs.cat/monst/segarr/sa02pere.htm> (Consultat: 12/07/2012)

Consell Comarcal de La Segarra. *Turisme: Elements de Cervera*. Dins de:
<http://www.ccsegarra.com/turisme/Elements%5Ccervera.htm> (Consultat: 13/07/2012)

Paeria de Cervera. *Històric de notícies: Cervera recupera el convent de Sant Domènec*. Dins de: <http://www.cerverapaeria.cat/noticies-ca/cervera-recupera-el-convent-de-sant-domenec> (Consultat: 13/07/2012)

Viquipèdia. *Ordre dels Predicadors*. Dins de:
http://ca.wikipedia.org/wiki/Orde_dels_Predicadors (Consultat: 19/07/2012)

Enciclopèdia. *Jaume II de Catalunya - Aragó*. Dins de:
http://www.enciclopedia.cat/fitxa_v2.jsp?NDCHEC=0034388 (Consultat: 19/07/2012)

Viquipèdia. *Sant Vicent Ferrer*. Dins de:
http://ca.wikipedia.org/wiki/Sant_Vicent_Ferrer (Consultat: 22/07/2012)

Generalitat de Catalunya. *Presentació del Pla de barris*. Dins de:
<http://www20.gencat.cat/portal/site/territori/menuitem.2a0ef7c1d39370645f13ae92b0c0e1a0/?vgnextoid=7d874306e99ab210VgnVCM2000009b0c1e0aRCRD&vgnnextchannel=7d874306e99ab210VgnVCM2000009b0c1e0aRCRD&vgnnextfmt=default> (Consultat: 25/07/2012)

Generalitat de Catalunya. *Pla únic d'obres i serveis (PUOSC)*. Dins de:
<http://www20.gencat.cat/portal/site/governacio/menuitem.7afe5e30d6ce524f8e629e30b0c0e1a0/?vgnnextchannel=c3962231cbdcb210VgnVCM2000009b0c1e0aRCRD&vgnnextfmt=default&vgnextoid=c3962231cbdcb210VgnVCM2000009b0c1e0aRCRD> (Consultat: 25/07/2012)

Viquipèdia. *So*. Dins de: <http://ca.wikipedia.org/wiki/So> (Consultat: 15/09/2012)

Wikipedia. *Reflexión (sonido)*. Dins de: [http://es.wikipedia.org/wiki/Reflexión_\(sonido\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Reflexión_(sonido)) (Consultat: 17/09/2012)

Wikipedia. *Ley de Weber-Fechner*. Dins de:
http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Weber-Fechner (Consultat: 17/09/2012)

100cia Química. *Biografías: Willebrord Snel van Royen*. Dins de:
<http://www.100ciaquimica.net/biograf/cientif/S/snell.htm> (Consultat: 22/09/2012)

Wikipedia. *Christiaan Huygens*. Dins de:
http://es.wikipedia.org/wiki/Christiaan_Huygens (Consultat: 26/09/2012)

Secció Catalana. *Premi Heràcles 2010-2011: Aplicacions matemàtiques per al càlcul de volums i capacitats de les àmfotes d'oli bètiques*. Dins de:
<http://www.seec.cat/primerpremi11.pdf> (Consultat: durant l'octubre, novembre i desembre)

Wikipedia. *Wallece Clement Sabine*. Dins de:
http://es.wikipedia.org/wiki/Wallace_Clement_Sabine (Consultat: 09/10/2012)

Acústica Integral. *¿Qué és la reverberación?* Dins de:
<http://www.acusticaintegral.com/reverberacion.htm> (Consultat: 17/10/2012)

Ingeniería de Ondas. *Reverberaciones*. Dins de:
http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_07_08/io6/public_html/Paginas/rever.html (Consultat: 20/10/2012)

Facultad de Arquitectura. *Tablas coeficientes de absorción*. Dins de:
<http://www.farq.edu.uy/joomla/images/stories/acustico/Tablas/Tablas%20de%20Absorc ion.pdf> (Consultat: des del novembre de 2012 fins al gener de 2013)

Conservatorio de Bilbao. *Acústica de la Música*. Dins de:
http://www.conservatoriobilbao.com/ftp/unai_igartua/capitulos9a14.pdf (Consultat: 12/11/2012)

Wikipedia. *Leo Leroy Beranek*. Dins de: http://en.wikipedia.org/wiki/Leo_Beranek
(Consultat: 23/11/2012)

Wikipedia. *Early Decay Time*. Dins de: http://es.wikipedia.org/wiki/Early_decay_time
(Consultat: 27/11/2012)

Universidad Politècnica de Valencia. *Aislamiento y Acondicionamiento Acústico de un Auditorio para Actuaciones en Directo de Bandas Musicales*. Dins de:
<http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/11614/Tesina%20Fco.%20Javier%20Ma%20C3%B1%20C3%B3%20Frasquet.pdf?sequence=1> (Consultat: 04/12/2012)

Código Técnico de la Edificación (CTE). *¿Qué és el CTE?: Presentación*. Dins de:
<http://www.codigotecnico.org/web/cte/presentacion/> (Consultat: 18/12/2012)

Código Técnico de la Edificación (CTE). *Recursos: Documentos CTE*. Dins de:
<http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/dbhr/dbhr/090.html>
(Consultat: 18/12/2012)

Arquitectos de Cádiz. *Acústica en la edificación*. Dins de:
http://arquitectosdecadiz.com/uploads/%C3%81reas_Construcci%C3%B3n/03.02.%20Conceptos%20b%C3%A1sicos.%20Acondicionamiento.%20Alejandro%20Sansegundo.pdf (Consultat: 21/12/2012)

Escola Superior de Música de Catalunya (ESMUC). *Sobre l'ESMUC: Qui som?*. Dins de: <http://www.esmuc.cat/Sobre-l-ESMUC/Qui-som/Presentacio> (Consultat: 27/12/2012)

Acoustics Engineering. *Dirac*. Dins de:
<http://www.acoustics-engineering.com/dirac/dirac.htm> (Consultat: 27/12/2012)

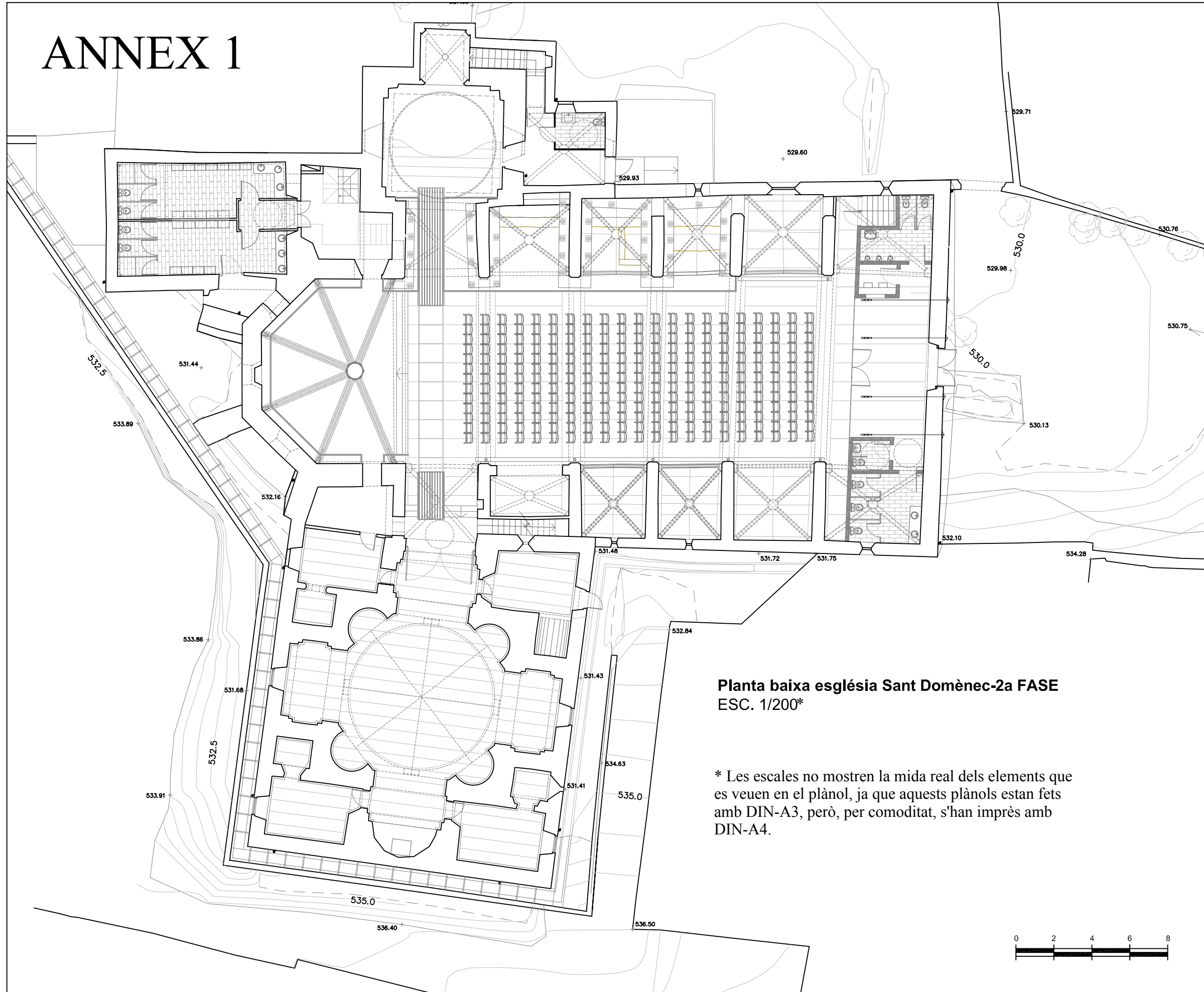
Audia. *Absorción acústica*. Dins de: http://www.audia.es/absorcion_acustica (Consultat: 04/01/2013)

Wikipedia. *Acondicionamiento acústico*. Dins de:
http://es.wikipedia.org/wiki/Acondicionamiento_ac%C3%B1stico
(Consultat: 12/01/2012)

11 ANNEXOS

1. Plànols de l'església i del convent de Sant Domènec
2. Càlcul del volum i de les superfícies de l'interior de l'església i classificació de les diferents superfícies segons el material
3. Taules de càlcul de l'absorció acústica, tant superficial com dels elements, de l'església
4. Llistat de coeficients d'absorció acústica

ANNEX 1



Planta baixa església Sant Domènec-2a FASE
 ESC. 1/200*

* Les escales no mostren la mida real dels elements que es veuen en el plànol, ja que aquests plànols estan fets amb DIN-A3, però, per comoditat, s'han imprès amb DIN-A4.



GENERALITAT DE CATALUNYA
 Departament de Política Territorial
 i Obres Públiques
Direcció General d'Arquitectura i Paisatge
 Ajuntament de Cervera



