

ESTUDIS D'ESTEVE TERRADAS SOBRE LA VOLTA DE MAÓ DE PLA

per

JAUME ROSELL i ISABEL SERRÀ

Aquesta és una reflexió sobre els treballs que, durant els anys 1919, i següents, Esteve Terradas i Illa realitzà sobre el comportament resistent de les voltes de maó de pla. Aquests treballs foren motivats per una petició que li féu Josep Puig i Cadafalch, arquitecte, aleshores president de la Mancomunitat de Catalunya, de la qual Terradas era enginyer, per tal d'analitzar el comportament i les possibilitats de càlcul de les voltes d'escala.

El material que hem usat en aquesta recerca és, bàsicament, el que hem convingut d'anomenar la "llibreta de la volta", on figuren una serie de notes i càlculs i la versió manuscrita de la "primera comunicació provisional a D. Josep Puig i Cadafalch."¹

LA VOLTA DE MAÓ DE PLA O "VOLTA CATALANA"

La volta de maó de pla és construïda amb maons i aglomerant (guix, ciment o morter); generalment maons prims, quasi sempre rajoles, posades de pla i no de cantell, configurant fulles, o gruixos, units entre sí dos o tres o més.

Les corbes que es formen amb aquests materials són diverses, amb directriu (de revolució o altres), superfícies reglades, paraboloides, etc.

El procés de construcció resultava senzill i poc costós en el marc de les tècniques pre-industrials: una volta sense cintra i de ràpida execució que podia bastir-se amb pocs mitjans.

Tradicionalment, la volta de maó de pla s'ha usat per a cobrir l'espai, com a sostre, com a coberta, per a formar escales, etc. Una tècnica que trobem tant en la construcció popular com en la monumental: cases de camp, cases de pisos, edificis industrials, palaus, esglésies, etc.

Avui és una tècnica en desús al nostre país i, generalment, a tot el món industrialitzat; però abans, com totes les tècniques a base de petits elements conformats, era molt emprada per la seva gran versatilitat, adaptabilitat i barator, que la convertien en una tècnica universal.

Al final del segle XIX i al principi del XX, la tècnica del maó de pla és molt popular a Catalunya i les voltes bastides amb ella mostren la destresa dels artesans de la construcció fins a tal punt que, a fora, es comença a parlar de la “volta catalana” i, com algú ha dit, comença a veure’s la volta de maó de pla com “una manera catalana de cobrir l’espai.”

Sobre la història i els precedents de la volta de maó de pla s’han escrit textos diversos² que coincideixen a assenyalar el creixement industrial de Catalunya com a factor que popularitza l’ús de la volta i d’altres tècniques del maó de pla. Més tard, l’aparició dels ciments artificials, els quals confeixen una major resistència als morters, consolida els avantatges d’aquesta tècnica i Catalunya es converteix en un centre de difusió de la volta arreu del món.

Només a Nord-amèrica, l’arquitecte valencià Rafael Guastavino i Moreno, que estudià i construí notables edificis a la Barcelona dels anys 1860 i 1870, fundà la societat “Fireproof Company” i patentà la volta catalana amb el nom de “timbrel vault” com un sistema de construcció anti-foc, i arribà a construir, als Estats Units i al Canadà (i fins i tot a l’Índia), més de dos mil edificis, alguns dels quals de gran envergadura.

A Catalunya, la volta es convertí en una versió, la més espectacular, de tot un sistema de construir a base de maó de pla que permet de fer fonaments, pilans, parets, envans, terrats i altres elements. Un sistema que fou batejat per aquells arquitectes que aspiraven a la conformació d’una “arquitectura nacional” amb el nom de “construcció catalana”.

Entre ells, n’esdevé especialment propagandista Josep Puig i Cadafalch, el qual canta les excel·lències del sistema i de la volta en el Congrés Internacional d’Arquitectes celebrat a Madrid l’any 1904, i en altres publicacions i articles.

L’any 1919, poc temps després que Puig accedís a la presidència de la Mancomunitat (1917), es produí l’encàrrec a Esteve Terradas que constituïx el motiu d’aquesta comunicació.

