

# ANÀLISI ACÚSTICA I MUSICAL DE LES CAMPANES DE LES CATEDRALS CATALANES

Francesc Llop i Álvaro

edició de les figures introduïda la referència al text

És molt interessant que un dels aspectes més importants en relació amb les campanes i que més les defineix és al mateix temps una de les característiques menys estudiades. Evidentment estem parlant del seu so, però des d'un punt de vista de cada campana analitzada com a ens individual. De fet sorprèn la falta de literatura en castellà o català sobre l'acústica i la manera d'emetre el so d'aquest instrument, amb una única referència específica en un article d'André Lehr (1993). Aquesta va ser la raó que em va impulsar a realitzar la meua tesi doctoral (Llop, 2017) sobre aquest tema, on s'aborda el marc teòric en relació amb la manera com produeix una campana el seu so característic, així com el tema paradigmàtic de la nota de colp.

De manera molt resumida,<sup>1</sup> les campanes estan formades per uns parcials harmònics, múltiples de la fonamental, i altres inharmonics, segons assenyala Rossing (1984). De fet, segons Curtiss i Giannini (1984), són els causants que per a algunes persones les campanes tinguen un so desafinat. En la taula següent podem veure un model dels parcials d'una campana afinada, segons el model de les utilitzades per fer carillons.

Com podem observar en aquesta il·lustració (Figura 1), és possible definir, aproximadament i d'una manera simplificada, les zones de la campana on es troba cada parcial, encara que, com veiem en la part teòrica del treball, no és tan senzill. Segons el perfil que presentem a continuació (Figura 2), la prima es trobaria entre les lletres A i B, la tercera entre la C i A, la cinquena entre la D i la I, la nominal en la F i l'hum pràcticament en tot el perfil, ja que, com diu Simpson (1984), fa referència a la massa sencera de la campana.

L'estudi realitzat de cada campana comprèn dades identificatives:

Parcial	Nota
Hum	Do 3 +00
Prima	Do 4 +00
Tercera	Mib 4 +00
Cinquena	Sol 4 +00
Nominal	Do 5 +00
Supercinquena	Sol 5 +00
Octava nominal	Do 6 +00

Figura 1. Parcials de la campana ideal. Elaboració pròpia.

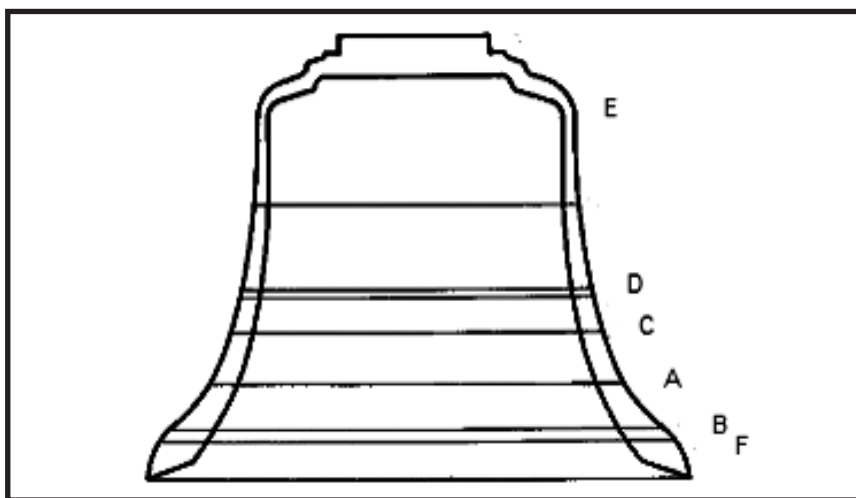


Figura 2. Parcials en la campana ideal. Elaboració pròpia.

nom, fonedor, diàmetre i any de fosa, a les quals s'afegeix el gruix d'aquesta recerca, és a dir, la freqüència de cadascun dels parcials que forma el so final de la campana gràcies a l'ús del programari Wavanal, creat per Hibbert (2018) en 2004. Posteriorment s'ha procedit a contrastar els resultats amb els d'una campana de carilló ideal. Davant el dubte inicial de comparar instruments amb una fi tan diferent com són les campanes per als tocs

tradicionals, en les quals predomina el ritme, amb aquelles en les quals preval la melodia, es va imposar poder tenir un model comparatiu clar. De fet, és important destacar que amb aquestes comparacions en cap moment no s'ha pretès valorar la qualitat dels elements analitzats.