LLEI DE BARRIS
 PROJECTE D'INTERVENCIÓ INTEGRAL DEL NÚCLI
 ANTIC DE CERVERA

NOM DE L'ACTUACIÓ - FASE
**REHABILITACIÓ DE L'ESGLÉSIA DE
 SANT DOMENEK PER A
 CENTRE CULTURAL
 2A FASE**

MUNICIPI **CERVERA**

COMARCA **LA SEGARRA**

TÍTOL DEL PLÀNOL **SÈRIE PROPOSTA GLOBAL D'INTERVENCIÓ - 2A FASE**
PLANTA BAIXA

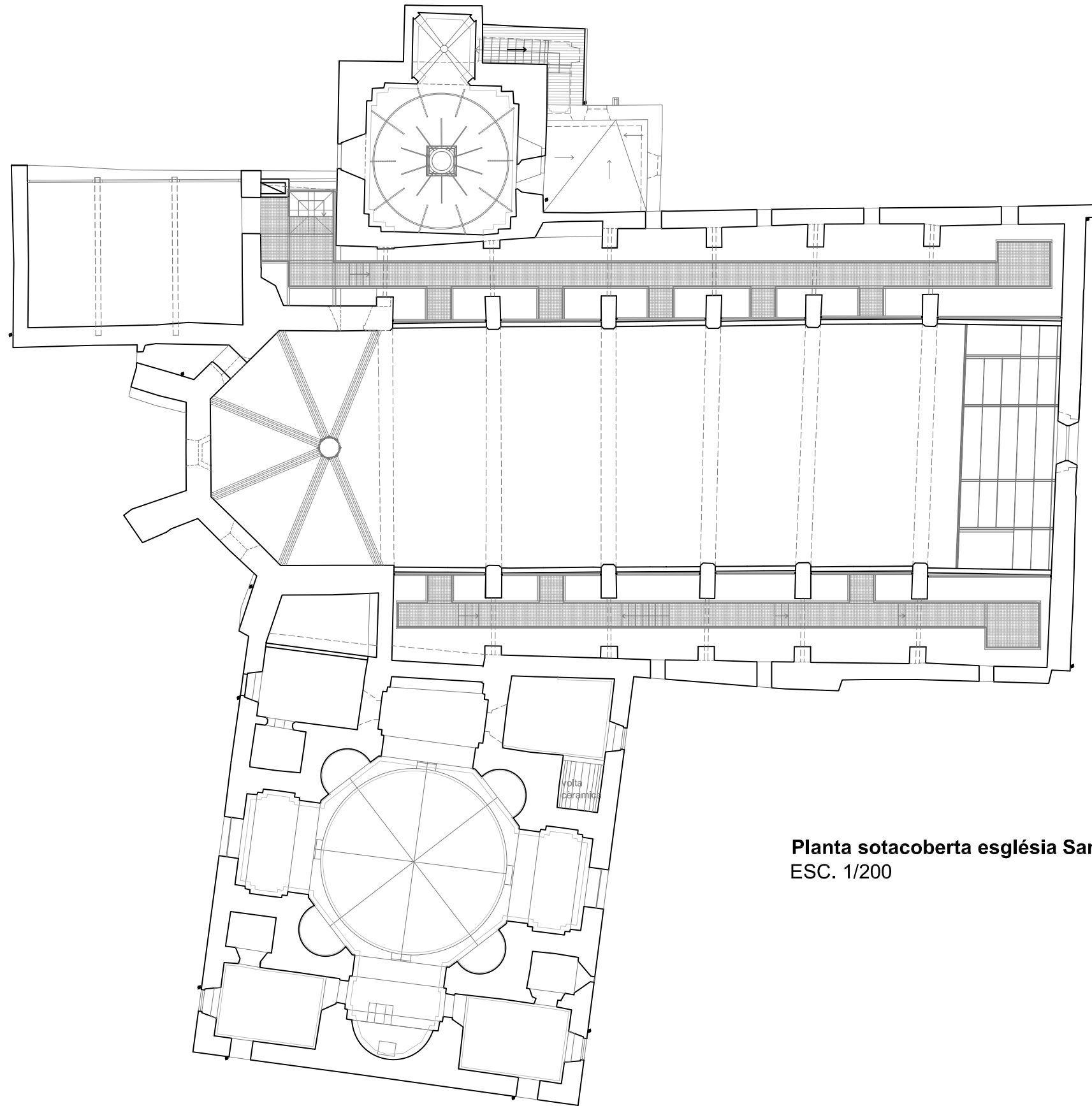
ARQUITECTES **ANTONI MARTÍ I FALIP**

EQUIP COL·LABORADOR **PLANTA GENERAL**

ESCALA	1:200	NÚM. PLÀNOL	01 PGI
--------	-------	-------------	---------------

DATA	MARÇ 2012	NÚM. TOM	
------	-----------	----------	--

NÚM CLAU



Planta sotacoberta església Sant Domènec-2a FASE
 ESC. 1/200



GENERALITAT DE CATALUNYA
 Departament de Política Territorial
 i Obres Públiques
Direcció General d'Arquitectura i Paisatge
Ajuntament de Cervera



LLEI DE BARRIS
 PROJECTE D'INTERVENCIÓ INTEGRAL DEL NÚCLI
 ANTIC DE CERVERA

NOM DE L'ACTUACIÓ - FASE

**REHABILITACIÓ DE L'ESGLÉSIA DE
 SANT DOMENEC PER A
 CENTRE CULTURAL
 2A FASE**

MUNICIPI **CERVERA**

COMARCA **LA SEGARRA**

TÍTOL DEL PLÀNOL **SÈRIE PROPOSTA GLOBAL D'INTERVENCIÓ - 2A FASE**

PLANTA SOTA COBERTA

ARQUITECTES
ANTONI MARTÍ I FALIP

EQUIP COL·LABORADOR

ESCALA **1:200**

NÚM. PLÀNOL
02 PGI

DATA **MARÇ 2012**

NÚM. TOM

NÚM CLAU



GENERALITAT DE CATALUNYA
Departament de Política Territorial
i Obres Públiques
Direcció General d'Arquitectura i Paisatge
Ajuntament de Cervera



LLEI DE BARRIS
PROJECTE D'INTERVENCIÓ INTEGRAL DEL NÚCLI
ANTIC DE CERVERA

NOM DE L'ACTUACIÓ - FASE

**REHABILITACIÓ DE L'ESGLÉSIA DE
SANT DOMENEK PER A
CENTRE CULTURAL
2A FASE**

MUNICIPI **CERVERA**

COMARCA **LA SEGARRA**

TÍTOL DEL PLÀNOL **SÈRIE PROPOSTA GLOBAL D'INTERVENCIÓ - 2A FASE**

PLANTA COBERTA

ARQUITECTES
ANTONI MARTÍ I FALIP

EQUIP COL·LABORADOR

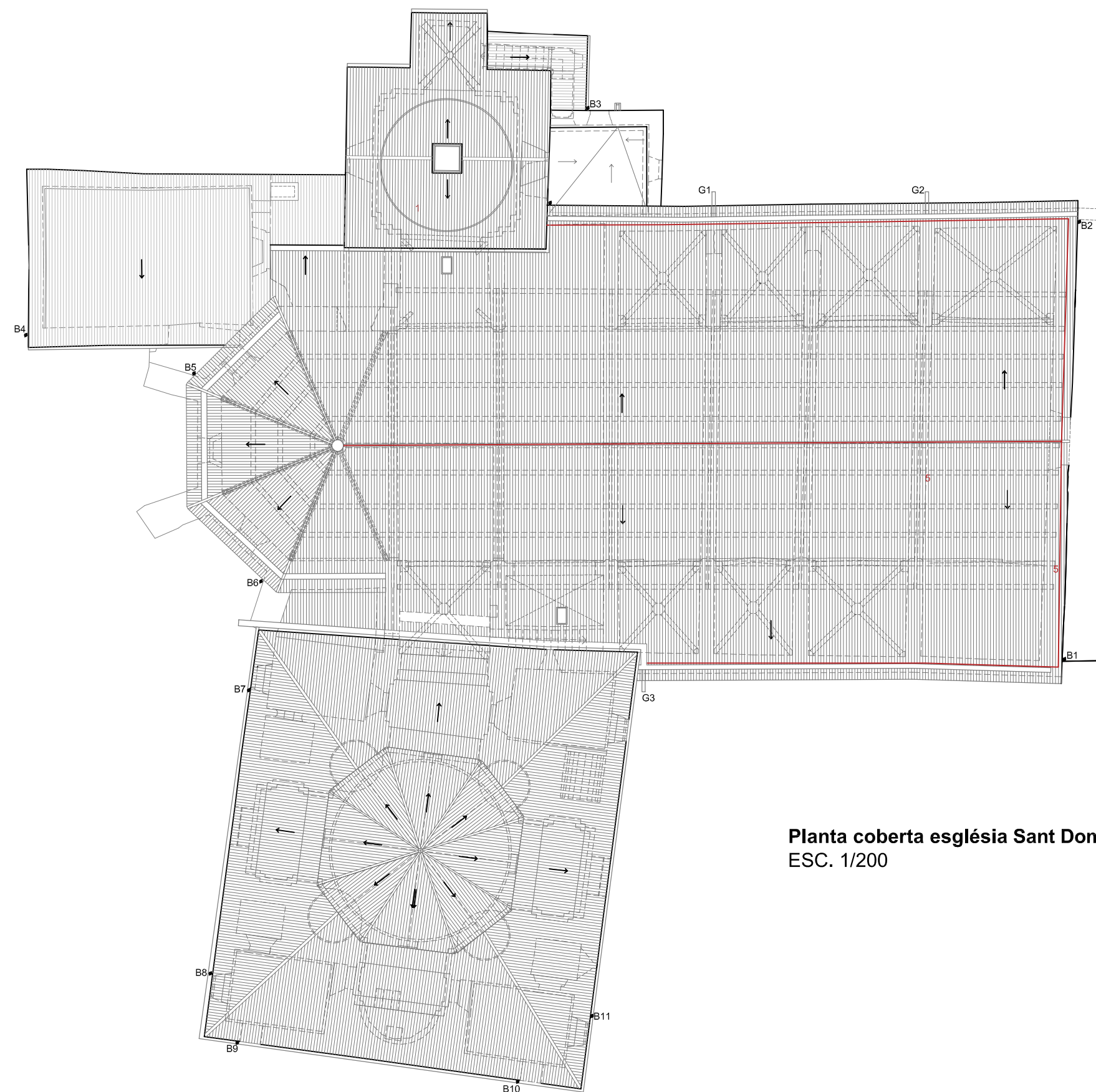
ESCALA **1:200**

NÚM. PLÀNOL
03 PGI

DATA **MARÇ 2012**

NÚM. TOM

NÚM CLAU



Planta coberta església Sant Domènec-2a FASE
ESC. 1/200



GENERALITAT DE CATALUNYA
Departament de Política Territorial
i Obres Públiques
Direcció General d'Arquitectura i Paisatge
Ajuntament de Cervera



LLEI DE BARRIS
PROJECTE D'INTERVENCIÓ INTEGRAL DEL NÚCLI
ANTIC DE CERVERA

NOM DE L'ACTUACIÓ - FASE

REHABILITACIÓ DE L'ESGLÉSIA DE
SANT DOMENEC PER A
CENTRE CULTURAL
2A FASE

MUNICIPI **CERVERA**

COMARCA **LA SEGARRA**

TÍTOL DEL PLÀNOL **SÈRIE PROPOSTA GLOBAL D'INTERVENCIÓ - 2A FASE**

FAÇANA EST

ARQUITECTES
ANTONI MARTÍ I FALIP

EQUIP COL·LABORADOR

ESCALA **1:150**

NÚM. PLÀNOL
04 PGI

DATA **MARÇ 2012**

NÚM. TOM

NÚM CLAU





GENERALITAT DE CATALUNYA
Departament de Política Territorial
i Obres Públiques
Direcció General d'Arquitectura i Paisatge
Ajuntament de Cervera



LLEI DE BARRIS
PROJECTE D'INTERVENCIÓ INTEGRAL DEL NÚCLI
ANTIC DE CERVERA

NOM DE L'ACTUACIÓ - FASE

REHABILITACIÓ DE L'ESGLÉSIA DE
SANT DOMENEC PER A
CENTRE CULTURAL
2A FASE

MUNICIPI

CERVERA

COMARCA

LA SEGARRA

TÍTOL DEL PLÀNOL

SÈRIE PROPOSTA GLOBAL D'INTERVENCIÓ - 2A FASE

FAÇANA NORD

ARQUITECTES

ANTONI MARTÍ I FALIP

EQUIP COL·LABORADOR

ESCALA

1:150

NÚM. PLÀNOL

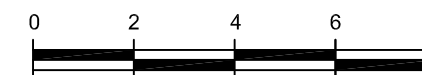
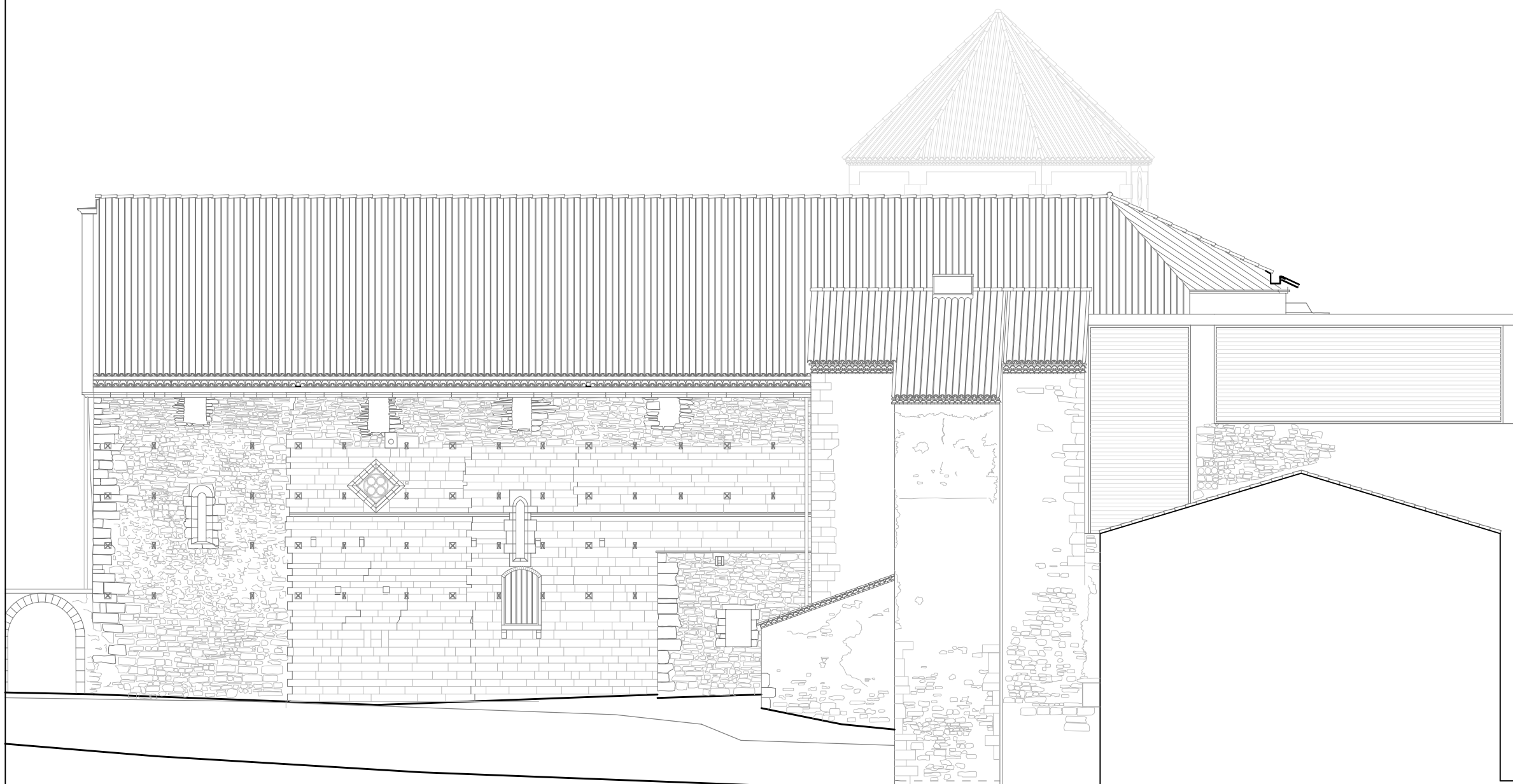
05 PGI