EL CÀLCUL DE LA VOLTA A LA BARCELONA DEL COMENÇAMENT DE SEGLE

Quan Puig encarregà el dictamen a Terradas, el tema del càlcul de la volta era candent i molt popular. La volta, de sempre construïda *a sentiment* pels paletes, era reconeguda com una estructura “impossible” de calcular. Tan bon punt com mostrà les seves propietats tècniques i plàstiques, fet que coincidí amb l’aparició de les primeres institucions científiques en el món de

la construcció, com per exemple l'obertura de l'Escola d'Arquitectura de Barcelona, el càlcul de la volta fou producte d'especulacions i hom assajà distints sistemes que avalesin allò que la pràctica donava per bo.

Les primeres aportacions, lògicament la transposició dels mètodes de càlcul emprats per als arcs de pedra i de maó adovellat, es limiten a recullir els principis de la grafostàtica, que contemplen els cossos com a sòlids rígids.

S'estava treballant en aquesta línia des del final del segle XIX. Guastavino en fou un dels iniciadors. A més, ell propicià als Estats Units³ els assaigs sobre fàbriques i morters i tabulà al M.I.T. les seccions i condicions de les voltes més usals, tot mostrant les grans possibilitats de la tècnica del maó de pla.

Es recullen aleshores les teories que preconitzen la configuració formal de l'arc amb la inversió del polígon de forces i que aquest transcorri sempre dins el terç central de la secció. Bé que, com diu Jeroni Martorell,⁴ atenent la configuració especial de la volta, pel que fa a l'adherència dels fulls i al tipus de material emprat, la pràctica mostra que poden superar-se les condicions teòriques. En aquest sentit d'introduir correccions que aproximïn la teoria a la realitat, anaven els estudis de Domènech i Estapà.⁵

És a dir: que si, d'una banda, s'intuïa la capacitat elàstica de la volta (Fèlix Cardellach, per exemple, en donà una bona idea⁶) les pràctiques del càlcul analític eren encara les usades antigament per als sòlids rígids i s'empraven sobretot les teories que Moseley i Mery havien desenvolupat sobre els mètodes de traçat de la corba de pressions.

En un altre nivell hem de situar Gaudí i els seus deixebles: Rubió, Jujol, etc. Aquests tenien una visió més clara del problema. Contemplaven com les pressions no es transmetien en un pla (i per tant invalidaven la recerca a partir de considerar la volta com a suma d'arcs) sinó de forma estèrea en el conjunt de l'element. Preocupats per la "síntesi arquitectònica", que exigeix, diuen,⁷ tenir en compte l'estabilitat al mateix temps que la funció i la forma, treballaven amb models de la realitat i amb càrregues a escala per tal de determinar els esforços en qualsevol direcció, usant, d'aquesta manera, totes les possibilitats que tenia el càlcul tradicional. Però el comportament elàstic de la volta ens havia de procurar encara moltes sorpreses.

Els nous conceptes de l'elasticitat, fruit de les aportacions de Lamé, Cauchy, i Navier, etc., arribaren més tard a les voltes de maó de pla, de mà de l'arquitecte Jaume Bayó.⁸ Bayó, bé que concebeix ja la volta com una làmina metàl·lica, pretén de calcular-la també considerant-la com a resultat de la suma d'arcs, arcs elàstics tanmateix, cosa que li permet una aproximació més gran a les condicions de treball real, de manera que proposa d'establir lliurement la forma de l'arc i, comprovades les tensions, reforçar les seccions més perjudicades.

Així estaven les coses en la segona dècada del segle XX, quan Puig i Cadafalch encarregà a Terradas que estudiés el comportament de les voltes d'escala.

ELS TREBALLS D'ESTEVE TERRADAS

Formuació d'hipòtesis i objectius generals

De bon començament, Terradas es planteja quin ha d'ésser l'aparell instrumental analític adequat per tal d'aplicar la Teoria de l'Elasticitat a l'estudi de les voltes de maó de pla. Aquesta és una primera novetat en els estudis de la volta, atès que la Teoria de l'Elasticitat, que presenta un fort component operatiu matemàtic, no era ben coneguda encara en els mitjans usuals de l'arquitectura i, per tant, no s'havia aplicat mai amb rigor.