Una de les característiques més importants de les campanes és que el resultat sonor depèn de molts factors i no sempre se situa en el so de determinat parcial. Segons

Heuven (1949), no és possible trobar-ho amb mitjans físics, mentre que Hibbert ho defineix com la paradoxa de l'absència de la nota de colp. Açò va produir que l'estudi realitzat dels parcials de les campanes analitzades fora insuficient per a poder tenir una imatge real del so de la campana, fent necessària la realització d'un seguit d'experiments sobre la nota de colp per determinar quin parcial, o la suma de quins, repercutia en major grau en el so final de la campana.

A les catedrals catalanes, segons la catalogació efectuada per Francesc Llop i Bayo i M. Carmen Álvaro Muñoz (2007), trobem un total de 104 campanes, de les quals es pogueren analitzar els parcials de 93, el que representa el 89,4 % de la mostra total, dada molt significativa tenint en compte la dificultat d'accés que en moltes ocasions presenten les campanes. Respecte a l'univers estudiat trobem que la més antiga és la campana de Senyals de la catedral de Santa Maria de Tarragona i la més moderna és la Rarímia, fosa per Paccard en l'any 2000, de la catedral de Sant Llorenç de Sant Feliu de Llobregat. En relació amb el diàmetre, la campana analitzada més petita és la campana dels Quarts de la catedral de Santa Maria de Girona, amb 17 cm, i la més gran, la campana de les Hores de la catedral de la Santa Creu i Santa Eulàlia de Barcelona, de 232 cm. En relació amb el perfil, a les catedrals catalanes ens trobem els tres tipus més freqüents que es donen a la península: gòtic, romà i el que denominem «normal», pel fet de ser el més freqüent i que és similar al de les campanes de carilló.

Amb les dades obtingudes no podem delimitar un patró de desviament que es complisca en totes elles. Per aquesta raó afirmem que els perfils gòtic i romà no impliquen cap composició dels parcials clarament determinats o diferents dels de la campana normal, encara que sí que tenen un so diferent i característic. Evidentment, els resultats obtinguts de les campanes de les catedrals catalanes no segueixen les característiques predeterminades que hem vist a les campanes afinades de carilló.

En el gràfic següent (Figura 3) podem veure, com a exemple, la desviació respecte a la campana ideal de les campanes de la catedral primada de Tarragona.

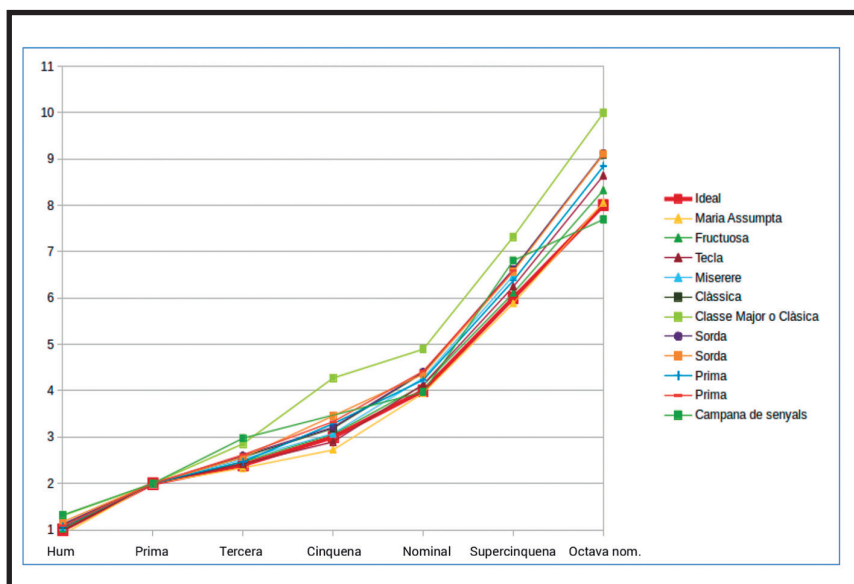


Figura 3. Desviació de les campanes de la catedral de Santa Maria de Tarragona. Elaboració pròpia.

A més, en aquesta taula (Taula 1) veiem el resultat de l'anàlisi dels parcials que s'ha realitzat d'aquesta mateixa catedral.

En aquest exemple podem veure les diferents dades que s'han recopilat de cada campana i, a més, la cel·la ombrejada marca en cada cas