DATA

MARÇ 2012

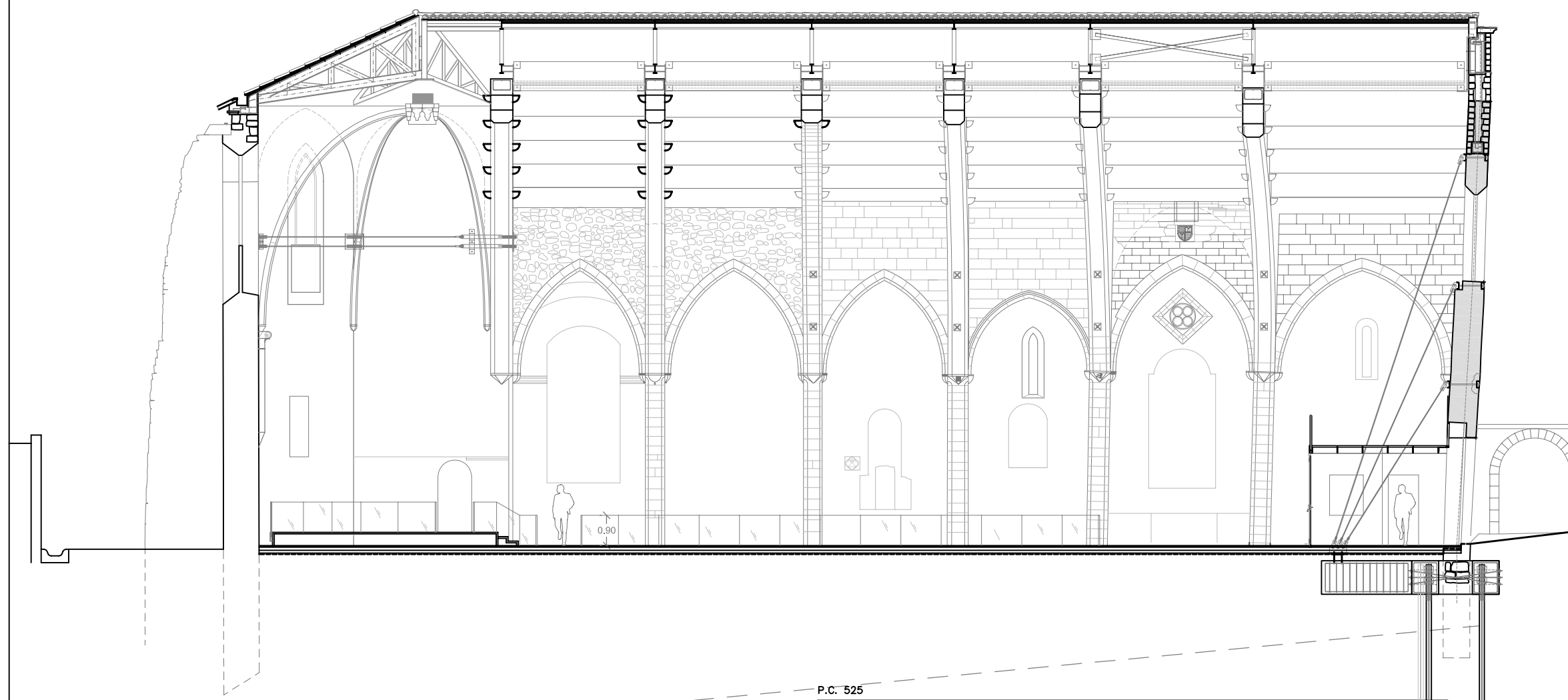
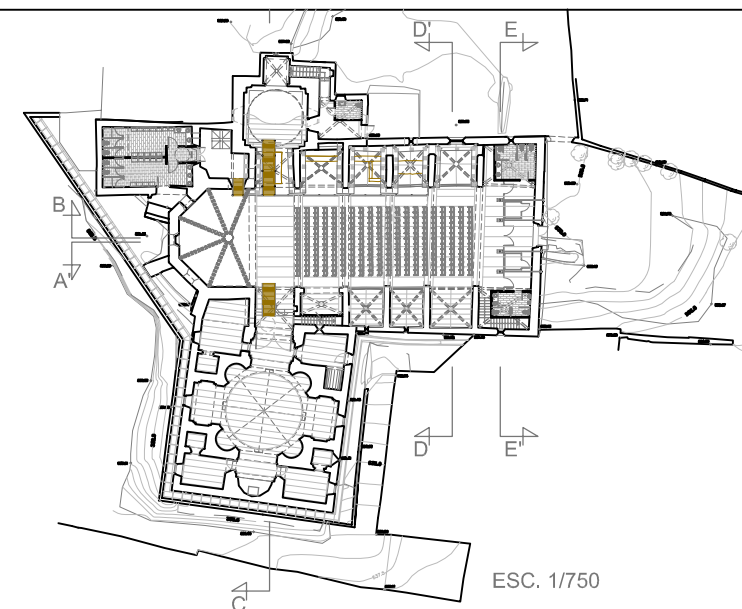
NÚM. TOM

NÚM CLAU





GENERALITAT DE CATALUNYA
 Departament de Política Territorial
 i Obres Públiques
Direcció General d'Arquitectura i Paisatge
Ajuntament de Cervera



LLEI DE BARRIS
 PROJECTE D'INTERVENCIÓ INTEGRAL DEL NÚCLI
 ANTIC DE CERVERA

NOM DE L'ACTUACIÓ - FASE

**REHABILITACIÓ DE L'ESGLÉSIA DE
 SANT DOMENEC PER A
 CENTRE CULTURAL
 2A FASE**

MUNICIPI **CERVERA**

COMARCA **LA SEGARRA**

TÍTOL DEL PLÀNOL **SÈRIE PROPOSTA GLOBAL D'INTERVENCIÓ - 2A FASE**

SECCIÓ LONGITUDINAL A

ARQUITECTES

ANTONI MARTÍ I FALIP

EQUIP COL·LABORADOR

ESCALA	1:150	NÚM. PLÀNOL	08 PGI
DATA	MARÇ 2012	NÚM. TOM	

NÚM CLAU





GENERALITAT DE CATALUNYA
 Departament de Política Territorial
 i Obres Públiques
Direcció General d'Arquitectura i Paisatge
 Ajuntament de Cervera



Unitat d'obres gestionades

LLEI DE BARRIS
 PROJECTE D'INTERVENCIÓ INTEGRAL DEL NÚCLI
 ANTIC DE CERVERA

NOM DE L'ACTUACIÓ - FASE

REHABILITACIÓ DE L'ESGLÉSIA DE
 SANT DOMENEC PER A
 CENTRE CULTURAL
 2A FASE

MUNICIPI

CERVERA

COMARCA

LA SEGARRA

TÍTOL DEL PLÀNOL

SÈRIE PROPOSTA GLOBAL D'INTERVENCIÓ - 2A FASE

SECCIÓ LONGITUDINAL B

ARQUITECTES

ANTONI MARTÍ I FALIP

EQUIP COL·LABORADOR

ESCALA

1:150

NÚM. PLÀNOL

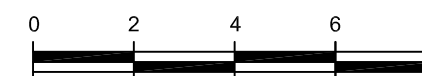
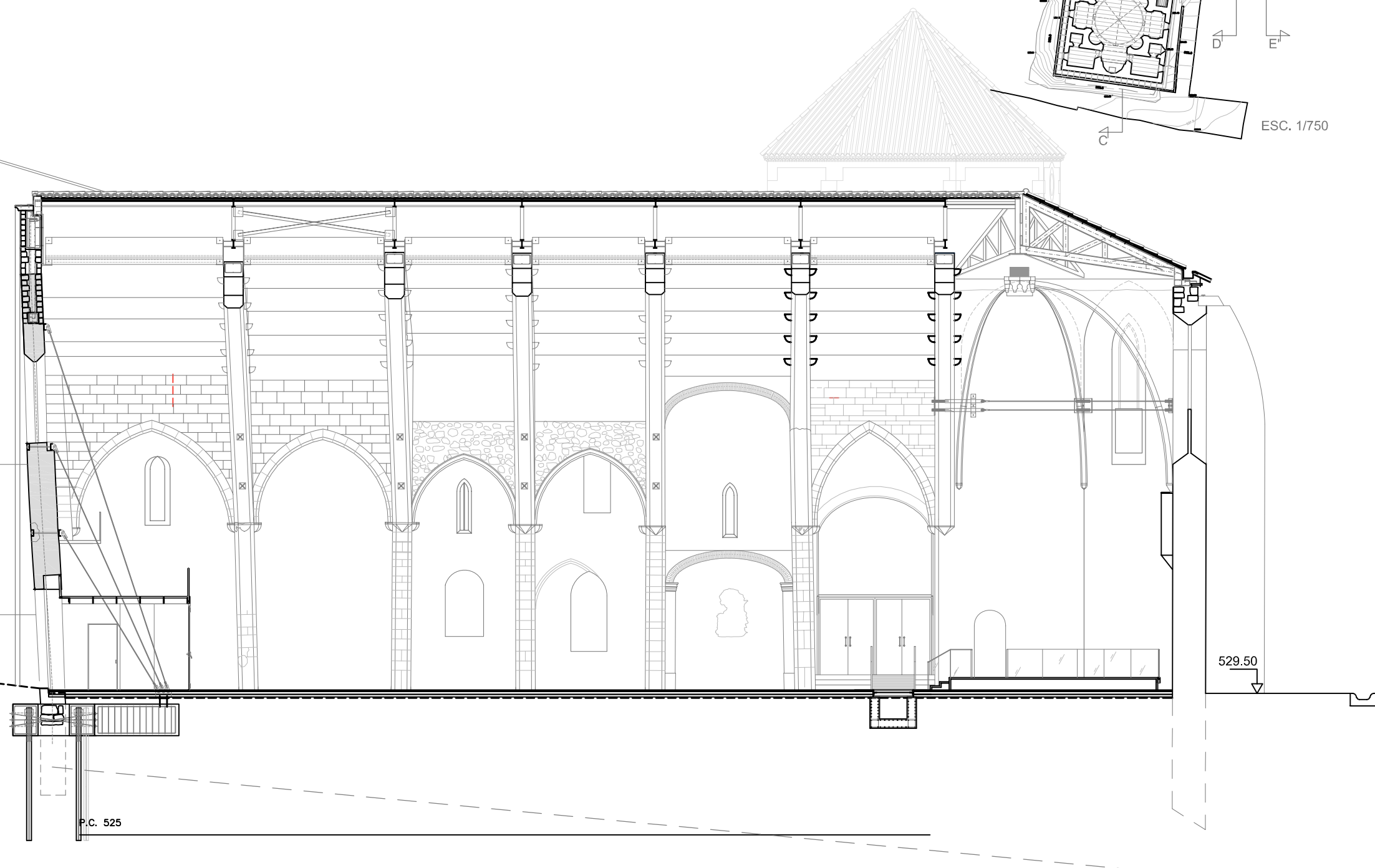
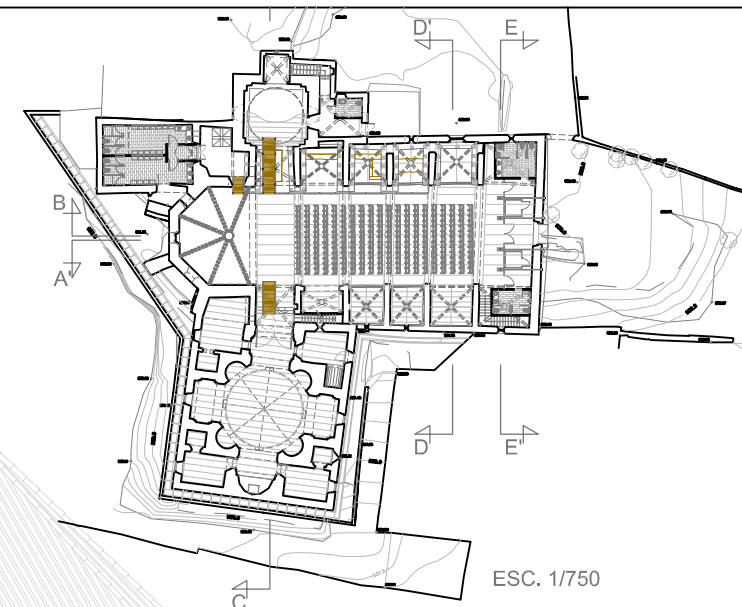
09 PGI