Alhora, Terradas es proposa de portar a terme la comprovació experimental dels resultats obtinguts analíticament. Aquesta comprovació la planteja sobre un model a escala d'un tipus usual de volta i la fa extensiva als seus materials components, ceràmiques i aglomerats, i al comportament de llur unió. És evident que aquesta manera d'operar, alhora analítica i experimental, constitueix una forma científica de plantejar-se el treball.

Tenint present que els elements construïts amb maó de pla són especialment prims, Terradas intueix d'antuvi el possible corbament (pandeig) de la peça i el paper que hi poden arribar a jugar els timpans. Això reflecteix una visió clara del problema i una innovació fonamental en els estudis de càlcul de voltes que fins ara s'havien fet a Catalunya.

Després, Terradas porta lluny el seu pensament sobre la volta de maó de pla. anotant la possibilitat d'emprar-la en estructures d'envergadura, per exemple en els ponts, i en els treballs d'obra pública sens dubte presents en la seva feina d'aquell temps com a enginyer de la Mancomunitat de Catalunya. I proposa assaigs amb ceràmiques armades; possibles variants per tal de reforçar els timpans; estudis comparatius amb l'obra de maó a sardinell i amb els ponts de formigó; i es proposa analitzar els costos de la construcció amb maó de pla referits als de les construccions amb altres tècniques usuals. La materialització de totes aquestes hipòtesis de treball que contemplen l'extensió de les tècniques del maó de pla més enllà de les voltes d'escala, no apareix en els documents consultats i diríem que no es dugué a terme aleshores, però sens dubte la formulació d'aquestes hipòtesis obria un camí del qual més tard encara en veurem algunes traces.⁹

Finalment, es proposa contemplar les possibilitats d'aplicació del càlcul ordinari a les voltes de maó de pla i de configurar una teoria de la volta guerdada amb suports a les parets, tot tornant a la volta d'escala aplomada que, a la vista de la "comunicació provisional", que comentarem més enda-

vant, és concretament allò que Puig i Cadafalch li havia encarregat. Alhora es proposa d'examinar l'espectacular volta d'escala de Can Batlló, construïda per Guastavino l'any 1868 o 1869, en el propi edifici on ara hi havia els laboratoris de la Mancomunitat, allà on Terradas tenia el seu despatx.

Estudi i primeres conclusions

Plantejades les hipòtesis i els objectius inicials, Terradas va anotant a la "llibreta" l'aparell analític que es pot usar tot plantejant-se les condicions materials en què caldrà realitzar els assaigs: tipus de materials a emprar i condicions generals, construcció de les articulacions, material més adequat per a carregar la proba, etc.. Allà deixa constància dels resultats obtinguts per diversos laboratoris estrangers sobre el comportament a compressió, extensió i tallant de la unió de les peces de ceràmica i dels morters, arenes i ciments utilitzats en cada cas.

La lectura d'aquestes notes és difícil car es tracta d'uns apunts d'ús personal, escrits indistintament en català, castellà, alemany, anglès i francès, però sobretot perquè constitueixen una sobreposició d'anotacions sense la continuïtat d'un procés metòdic més fàcilment legible; però, tot i així, mostren ben clarament com es van corregint les propostes a mesura que avança el temps i com existeix un raonament dialèctic entre el plantejament analític i la preparació dels experiments.

Probablement els assaigs parcials que en aquell mateix temps en què s'escriuen les notes s'anaven realitzant, als propis laboratoris de la Mancomunitat, no varen acabar de donar els resultats esperats.¹⁰

Quant a l'assaig del model d'arc de tres articulacions, Terradas, en comprovar analíticament les tensions màximes que produïa la càrrega de ruptura,¹¹ i en observar que són totes elles molt petites, conclou que la ruptura es produeix a causa del pandeig, tal i com probablement ja havia intuït de bon començament. Anota aleshores la importància del gruix i dels timpans en les voltes.