Campana	Campana de senyals (°)	Vedada* (°)	Prima (°)	Maria Bàrbara*	Prima	La campana dels Quarts*	Sorda	Sorda	Classe Major o Clàssica	Clàssica	Miserere	Tecla	Fructuosa	Maria Assumpta	La Capona, d'hores*
Hum	Sol 5 +05	Sib 4 +34	Fa# 4 -49	Fa 4 -38	Mi 4 +04	Fa# 4 +14	Si 3 -38	Si 3 +38	Mi 4 +30	Lab 3 +11	Mi 3 -13	Mib 3 +48	Fa# 3 -04	Re 3 +52	La 2 +07
Hum freq.	786,5	475,5	359,5	341,5	330,5	373	241,5	252,5	335,5	209	163,5	160	184,5	150,5	110,5
Prima	Re 6 +26	Fa 5 -37	Mi 5 +11	Fa 5 +02	Mib 5 +00	Sol 5 +02	Lab 4 -11	La 4 +36	Do 5 -30	Fa# 4 +46	Mib 4 -34	Mi 4 -16	Fa# 4 -35	Mi 4 +20	Do 4 -44
Prima freq.	1192,5	683,5	663,5	699,5	622	785	412,5	449,5	514	380	305	326,5	362,5	333,5	255
3ª	La 6 +14	Re 6 -38	La 5 -22	La 5 +47	Sol 5 -35	Do 6 -11	Do 5 +18	Re 5 -09	Fa# 5 -14	Si 4 -20	Sol 4 -33	La 4 +15	Fa# 4 +25	La 4 -11	Re 4 -15
3ª freq.	1774,5	1149	868,5	853,5	768	1039,5	529	584	734	488	384,5	395,5	446,5	389,5	291
5ª			Reb 6 -05	Do 6 +48	Do 6 -40	Mib 6 -04	Fa 5 +35	Fa# 5 -45	Reb 6 -16	Mib 5 +10	Sib 4 +25	Sib 4 +75	Reb 5 +01	Sib 4 -45	Mi 4 -43
5ª freq.			1105	1076,5	1022,5	1241,5	713	722	1098,5	606	469	473	555	454	321,5
Nominal	Re 7 +13	Fa 6 +43	Fa# 6 -15	Fa# 6 -08	Mi 6 -02	La 6 -32	La 5 +36	Si 5 +03	Mib 6 +18	Lab 5 +06	Mi 5 -19	Mi 5 +40	Fa# 5 +15	Mi 5 -01	Fa# 5 +38
Nom. freq.	2367,5	1432,5	1467	1473	1316,5	1727,5	898,5	990	1258	833,5	652	675	746,5	658,5	756,5
Super 5ª	Si 7 +46	Si 6 +42	Reb 7 -25	Reb 7 +10	Si 6 +06		Mi 6 +47	Fa# 6 +09	Sib 6 +15	Mib 6 +15	Si 5 +00	Do 6 -45	Reb 6 -03	Si 5 -11	
Super 5ª freq.	4059,5	2024,5	2185,5	2231,5	1982,5		1355,5	1488	1881	1256	988	1019,5	1106,5	981,5	
8ª nom.	Re 8 -41	Fa 7 +26	Fa# 7 +20	Sol 7 -31	Fa 7 -27		Sib 6 +12	Do 7 -35	Mi 7 -46	La 6 -30		Fa 6 +17	Fa# 6 +34	Mi 6 +33	Do 6 +07
8ª nom. freq.	4587,5	2836,5	2995,5	3080	2750		1878,5	2050,5	2567,5	1729		1411	1509,5	1344	1051
Any fund.	1250ca	1728	1859	1772	1753	1509	1905	1867	1315ca	1867	1892	1777	1313	1314	1509
Diàmetre	32	42	50	52	59	62	77	80	83	95	115	118	134	140	157
Fonedor		SORELLO, JOAN	POMAROL, JOSEP (REUS)	MESTRES, JAUME (REUS)	FAGES, ISIDRE (BARCELONA)	FENODI, ANTONI		POMEROL, JOSÉ (REUS)		POMAROL, JOSEP (REUS)	POMEROL, RAMÓN E HJO (REUS)	PALLÉS, JAUME (GRANOLLERS)			FENODI, ANTONI

Taula 1. Anàlisi de les campanes de la catedral de Santa Maria de Tarragona. Elaboració pròpia.

el parcial que més influència té en el resultat sonor de la campana fruit dels experiments fets.<sup>2</sup> En aquest cas ens trobem, sense cap dubte, davant d'un dels conjunts amb més valor per la importància de les seues campanes medievals.

Segons el gràfic sobre les desviacions, podem veure que sí que cerquen seguir uns paràmetres similars, encara que trobem grans desviacions de la campana Classe Major o Clàssica o el parcial de la tercera en la campana de Senyals. Malgrat açò, és un grup bastant homogeni, que conté una afinació relativa molt gran entre els seus diferents elements. Aquesta afinitat també la podem veure quan creuem les dades obtingudes en els experiments amb els dels parcials. De fet, excepte en dues campanes, en totes hi ha una gran coherència en relació amb els parcials que originen el so final. D'aquesta manera, considerem la nominal com el més important, sobretot en el cas de les campanes més grans, ja que en les més xicotetes es reparteix amb l'hum i fins i tot amb la prima. Aquesta dada té una clara relació amb els resultats que obtinguérem de la totalitat de les campanes de les catedrals d'Espanya, on la suma de tots els parcials influents en la nota de colp on es troba la nominal representaren un 51,55 % del total.