DATA

MARÇ 2012

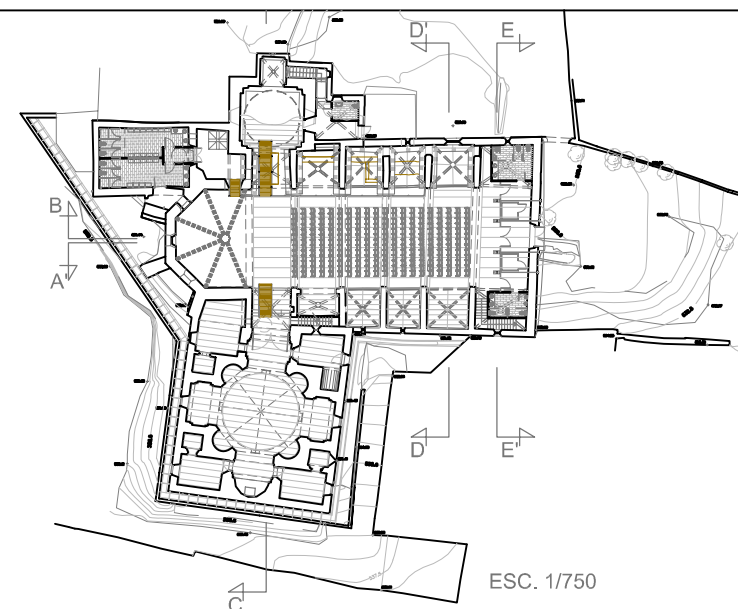
NÚM. TOM

NÚM CLAU

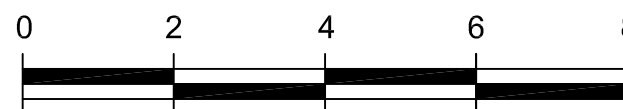
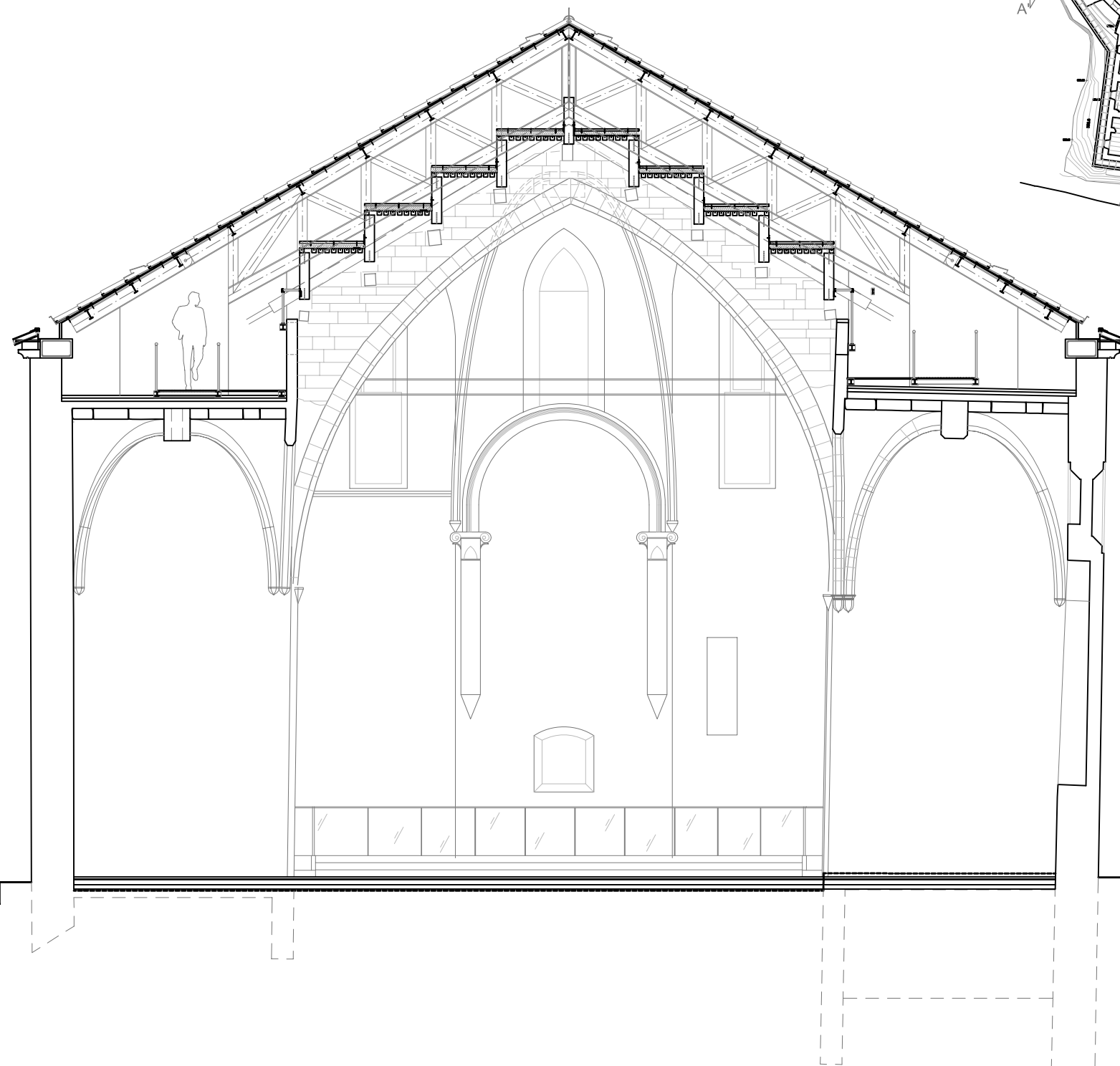




GENERALITAT DE CATALUNYA
 Departament de Política Territorial
 i Obres Públiques
Direcció General d'Arquitectura i Paisatge
Ajuntament de Cervera



ESC. 1/750



LLEI DE BARRIS
 PROJECTE D'INTERVENCIÓ INTEGRAL DEL NÚCLI
 ANTIC DE CERVERA

NOM DE L'ACTUACIÓ - FASE

REHABILITACIÓ DE L'ESGLÉSIA DE
 SANT DOMENEC PER A
 CENTRE CULTURAL
 2A FASE

MUNICIPI

CERVERA

COMARCA

LA SEGARRA

TÍTOL DEL PLÀNOL

SÈRIE PROPOSTA GLOBAL D'INTERVENCIÓ - 2A FASE

SECCIÓ TRANSVERSAL D

ARQUITECTES

ANTONI MARTÍ I FALIP

EQUIP COL·LABORADOR

ESCALA

1:100

NÚM. PLÀNOL

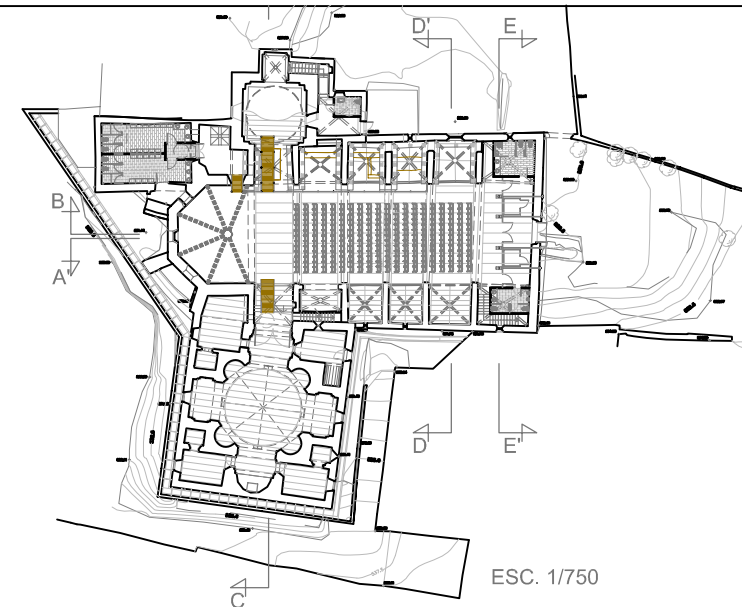
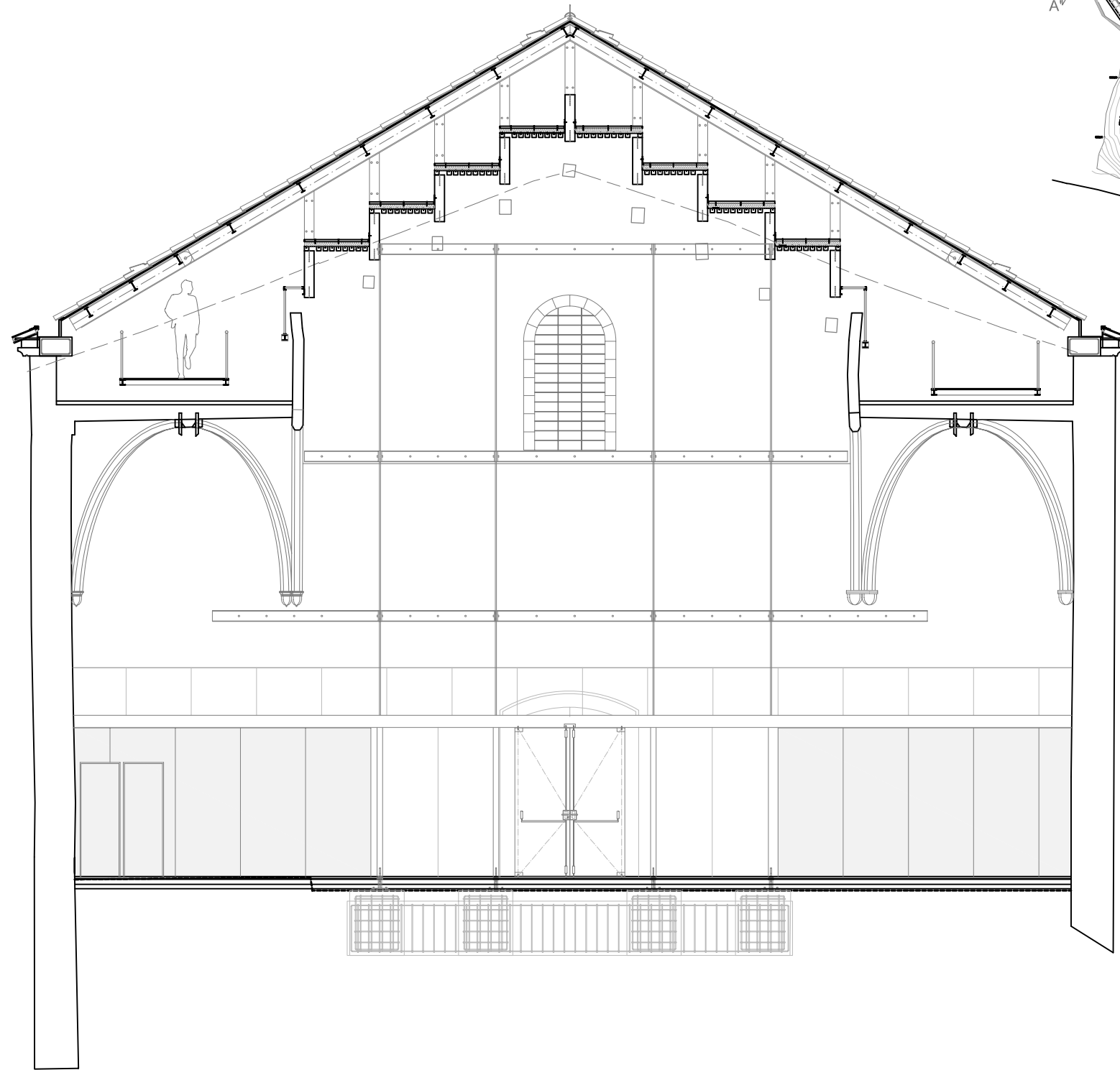
10 PGI