A partir d'aquí comprova analíticament el pandeig, no solament en l'arc assajat sinó en la mateixa volta de Guastavino de 10 m de llum, la qual teòricament resulta que no absorbeix aquest esforç i, això no obstant, s'aguanta.

Aleshores és quan Terradas s'adona del paper que juga el tercer empostament, el de tota la llargada de la volta en el mur perimetral de la caixa d'escala, i de com la volta d'escala, i per extensió totes les voltes de maó de pla, han de considerar-se com una làmina on les seves condicions en els extrems esdevenen fonamentals. Això inaugura una nova etapa en la comprensió i en el càlcul de les voltes.

Després d'unes reflexions sobre allò que cal fer per a pal·liar l'efecte del pandeig en les voltes d'escala: distribució de la càrrega, regata a la paret i cura en l'execució dels timpans, es disposa a redactar la "primera comunicació provisional" adreçada a Puig i Cadafalch.

La comunicació provisional

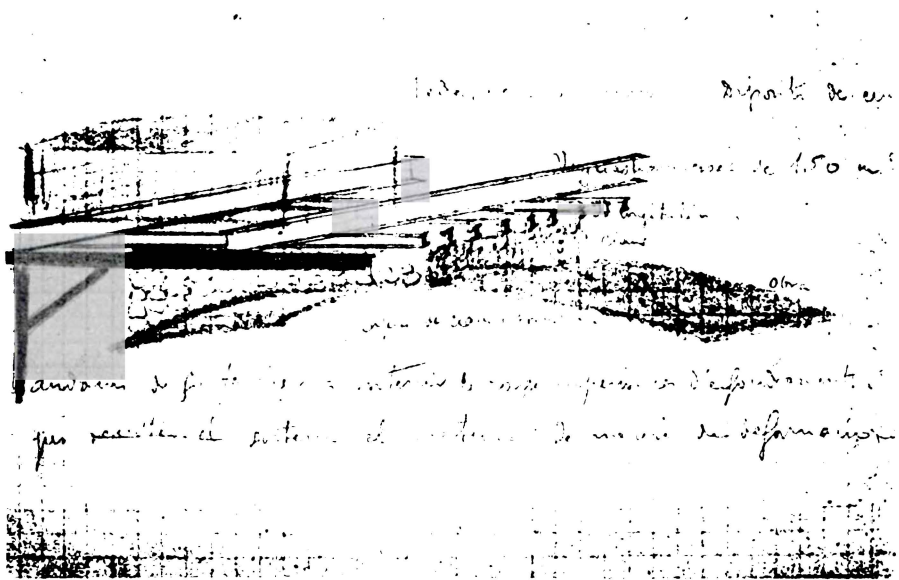
D'aquesta primera comunicació, que porta per títol "Examen de les voltes d'escala (a D. Josep Puig i Cadafalch)" i que ocupa unes quantes pàgines de la "llibreta", n'hem trobat també un mecanografiat corregit. Els resultats expresats en aquest mecanografiat resultaren posteriorment publicats per Joan Bergós,¹² i per això no inclourem aquí el text d'aquesta comunicació de la qual només farem un breu comentari.

Terradas hi comença definint la volta d'escala, i diu "*és una làmina de superfície corba. Les forces exteriors són el pes propi, la sobrecàrrega estàtica i la dinàmica dels pesos mòbils. La deformació de la volta, considerada com la d'una làmina, ha de tenir en compte les condicions en els límits, que són: o bé dos empotraments i un suport o tres empotraments en tres dels costats. L'altre costat és lliure.*"