És molt interessant contrastar l'anàlisi d'aquesta catedral amb altres on trobem conjunts molt més moderns, com la catedral de Santa Maria de la Seu Vella de Lleida. En aquest cas ens trobem amb una torre en la qual el joc de campanes utilitzat per als tocs litúrgics està format per cinc campanes de perfil gòtic, encara que de manufactura moderna a càrrec de Benigno Menezo. Encara que és un conjunt de campanes sense rellevància, podem observar en el gràfic corresponent que almenys les campanes, malgrat estar molt allunyades de les proporcions proposades per la campana ideal, tenen certa coherència entre si. En relació amb la nota de colp, en aquest conjunt ens trobem amb dades curioses. En primer lloc, no ha sigut possible trobar cap campana en la qual puguem trobar almenys dos parcials amb la mateixa nota obtinguda als experiments. En segon lloc, solament hi ha una campana en la qual la nota està definida per la nominal.

En tercer lloc, tenim una campana en la qual el seu so final està marcat per la tercera, la Puríssima, i una altra en la qual ve marcat per la cinquena, la Meuca. En quart lloc, la campana major té tal varietat de resultats en els experiments que no és possible trobar els parcials que puguen coincidir. I, per a finalitzar, en cinquè lloc, dues de les campanes foses per Benigno Menezo, el Crist i la Bàrbara, presenten unes dades molt clares en l'experiment però que no podem relacionar amb cap dels parcials que ens mostra la taula.

Un altre factor que estudiàrem en profunditat va ser el resultat de les campanes en relació amb els fonadors. D'aquesta manera la conclusió de l'estudi va ser que el resultat sonor de les campanes depèn clarament del treball i els coneixements adquirits pel fonador. Per aquesta raó, és de vital importància tenir aquest factor en compte a l'hora de realitzar i encarregar projectes de restauració o de creació de nous elements en relació amb els conjunts existents. Igual que va ser determinant per a les campanes del passat els coneixements que es tenien a l'hora de crear-les, aqueixa importància es manté encara en el present, sense que la industrialització haja sigut un factor decisiu en una direcció o altra. Així mateix, serà molt important tenir en compte que les noves campanes es puguen integrar en els tocs tradicionals, mantenint d'aquesta manera el patrimoni material i immaterial de les torres.

### Notes

1. Per entendre l'evolució del coneixement a través de la història del so de les campanes, així com una explicació en profunditat d'aquest, es recomana encardament acudir a la tesi referida.
2. La foscor de l'ombreig té relació directa amb els resultats dels experiments i el grau de concreció. Per a més informació, consulteu la tesi doctoral referida.

### BIBLIOGRAFIA

- ÁLVARO MUÑOZ, Mari Carmen; Llop i Bayo, Francesc. «Inventario de las campanas de las Catedrales de España». Subdirección General de Protección de Patrimonio Histórico, Ministerio de Cultura de España, 2007. Disponible en línea: <http://www.campaners.com/php/ministerio.php?numer=0>.
- CURTISS, A. N.; GIANNINI, G. M. «5. Some Notes on the Character of Bell Tones». A: *Acoustics of Bells*, vol. 19. Thomas D. Rossing (ed.). *Benchmark Papers in Acoustics*. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1984, p. 75-82.
- HEUVEN, E. W. Van. «Acoustical measurements on church-bells and carillons». Tesi doctoral. Delft (Països Baixos): Technische Hogeschool te Delft, 1949.
- HIBBERT, William A. «The Quantification of Strike Pitch and Pitch Shifts in Church Bells». Great Bookham (Anglaterra): 2018. Disponible en línea: <http://www.hibberts.co.uk>.
- LEHR, André. «Restauració de campanes». *Campaners*, núm. 6. València: 1993, p. 72-79. Disponible en línea: <http://www.campaners.com/php/textos.php?text=1272>.
- LLOP ÁLVARO, Francesc. «Las campanas en las catedrales hispanas». Tesi doctoral. València: Universitat de València, 2017. Disponible en línea: <http://roderic.uv.es/handle/10550/59835>.
- ROSSING, Thomas D. «The Acoustics of Bells: Studying the vibrations of large and small bells helps us understand the sounds of one of the world's oldest musical instruments». *American Scientist*, vol. 72, núm. 5, setembre-octubre. Sigma Xi: 1984, p. 440-447.
- SIMPSON, A. B. «2 A. On Bell Tones». A: *Acoustics of Bells*, vol. 19. Thomas D. Rossing (ed.). *Benchmark Papers in Acoustics*. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1984, p. 27-39.