DATA

MARÇ 2012

NÚM. TOM

NÚM CLAU



GENERALITAT DE CATALUNYA
 Departament de Política Territorial
 i Obres Públiques
Direcció General d'Arquitectura i Paisatge
Ajuntament de Cervera



LLEI DE BARRIS
 PROJECTE D'INTERVENCIÓ INTEGRAL DEL NÚCLI
 ANTIC DE CERVERA

NOM DE L'ACTUACIÓ - FASE

REHABILITACIÓ DE L'ESGLÉSIA DE
 SANT DOMENEC PER A
 CENTRE CULTURAL
 2A FASE

MUNICIPI **CERVERA**

COMARCA **LA SEGARRA**

TÍTOL DEL PLÀNOL **SÈRIE PROPOSTA GLOBAL D'INTERVENCIÓ - 2A FASE**

SECCIÓ TRANSVERSAL E

ARQUITECTES
ANTONI MARTÍ I FALIP

EQUIP COL·LABORADOR

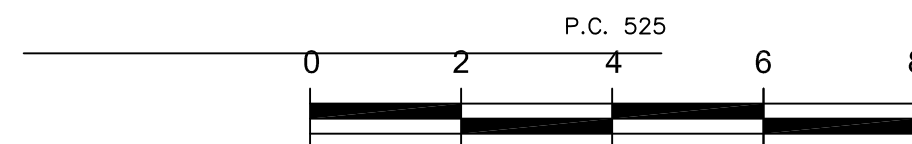
ESCALA **1:100**

NÚM. PLÀNOL **11 PGI**

DATA **MARÇ 2012**

NÚM. TOM

NÚM CLAU

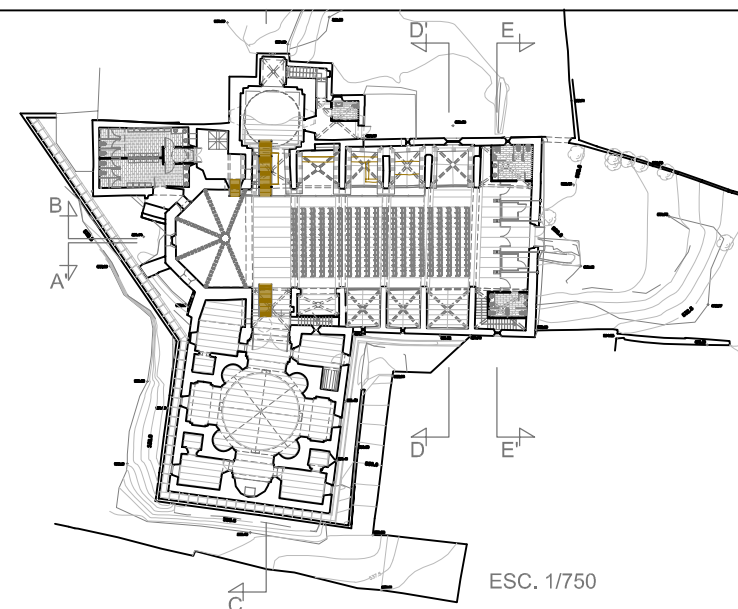




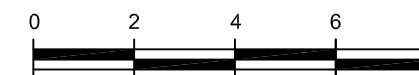
GENERALITAT DE CATALUNYA
Departament de Política Territorial
i Obres Públiques
Direcció General d'Arquitectura i Paisatge
Ajuntament de Cervera



Unitat d'obres gestionades



ESC. 1/750



LLEI DE BARRIS
PROJECTE D'INTERVENCIÓ INTEGRAL DEL NÚCLI
ANTIC DE CERVERA

NOM DE L'ACTUACIÓ - FASE

REHABILITACIÓ DE L'ESGLÉSIA DE
SANT DOMENEC PER A
CENTRE CULTURAL
2A FASE

MUNICIPI

CERVERA

COMARCA

LA SEGARRA

TÍTOL DEL PLÀNOL

SÈRIE PROPOSTA GLOBAL D'INTERVENCIÓ - 2A FASE

SECCIÓ TRANSVERSAL C

ARQUITECTES

ANTONI MARTÍ I FALIP

EQUIP COL·LABORADOR

ESCALA

1:150

NÚM. PLÀNOL

12 PGI

DATA

MARÇ 2012

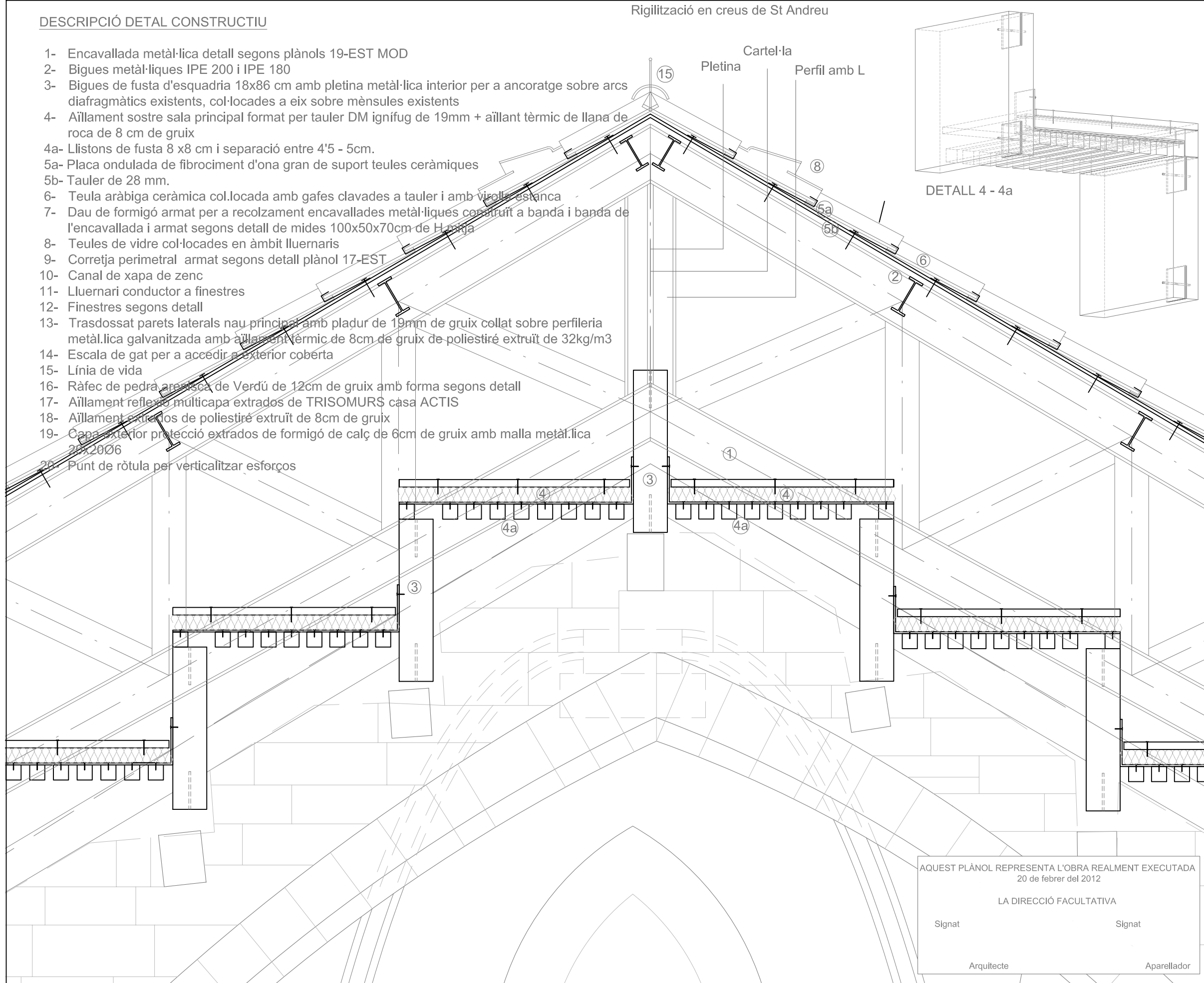
NÚM. TOM

NÚM CLAU

DESCRIPCIÓ DETAL CONSTRUCTIU

- 1- Encavallada metàl·lica detall segons plànols 19-EST MOD
- 2- Bigues metàl·liques IPE 200 i IPE 180
- 3- Bigues de fusta d'esquadria 18x86 cm amb pletina metàl·lica interior per a ancoratge sobre arcs diafragmàtics existents, col·locades a eix sobre mènsules existents
- 4- Aïllament sostre sala principal format per tauler DM ignífug de 19mm + aïllant tèrmic de llana de roca de 8 cm de gruix
- 4a- Llistons de fusta 8 x8 cm i separació entre 4'5 - 5cm.
- 5a- Placa ondulada de fibrociment d'ona gran de suport teules ceràmiques
- 5b- Tauler de 28 mm.
- 6- Teula aràbiga ceràmica col·locada amb gafes clavades a tauler i amb virolles estanca
- 7- Dau de formigó armat per a recolzament encavallades metàl·liques construït a banda i banda de l'encavallada i armat segons detall de mides 100x50x70cm de H.puja
- 8- Teules de vidre col·locades en àmbit lluernaris
- 9- Corretja perimetral armat segons detall plànol 17-EST
- 10- Canal de xapa de zenc
- 11- Lluernari conductor a finestres
- 12- Finestres segons detall
- 13- Trasdossat parets laterals nau principal amb pladur de 19mm de gruix collat sobre perfilera metàl·lica galvanitzada amb aïllament tèrmic de 8cm de gruix de poliestiré extruït de 32kg/m3
- 14- Escala de gat per a accedir a exterior coberta
- 15- Línia de vida
- 16- Ràfec de pedra arenisca de Verdú de 12cm de gruix amb forma segons detall
- 17- Aïllament reflexiu multicapa extrados de TRISOMURS casa ACTIS
- 18- Aïllament extrados de poliestiré extruït de 8cm de gruix
- 19- Capa exterior protecció extrados de formigó de calç de 6cm de gruix amb malla metàl·lica 20x20Ø6
- 20- Punt de ròtula per verticalitzar esforços

Rigilització en creus de St Andreu



GENERALITAT DE CATALUNYA
 Departament de Política Territorial
 i Obres Públiques
Direcció General d'Arquitectura i Paisatge
Ajuntament de Cervera



LLEI DE BARRIS
 PROJECTE D'INTERVENCIÓ INTEGRAL DEL NÚCLI
 ANTIC DE CERVERA

NOM DE L'ACTUACIÓ - FASE

**CONSOLIDACIÓ ESTRUCTURAL DE
 L'ESGLÉSIA DE SANT DOMÈNEC
 A CERVERA - 1a FASE**

**PROJECTE FINAL D'OBRA
 REALMENT EXECUTADA**

MUNICIPI CERVERA

COMARCA LA SEGARRA

TÍTOL DEL PLÀNOL SÈRIE COBERTA
DETALL 3 COBERTA - SECCIÓ TRANSVERSAL

ARQUITECTES
**ANTONI MARTÍ I FALIP
 JOSEP ESTEVE I VILA**

EQUIP COL·LABORADOR

AQUEST PLÀNOL REPRESENTA L'OBRA REALMENT EXECUTADA
 20 de febrer del 2012

LA DIRECCIÓ FACULTATIVA

Signat

Signat

Arquitecte

Aparellador

ESCALA 1:20

NÚM. PLÀNOL
FF COB FO

DATA FEBRER 2012

NÚM. TOM

NÚM CLAU



GENERALITAT DE CATALUNYA
 Departament de Política Territorial
 i Obres Públiques
Direcció General d'Arquitectura i Paisatge
Ajuntament de Cervera



Unitat d'obres gestionades

LLEI DE BARRIS
 PROJECTE D'INTERVENCIÓ INTEGRAL DEL NÚCLI
 ANTIC DE CERVERA

NOM DE L'ACTUACIÓ - FASE

**CONSOLIDACIÓ ESTRUCTURAL DE
 L'ESGLÉSIA DE SANT DOMÈNEC
 A CERVERA - 1a FASE**

**PROJECTE FINAL D'OBRA
 REALMENT EXECUTADA**

MUNICIPI CERVERA

COMARCA LA SEGARRA

TÍTOL DEL PLÀNOL SÈRIE COBERTA

**DETALL COBERTA - TROBADA ENCAVALLADA
 AMB BIGUES DE FUSTA**

ARQUITECTES

**ANTONI MARTÍ I FALIP
 JOSEP ESTEVE I VILA**

EQUIP COL·LABORADOR

ESCALA

1:--

NÚM. PLÀNOL

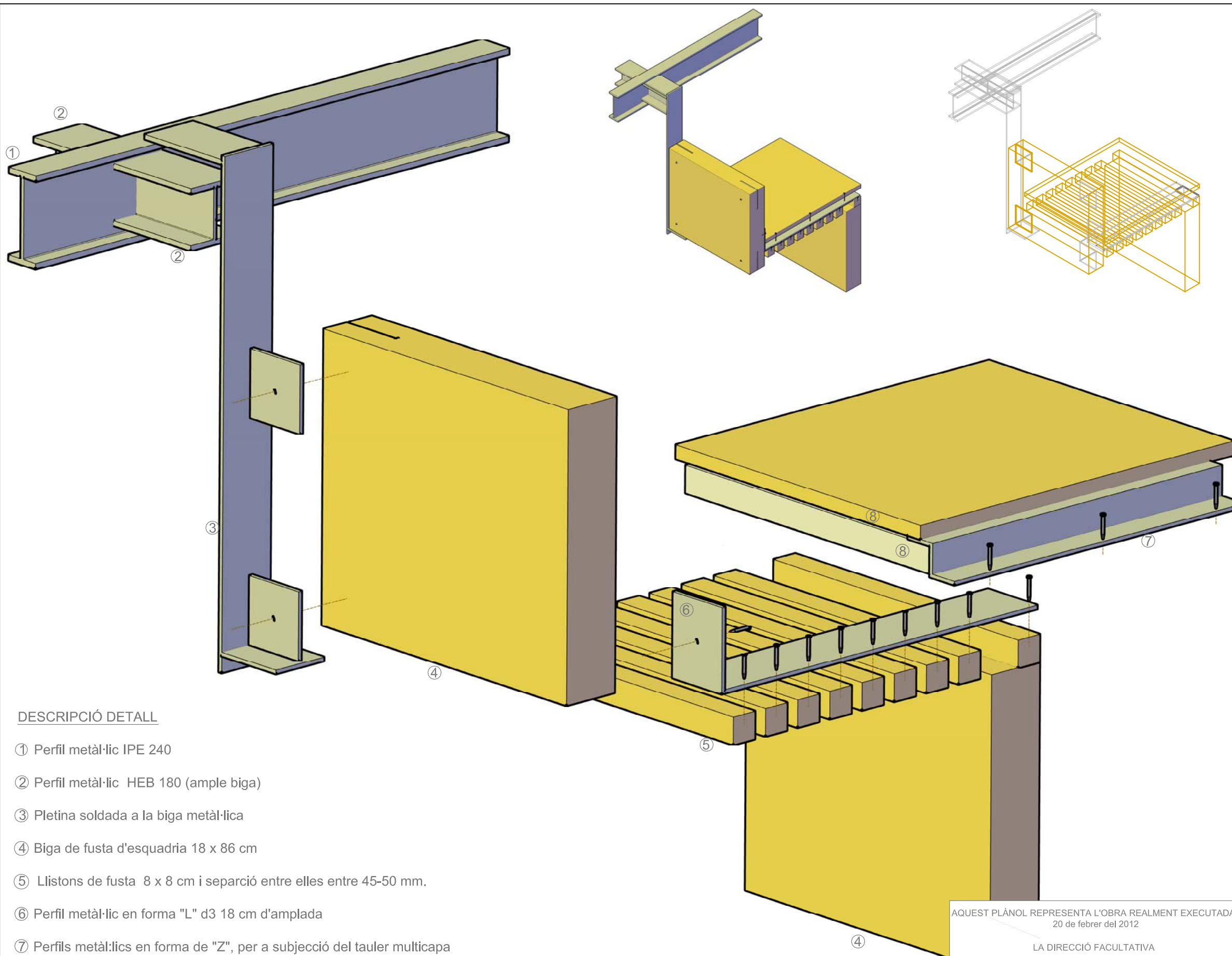
FG COB FO

DATA

FEBRER 2012

NÚM. TOM

NÚM CLAU



DESCRIPCIÓ DETALL

- ① Perfil metàl·lic IPE 240
- ② Perfil metàl·lic HEB 180 (ample biga)
- ③ Pletina soldada a la biga metàl·lica
- ④ Biga de fusta d'esquadria 18 x 86 cm
- ⑤ Llistons de fusta 8 x 8 cm i separció entre elles entre 45-50 mm.
- ⑥ Perfil metàl·lic en forma "L" d3 18 cm d'amplada
- ⑦ Perfiles metàl·lics en forma de "Z", per a subjecció del tauler multicapa
- ⑧ Aïllament sostre sala principal format per tauler DM ignífug de 19mm + aïllant tèrmic de llana de roca de 8 cm de gruix

AQUEST PLÀNOL REPRESENTA L'OBRA REALMENT EXECUTADA
 20 de febrer del 2012

LA DIRECCIÓ FACULTATIVA

Signat

Signat

Arquitecte

Aparellador

ANNEX 2

Zona central

ZONA CENTRAL (part inferior)	espai 1	intermedi 1	espai 2	intermedi 2	espai 3	intermedi 3	espai 4	intermedi 4	espai 5	intermedi 5	espai 6	intermedi 6	Total
Terra [rectangles]													
llargada (m)	10,2	9,8	10,1	9,8	10	9,8	10	9,8	10	9,8	10	9,8	
amplada (m)	5,2	0,6	4,2	0,6	3,4	0,6	3,6	0,6	4,2	0,6	3,8	0,6	
superfície terra (m²)	53,04	5,88	42,42	5,88	34	5,88	36	5,88	42	5,88	38	5,88	280,74
alçada (m)	10,7	5,35	10,7	5,35	10,7	5,35	10,7	5,35	10,7	5,35	10,7	5,35	
volum (m³) [prismes rectangulars]	567,528	31,458	453,894	31,458	363,8	31,458	385,2	31,458	449,4	31,458	406,6	31,458	2815,17

ZONA CENTRAL (part superior)	espai 1	intermedi 1	espai 2	intermedi 2	espai 3	intermedi 3	espai 4	intermedi 4	espai 5	intermedi 5	espai 6	intermedi 6	Total
Sostre acústic													
secció transversal (m ²) [aproximació per cossos geomètrics regulars]	18,3		18,3		18,3		18,3		18,3		18,3		
contorn (m)	17,8		17,8		17,8		17,8		17,8		17,8		
Arc de volta													
secció transversal (m ²) [aproximació per cossos geomètrics regulars]		51,36		51,36		51,36		51,36		51,36		51,36	
contorn [arc circumferència] (m)		19,164		19,164		19,164		19,164		19,164		19,164	
amplada(m)	5,2	0,6	4,2	0,6	3,4	0,6	3,6	0,6	4,2	0,6	3,8	0,6	
superfície (m²) [contorn x amplada]	92,56	11,498	74,76	11,498	60,52	11,498	64,08	11,498	74,76	11,498	67,64	11,498	503,309
volum (m³) [secció x amplada]	95,16	30,816	76,86	30,816	62,22	30,816	65,88	30,816	76,86	30,816	69,54	30,816	631,416

	V part inferior	V part superior	Total
VOLUM TOTAL (m³)	2815,17	631,416	3446,586

	S terra	S sostre
SUPERFÍCIES (m²)	280,74	503,309

Al final d'aquest annex s'hi pot trobar un plànol de la planta de l'església on es pot veure, de forma detallada, com s'ha dividit el recinte per tal de calcular tant el volum com les superfícies.

Zones laterals

ZONA LATERAL 1	espai 1	espai 2	espai 3	espai 4	espai 5	espai 6	Total
Terra [rectangles]							
llargada (m)	4,2	4,2	4,2	4	3,7	3,9	
amplada (m)	5,2	4,2	3,6	3,7	4,2	3,8	
superfície terra (m²)	21,84	17,64	15,12	14,8	15,54	14,82	99,76
alçada (m)	5,2	5,2	5,2	5,1	5,1	5,1	
volum (m³) [prismes rectangulars]	113,568	91,728	78,624	75,48	79,254	75,582	514,236
Sostre [cilindres elíptics]							
radi 1 [a] (m)	2,6	2,1	1,8	1,85	2,1	1,9	
radi 2 [b] (m)	3,45	3,5	2,5	3,2	3,45	3,45	
llargada (m)	4,2	4,2	4,2	4	3,7	3,9	
volum (m³)	59,178	48,490	29,688	37,196	42,108	40,157	256,817

Elipse
$\text{Àrea} = \pi \cdot a \cdot b$

RUÏNES (lateral 1)	espai 1	intermedi 1	espai 2	intermedi 2	espai 3	intermedi 3	espai 4	intermedi 4	espai 5	intermedi 5	espai 6	intermedi 6	Total
llargada (m)				0,8	1,7 + 0,8	0,7	4,1 + 0,8	0,7	4,5	0,7	4,7	0,6	
amplada(m)				0,3	2,1 + 3,5	0,6	3,7	0,6	4,2	0,6	3,8	0,6	
superfície terra (m²) [rectangles]				0,24	2,8	0,42	18,13	0,42			37,54		59,55
profunditat (m) [mitjana de varies mesures]				0	1,8	0	1	0		0,8			
volum (m³) [prismes rectangulars]				0	6,426	0	15,17	0		30,032			51,628

ZONA LATERAL 2	espai 1	espai 2	espai 3	espai 4	espai 5 (1)	espai 5 (2)	espai 6	Total
Terra [rectangles]								
llargada (m)	4,1	4	4	3,9	2,7	3,7	4	
amplada (m)	5,1	4,2	3,3	3,5	4,2	4,2	3,9	
superfície terra (m²)	20,91	16,8	13,2	13,65	10,34	15,54	15,6	106,04
alçada (m)	5,25	5,3	5,3	5,2	3,4	3,9	5,2	
volum (m³) [prismes rectangulars]	109,7775	89,04	69,96	70,98	35,156	60,606	81,12	516,64
Sostre [cilindres elíptics]								
radi 1 [a] (m)	2,55	2,1	1,65	1,75	2,1	2,1	1,95	
radi 2 [b] (m)	3,4	3	2,2	2,5	0,8	1,2	3,4	
llargada (m)	4,1	4	4	3,9	2,7	3,7	4	
volum (m³)	55,837	39,584	22,808	26,802	7,125	14,646	41,658	208,46

	V terra lateral 1	V terra lateral 2	V sostre lateral 1	V sostre lateral 2	V ruïnes	Total
VOLUM TOTAL (m³)	514,236	516,6395	256,817	208,460	51,628	1547,780

	S terra lateral 1	S terra lateral 2	S ruïnes
SUPERFÍCIES (m²)	99,76	106,04	59,55

Càlcul volum i superfícies

Zona escenari

ZONA ESCENARI (part inferior)	espai 1	espai 2	espai 3	espai 4	espai 5	espai 6	Total
Terra [triangles]							
base (m)	9,4	4	4	4	4	4	
altura (m)	2,1	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	
superfície terra (m²)	9,87	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	58,87
alçada (m)	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	
volum (m³) [prismes triangulars]	65,142	64,68	64,68	64,68	64,68	64,68	388,542

ZONA ESCENARI (part superior)	
Sostre [casquet esfèric]	
radi base casquet [a] (m)	4,9
altura [h] (m)	6,7
radi esfera [r] (m)	5,142
volum (m³)	299,423

Radi	Volum casquet esfèric
$r = (a^2 + h^2) / 2h$	$V = (\pi \cdot h^2 / 3) \cdot (3r - h)$

	V terra	V sostre	V total
VOLUM TOTAL (m³)	388,542	299,423	687,965

	S terra
SUPERFÍCIES (m²)	58,87

Capella

CAPELLA	espai 1	espai 2	Total
Terra (rectangles)			
amplada (m)	6,4	2,4	
llargada (m)	5,7	2,8	
superfície terra (m²)	36,48	6,72	43,2
alçada (m)	8,6	3,4	
volum (m³)	313,728	22,848	336,576
Sostre (semi-esfera)			
radi(m)	2,8	1,4	
superfície (m²)	49,260	12,315	61,575
volum (m³)	45,976	5,747	51,723

	V terra	V sostre	Total
VOLUM TOTAL (m³)	336,576	51,723	388,299

	S terra	S sostre
SUPERFÍCIES (m²)	36,48	49,260

Volum esfera	Superfície esfera
$V = 4 \cdot \pi \cdot r^3 / 3$	$S = 4 \cdot \pi \cdot r^2$

Altres elements constructius

Baranes	
longitud (m)	75,6
amplada (m)	0,01
alçada (m)	0,9
superfície (m²) [rectangle x 2]	136,08
volum (m³) [prisma rectangular]	0,68

Lavabos entrada (zones centrals i laterals)	
llargada (m)	18,4
amplada (m)	4
alçada (m)	3
volum (m³) [prisma rectangular]	220,8

Escenari	espai 1	espai 2	espai 3	espai 4	espai 5	espai 6	Total
base (m)	8,8	3,9	3,7	3,7	3,7	3,9	
altura (m)	2	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	
superfície (m²) [triangles]	8,8	8,58	8,14	8,14	8,14	8,58	50,38
alçada (m)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
volum (m³) [prismes triangulars]	3,52	3,432	3,256	3,256	3,256	3,432	20,152

	V baranes	V lavabos	V escenari	Total
VOLUM TOTAL A RESTAR (m³)	0,68	220,8	20,152	241,632

	S baranes	S escenari
SUPERFÍCIES	136,08	50,38

Càlcul volum i superfícies

Volum total i superfícies

	V zona central	V zona escenari	V zones laterals	V capella	-V altres elements	Total
VOLUM TOTAL (m³)	3446,586	687,965	1547,780	388,299	241,632	5828,998

Volum aproximat (m³)	5829,0
-----------------------------	--------

	ZONA CENTRAL		ZONES LATERALS			ZONA ESCENARI	CAPELLA		ALTRES ELEMENTS CONSTRUCTIUS	
	Terra	Sostre	1 (Terra)	1 (Ruïnes)	2 (Terra)	Terra	Terra	Sostre	Baranes	Escenari
SUPERFÍCIES APROXIMADES (m²)	280,7	503,3	99,8	59,6	106,0	58,9	36,5	49,3	136,1	50,4

Terra

	S terra zona central	S terra zona lateral 1	S terra zona lateral 2	S terra capella	S ruïnes	S terra lavabos entrada	Total
FORMIGÓ (m²)	280,74	99,76	106,04	36,48	59,55	44	419,47

	S ruïnes	S zona escenari	S escenari	Total
SORRA I GRAVA (m²)	59,55	58,87	50,38	68,04

FUSTA	Plataforma 1	Plataforma 2	Lavabos entrada	Escenari	Total
amplada (m)	1,2	1,2	5,5		
llargada (m)	6,2	2,5	4		
			*2	[triangles]	
superfície (m²) [rectangles]	7,44	3	44	50,38	104,82

VIDRE	Lavabos entrada
amplada (m)	4
llargada (m)	7,4
superfície (m²) [rectangle]	29,6

PLÀSTIC	Cadires
superfície (m²)	57,12

Sostre

ZONA ESCENARI	espai 1	intermedi 1	espai 2	intermedi 2	espai 3	intermedi 3	espai 4	intermedi 4	espai 5	intermedi 5	espai 6	intermedi 6	Total
Totxo [superfícies laterals còniques]	rectangle												
radi (m)			2,25		2,25		2,25		2,25		2,25		
altura (m)			4,5		4,5		4,5		4,5		4,5		
generatriu (m)			5,031		5,031		5,031		5,031		5,031		
superfície (m²)	14,08		35,563		35,563		35,563		35,563		35,563		191,896
Pedra [superfícies cilíndriques]													
radi (m)		5,4		5,4		5,4		5,4		5,4		5,4	
contorn (m)		8,482		8,482		8,482		8,482		8,482		8,482	
amplada (m)		0,4		0,4		0,4		0,4		0,4		0,4	
superfície (m²) [contorn x amplada]		3,393		3,393		3,393		3,393		3,393		3,393	20,358

ZONA LATERAL 1	espai 1	espai 2	espai 3	espai 4	espai 5	espai 6	Total
Totxo [triangles]					12,52	9,8	22,32
superfície (m²)					12,52	9,8	22,32
Pedra [triangles i superfícies cilíndriques]							
superfície (m²)	2,545	21,886	18,009	16,72	7,406	8,207	74,773
Mortor [triangles i superfícies esfèriques]							
superfície (m²)	23,485						23,485

Àrea lateral d'un con
 $A_L = \pi \cdot r \cdot g$

Àrea lateral d'un cilindre
 $A_L = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$

ZONA LATERAL 2	espai 1	espai 2	espai 3	espai 4	espai 5 (1)	espai 5 (2)	espai 6	Total
Totxo [triangles i superfícies cilíndriques]								
superfície (m²)	17,31						18,89	36,199
Pedra [triangles i superfícies cilíndriques]								
superfície (m²)	7,83	20,702	5,285	5,709			18,982	39,526
Guix [triangles i superfícies cilíndriques]								
superfície (m²)			10,5	10,93	12,925			34,355

S zona escenari	Zona lateral 1	Zona lateral 2	Total
TOTXO (m²)	191,896	22,32	36,1985

S zona escenari	S zona lateral 1	S zona lateral 2	S zona central (arcs de volta)	Total
PEDRA (m²)	20,358	74,773	39,526	68,988

S zona lateral 1	Total
MORTER (m²)	23,485

S sostre capella	S zona lateral 2	Total
GUIX (m²)	49,26	34,355

SOSTRE ACUSTIC (m²) (zona central)	434,321
---	----------------

Superfícies segons els materials

Parets

	espai 1	intermedi 1	espai 2	intermedi 2	espai 3	intermedi 3	espai 4	intermedi 4	espai 5	intermedi 5	espai 6	intermedi 6	Total
ZONA CENTRAL (part inferior)													
Pedra [rectangles, triangles i trapezís]													
superfície (m²)	26,63	7,49	25,14	7,49	13,36	7,49	12,24	7,49	17,23	7,49	22,98	7,49	162,52
Guix [rectangles, triangles i trapezís]													
superfície (m²)	68,49				6,17		5,85						80,51
Vidre (finestra) [rectangle i semi-cercle]													
superfície (m²)	3,67												3,67
ZONA CENTRAL (part superior)													
Pedra (arcs de volta) [trapezís i rectangles]													
superfície (m²)	26,94		17,28		17,28		17,28		17,28		17,28		113,34
Guix [trapezís]													
superfície (m²)	1,55		3,1		3,1		3,1		3,1		3,1		17,05

	espai 1	espai 2	espai 3	espai 4	espai 5	espai 6	Total
ZONA LATERAL 1							
Pedra [rectangles, triangles, sectors circulars i elipses]							
superfície (m²)		33,83	23,27	28,51	91,095	30,46	207,165
Guix [rectangles, triangles, sectors circulars i elipses]							
superfície (m²)	82,47	67,66	60,17	60,91		30,46	301,67
Vidre (finestres) [rectangle i elipse]							
superfície (m²)			2,47				2,47

Sector circular
$\text{Àrea} = (\pi \cdot r^2 / 4) - (r^2 / 2)$

	espai 1	espai 2	espai 3	espai 4	espai 5 (1)	espai 5 (2)	espai 6	Total
ZONA LATERAL 2								
Pedra [rectangles, triangles, sectors circulars i elipses]								
superfície (m²)	81,232	32,28	22,875	25,05		55,575	8,49	225,502
Guix [rectangles, triangles, sectors circulars i elipses]								
superfície (m²)		61,25	56,22	55,875	39,94		62,96	276,245
Vidre (finestres i portes) [rectangles, triangles, sectors circulars i elipses]								
superfície (m²)			0,405	0,405	1,11	0,405	22,14	24,465

Parets

ZONA ESCENARI	espai 1	espai 2	espai 3	espai 4	espai 5	espai 6	Total
Pedra [rectangles, triangles, trapezis i sectors circulars]							
superfície (m²)	8,64				46,27	50,62	105,53
Guix [rectangles, trinalges, trapezis i sectors ciruclars]							
superfície (m²)	1,55	50,62	48,085	47,84			148,095
Vidre (finestres) [rectangles i triangles]							
superfície (m²)			2,535	2,78	4,35		9,665

CAPELLA	espai 1	espai 2	Total
Pedra [rectangles]			
superfície (m²)	46,88		46,88
Guix [rectangles]			
superfície (m²)	95,94	27,2	123,140
Vidre (finestres) [rectangles]			
superfície (m²)	2,1		2,1

LAVABOS ENTRADA	
Fusta [rectangles]	
superfície (m²)	34,98
Vidre [rectangle]	
superfície (m²)	20,075

	Lavabos entrada	Total
FUSTA (m²)	34,98	35,0

	S zona central	S zona lateral 1	S zona lateral 2	S zona escenari	S capella	Total
PEDRA (m²)	275,860	207,165	225,502	105,530	46,88	860,937

	S zona central	S zona lateral 1	S zona lateral 2	S zona escenari	S capella	S baranes	Lavabos entrada	Total
VIDRE (m²)	3,67	2,47	24,465	9,665	2,1	136,08	20,075	198,525

	S zona central	S zona lateral 1	S zona lateral 2	S zona escenari	S capella	Total
GUIX (m²)	80,510	301,67	276,245	148,095	123,14	929,660

Superfícies segons els materials

Superfícies aproximades

	S terra	Total
FORMIGÓ (m²)	419,5	419,5

	S terra	Total
SORRA I GRAVA (m²)	68,0	68,0

	S terra	S parets	Total
FUSTA	104,8	35,0	139,8

	S sostre	Total
TOTXO	250,4	250,4

	S sostre	S parets	Total
PEDRA (m²)	203,6	860,9	1064,6

	S sostre	Total
MORTER (m²)	23,5	23,5

	S sostre	S parets	Total
GUIX (m²)	83,6	929,7	1013,3

SOSTRE ACÚSTIC (m²)	434,3
---------------------	-------

	S terra	S parets	Total
VIDRE	29,6	198,5	228,1

	S cadires	Total
PLÀSTIC	57,1	57,1

	S formigó	S sorra i grava	S fusta	S totxo	S pedra	S morter	S guix	S sostre acústic	S vidre	S plàstic	Total
SUPERFÍCIE TOTAL	419,5	68,0	139,8	250,4	1064,6	23,5	1013,3	434,3	228,1	57,1	3698,6

Superfícies segons els materials



GENERALITAT DE CATALUNYA
Departament de Política Territorial
i Obres Públiques
Direcció General d'Arquitectura i Paisatge
Ajuntament de Cervera



LLEI DE BARRIS
PROJECTE D'INTERVENCIÓ INTEGRAL DEL NÚCLI
ANTIC DE CERVERA

REHABILITACIÓ DE L'ESGLÉSIA DE
SANT DOMÈNEC PER A
CENTRE CULTURAL
2A FASE

CERVERA

LA SEGARRA

SÈRIE PROGRAMES DUALS D'INTERVENCIÓ - 2A FASE
PLANTA BAIXA

ANTONI MARTÍ I FALIP

PLANTA GENERAL

ESCALA 1:200

NO. PL. 01 PGI

DATA MARÇ 2012

NO. TCM

NO. CLAU

Planta baixa església Sant Domènec-2a FASE
ESC. 1/200

- Zona central
- Zona escenari
- Zona lateral 1
- Zona lateral 2
- Capella



ANNEX 3

f = 125 Hz

absorció superficial $\rightarrow A_s = \sum S_i \cdot \alpha_i$

Material	Superfície (m²)	Coefficient d'absorció	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Formigó [302]	419,5	0,01	3,557	3,5905	3,624
Sorra i grava	68,0	0,20	13,6	13,6	13,6
Fusta parets [233]	35,0	0,40	14	14	14
Fusta terra [328] (quan actua una orquestra)	104,8	0,09	4,898	4,898	4,898
(quan es tracta d'una conferència)			9,432	9,432	9,432
Totxo [228]	250,4	0,02	5,008	5,008	5,008
Pedra [262]	1064,6	0,02	21,292	21,292	21,292
Morter [267]	23,5	0,03	0,705	0,705	0,705
Guix [268]	1013,3	0,04	40,532	40,532	40,532
Sostre acústic	434,3	0,50	217,15	217,15	217,15
Vidre portes, baranes i terra [003]	207,9	0,18	37,421	37,421	37,421
Vidre finestres [009]	20,2	0,25	5,051	5,051	5,051
Públic* [127]	63,8	0,40	25,52	12,76	0
Plàstic (PVC)	57,1	0,03	0	0,8565	1,713
TOTAL quan actua una orquestra (sabins)			388,734	376,864	364,994
TOTAL quan es tracta d'una conferència (sabins)			393,268	381,398	369,528

absorció dels elements $\rightarrow A_e = \sum N_i \cdot \alpha_i$

Elements o persones			Absorció (sabins)
Membres d'una orquestra [143]	40	0,38	15,2
Conferenciant [139]	1	0,21	0,21

Heus aquí les taules de càlcul de l'absorció acústica de la sala. S'hi pot observar tant l'absorció superficial com la dels elements o persones, en aquest cas, en sabins. Els números entre claudàtors representen la referència del material segons el llistat dels coeficients d'absorció que es troba en l'annex 3. Tots ells s'han extret d'aquest llistat, excepte el de la sorra i la grava, el del sostre acústic i el del plàstic (PVC) que s'han cercat en altres fonts. El públic no s'ha considerat com nombre de persones, ja que és molt difícil estimar la gent que acudirà als esdeveniments, per això, s'ha pres com àrea d'audiència ocupada.

Com es pot veure es diferencia entre si la sala està plena, al 50% o buida i si actua una orquestra o es tracta d'una conferència. Pel que fa a l'aflluència de públic, la diferència recau en l'àrea d'audiència ocupada, en la superfície que queda lliure de cadires de PVC i en la part de formigó (terra) a la qual hi pot arribar el so. Les diferències d'absorció entre quan actua una orquestra i quan es tracta d'una conferència són: per una banda, les persones tenim un coeficient d'absorció diferent segons estiguem drets o asseguts tocant un instrument i és clar que no absorbeix el mateix un sol conferenciant que una orquestra de 40 membres (més o menys el nombre de persones que formen una orquestra simfònica), per altra banda, si ens fixem en l'absorció superficial, una orquestra ocupa tot l'escenari (fusta terra), mentre que l'àrea d'escenari que ocupa un conferenciant és menyspreable.

En l'absorció dels elements no s'ha considerat si la sala és plena o buida, ja que l'absorció acústica de la zona del públic no té efectes sobre la de l'escenari.

Les operacions d'aquesta taula de càlcul per a 125 Hz, s'han repetit per a les freqüències de 250, 500, 1000, 2000 i 4000 Hz, aplicant, és clar, el coeficient d'absorció per a cada material i element corresponent per a cada freqüència diferent.

Tots aquests resultats serviran posteriorment per calcular el temps de reverberació.

$$f = 250 \text{ Hz}$$

$$\text{absorció superficial} \rightarrow A_s = \sum S_i \cdot \alpha_i$$

Material	Superfície (m²)	Coefficient d'absorció	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Formigó [302]	419,5	0,01	3,557	3,5905	3,624
Sorra i grava	68,0	0,21	14,28	14,28	14,28
Fusta parets [233]	35,0	0,10	3,5	3,5	3,5
Fusta terra [328] (quan actua una orquestra) (quan es tracta d'una conferència)	104,8	0,09	4,898 9,432	4,898 9,432	4,898 9,432
Totxo [228]	250,4	0,03	7,512	7,512	7,512
Pedra [262]	1064,6	0,02	21,292	21,292	21,292
Morter [267]	23,5	0,03	0,705	0,705	0,705
Guix [268]	1013,3	0,05	50,665	50,665	50,665
Sostre acústic	434,3	0,80	347,44	347,44	347,44
Vidre portes, baranes i terra [003]	207,9	0,06	12,474	12,474	12,474
Vidre finestres [009]	20,2	0,10	2,021	2,021	2,021
Públic* [127]	63,8	0,60	38,28	19,14	0
Plàstic (PVC)	57,1	0,03	0	0,8565	1,713
TOTAL quan actua una orquestra (sabins)			506,623	488,373	470,123
TOTAL quan es tracta d'una conferència (sabins)			511,157	492,907	474,657

$$\text{absorció dels elements} \rightarrow A_e = \sum N_i \cdot \alpha_i$$

Elements o persones			Absorció (sabins)
Membres d'una orquestra [143]	40	0,82	32,8
Conferenciant [139]	1	0,33	0,33

$$f = 500 \text{ Hz}$$

$$\text{absorció superficial} \rightarrow A_s = \sum S_i \cdot \alpha_i$$

Material	Superfície (m²)	Coefficient d'absorció	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Formigó [302]	419,5	0,02	7,114	7,181	7,248
Sorra i grava	68,0	0,23	15,64	15,64	15,64
Fusta parets [233]	35,0	0,02	0,7	0,7	0,7
Fusta terra [328] (quan actua una orquestra)	104,8	0,08	4,354	4,354	4,354
(quan es tracta d'una conferència)			8,384	8,384	8,384
Totxo [228]	250,4	0,03	7,512	7,512	7,512
Pedra [262]	1064,6	0,02	21,292	21,292	21,292
Morter [267]	23,5	0,06	1,41	1,41	1,41
Guix [268]	1013,3	0,06	60,798	60,798	60,798
Sostre acústic	434,3	0,85	369,155	369,155	369,155
Vidre portes, baranes i terra [003]	207,9	0,04	8,316	8,316	8,316
Vidre finestres [009]	20,2	0,07	1,414	1,414	1,414
Públic* [127]	63,8	0,80	51,04	25,52	0
Plàstic (PVC)	57,1	0,04	0	1,142	2,284
TOTAL quan actua una orquestra (sabins)			548,745	524,434	500,123
TOTAL quan es tracta d'una conferència (sabins)			552,775	528,464	504,153

$$\text{absorció dels elements} \rightarrow A_e = \sum N_i \cdot \alpha_i$$

Elements o persones			Absorció (sabins)
Membres d'una orquestra [143]	40	1,12	44,8
Conferenciant [139]	1	0,41	0,41

$$f = 1000 \text{ Hz}$$

$$\text{absorció superficial} \rightarrow A_s = \sum S_i \cdot \alpha_i$$

Material	Superfície (m²)	Coefficient d'absorció	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Formigó [302]	419,5	0,02	7,114	7,181	7,248
Sorra i grava	68,0	0,60	40,8	40,8	40,8
Fusta parets [233]	35,0	0,02	0,7	0,7	0,7
Fusta terra [328] (quan actua una orquestra) (quan es tracta d'una conferència)	104,8	0,09	4,898 9,432	4,898 9,432	4,898 9,432
Totxo [228]	250,4	0,04	10,016	10,016	10,016
Pedra [262]	1064,6	0,03	31,938	31,938	31,938
Morter [267]	23,5	0,09	2,115	2,115	2,115
Guix [268]	1013,3	0,08	81,064	81,064	81,064
Sostre acústic	434,3	0,90	390,87	390,87	390,87
Vidre portes, baranes i terra [003]	207,9	0,03	6,237	6,237	6,237
Vidre finestres [009]	20,2	0,06	1,212	1,212	1,212
Públic* [127]	63,8	0,90	57,42	28,71	0
Plàstic (PVC)	57,1	0,05	0	1,4275	2,855
TOTAL quan actua una orquestra (sabins)			634,384	607,168	579,953
TOTAL quan es tracta d'una conferència (sabins)			638,918	611,703	584,487

$$\text{absorció dels elements} \rightarrow A_e = \sum N_i \cdot \alpha_i$$

Elements o persones			Absorció (sabins)
Membres d'una orquestra [143]	40	1,4	56
Conferenciant [139]	1	0,42	0,42

$$f = 2000 \text{ Hz}$$

$$\text{absorció superficial} \rightarrow A_s = \sum S_i \cdot \alpha_i$$

Material	Superfície (m²)	Coefficient d'absorció	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Formigó [302]	419,5	0,02	7,114	7,181	7,248
Sorra i grava	68,0	0,65	44,2	44,2	44,2
Fusta parets [233]	35,0	0,02	0,7	0,7	0,7
Fusta terra [328] (quan actua una orquestra) (quan es tracta d'una conferència)	104,8	0,10	5,442 10,48	5,442 10,48	5,442 10,48
Totxo [228]	250,4	0,05	12,52	12,52	12,52
Pedra [262]	1019,4	0,04	40,776	40,776	40,776
Morter [267]	23,5	0,04	0,94	0,94	0,94
Guix [268]	1013,3	0,04	40,532	40,532	40,532
Sostre acústic	206,5	0,95	196,137	196,137	196,137
Vidre portes, baranes i terra [003]	207,9	0,02	4,158	4,158	4,158
Vidre finestres [009]	20,2	0,04	0,808	0,808	0,808
Públic* [127]	63,8	0,90	57,42	28,71	0
Plàstic (PVC)	57,1	0,05	0	1,4275	2,855
TOTAL quan actua una orquestra (sabins)			410,747	383,532	356,316
TOTAL quan es tracta d'una conferència (sabins)			415,785	388,570	361,354

$$\text{absorció dels elements} \rightarrow A_e = \sum N_i \cdot \alpha_i$$

Elements o persones			Absorció (sabins)
Membres d'una orquestra [143]	40	1,23	49,2
Conferenciant [139]	1	0,46	0,46

$$f = 4000 \text{ Hz}$$

$$\text{absorció superficial} \rightarrow A_s = \sum S_i \cdot \alpha_i$$

Material	Superfície (m²)	Coefficient d'absorció	Sala plena	Sala al 50%	Sala buida
Formigó [302]	419,5	0,05	17,785	17,9525	18,12
Sorra i grava	68,0	0,80	54,4	54,4	54,4
Fusta parets [233]	35,0	0,02	0,7	0,7	0,7
Fusta terra [328] (quan actua una orquestra)	104,8	0,07	3,809	3,823	3,823
(quan es tracta d'una conferència)			7,336	7,35	7,35
Totxo [228]	250,4	0,07	17,528	17,5	17,5
Pedra [262]	1064,6	0,04	42,584	40,76	40,76
Morter [267]	23,5	0,06	1,41	1,38	1,38
Guix [268]	1013,3	0,06	60,798	60,78	60,78
Sostre acústic	434,3	0,90	390,87	390,6	390,6
Vidre portes, baranes i terra [003]	207,9	0,02	4,158	4,158	4,158
Vidre finestres [009]	20,2	0,02	0,404	0,402	0,402
Públic* [127]	63,8	0,80	51,04	25,52	0
Plàstic (PVC)	57,1	0,06	0	1,713	3,426
TOTAL quan actua una orquestra (sabins)			645,486	619,689	596,049
TOTAL quan es tracta d'una conferència (sabins)			649,013	623,216	599,576

$$\text{absorció dels elements} \rightarrow A_e = \sum N_i \cdot \alpha_i$$

Elements o persones			Absorció (saibns)
Membres d'una orquestra [143]	40	1,16	46,4
Conferenciant [139]	1	0,42	0,42

ANNEX 4

COEFICIENTES DE ABSORCIÓN			ABERTURAS							Pag 1		
MATERIAL		DESCRIPCION	mm	dens	125	250	500	1000	2000	4000	NRC	
CORTINA	001	Cortina veneciana de metal			0.06	0.05	0.07	0.15	0.13	0.17	0.10	
PUERTA	002	Puerta			0.15	0.10	0.06	0.08	0.10	0.05	0.09	
VIDRIO	003	Vidrio pesado			0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04	
	004	Ventanal de vidrios gruesos, grandes paños			0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04	
	005	Ventana de vidrio simple	2		0.33	0.25	0.10	0.07	0.06	0.04	0.12	
	006	Ventana de vidrio común	3		0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04	0.16	
	007	Ventana de vidrio	4		0.30	0.20	0.10	0.07	0.05	0.02	0.11	
	008	Ventana de vidrio	6		0.10	0.08	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04	
	009	Ventana de doble vidrio			0.25	0.10	0.07	0.06	0.04	0.02	0.07	

CONTENIDO											
MATERIAL		DESCRIPCION	mm	dens	125	250	500	1000	2000	4000	NRC
ASIENTO	101	Butaca de madera			0.02	0.02	0.03	0.35	0.04	0.04	0.03
	102	Butaca de madera			0.02	0.02	0.04	0.06	0.10	0.10	0.06
	103	Butaca semi-tapizada			0.06	0.08	0.10	0.12	0.12	0.12	0.11
	104	Butaca de madera			0.03	0.04	0.05	0.07	0.08		0.14
	105	Butaca tapizada			0.09	0.12	0.14	0.16	0.15	0.16	0.14
	106	Butaca semi-tapizada			0.10	0.10	0.15	0.15	0.20	0.20	0.15
	107	Butaca tapizada con cuero o vinilo			0.10	0.15	0.25	0.25	0.25	0.25	0.23
	108	Butaca tapizada con plástico			0.20	0.20	0.25	0.30	0.30	0.30	0.26
	109	Butaca tapizada de terciopelo			0.30	0.32	0.27	0.30	0.33	0.33	0.31
	110	Butaca tapizado delgado			0.13	0.20	0.30	0.45	0.50	0.50	0.36
	111	Butaca bien tapizada			0.15	0.25	0.40	0.45	0.45	0.40	0.39
	112	Butaca tapizado de lujo			0.28	0.28	0.40	0.50	0.55	0.60	0.43
ASIENTOS	113	Área de asientos desocupados, tap. ligero			0.35	0.45	0.57	0.61	0.59	0.55	0.56
	114	Área de asientos desocupados, tap. mediano			0.56	0.64	0.70	0.72	0.68	0.62	0.69
	115	Área de asientos desocupados, muy tapizados			0.72	0.79	0.83	0.84	0.83	0.79	0.82
AIRE	116	Aire						0.00	0.00	0.02	