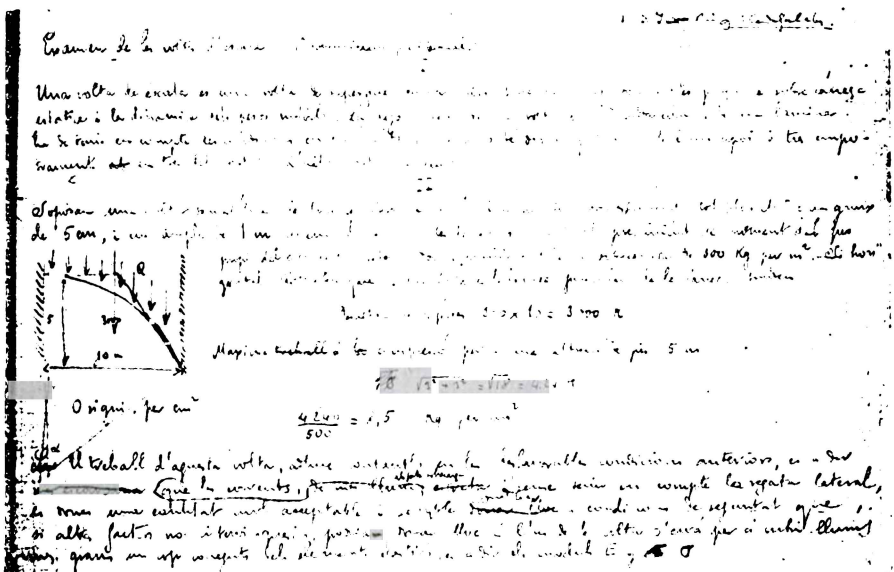
Aplica, a continuació, el càlcul usual a la volta de Guastavino i mostra com, sense tenir en compte la regata lateral, aquella s'aguanta tot donant xifres acceptables pel que fa al treball a compressió i a tracció de la secció recta. Però, diu, "*el treball de la secció recta no és "abastant" per a obtenir l'estabilitat de la volta. La singularitat de la volta d'envà és el poc gruix. Sistemes elàstics en que una o dues dimensions siguin molt petites respecte d'altre o d'altres presenten determinades inestabilitats. El cas més senzill és el descobert per Euler o cas ordinari de flambatge de figures rectes. Mes existeix flambatge semblant en plaques i en làmines corbes. El càlcul de la resistència de les voltes d'escala rau en l'establiment d'una fórmula convenient per al flambatge de làmines corbes amb determinades condicions límits.*"

Després Terradas anuncia que continuarà treballant en la recerca d'un aparell operatiu adient, ja que "*El problema no pot atacar-se per la integració directa de les formules de Love. Assajaré l'aplicació de dos mètodes. L'aproximat de Ritz "Neue Methode zur Lösung gewisser variations problems", o la utilització de la condició de Jacobi sobre l'existència d'un camp d'extremals que faci mínima l'energia potencial.*"¹³

Seguidament, usant un aparell analític aproximat, amb fórmules dels tractats de Maier i Timoshenko, Terradas mostra la realitat de les seves afirmacions. El fet que la volta de Guastavino necessita la regata lateral i el fet, en canvi, que en el cas de les voltes per tranquil usuals d'escala traçades en una semiplanta, és a dir de dimensions menors, aquella condició, d'encasrar una tercera cara de la làmina, no es fa necessària.



Terradas anava escrivint i dibuixant a la “llibreta de la volta” allò que pensava fer i allò que anava fent. Aquest dibuix preparava un dels assaigs.



Pàgina de la "llibreta de la volta" en la qual Terradas comença a resumir el que serà el seu informe a Puig i Cadafalch.



Ningú sabia perquè, però aquestes voltes resistien: els tècnics de sota l'escala en són ben convençuts.



Tram de l'escala de Ca'n Batlló, construïda per Guastavino, que Terradas es proposà examinar.



La volta de maó de pla va ser emprada en innumerables edificis, de vegades amb gran expressivitat. Interior de la fàbrica Aymerich Amat i Jover de Terrassa construïda l'any 1909.

ELS ESTUDIS CONTINUEN

Després de la comunicació provisional, la "llibreta de la volta" conclou tot recollint diverses operacions de càlcul analític, entre els quals es troben diverses provatures basades en el mètode de Ritz anunciat.

L'any següent, el 1921, l'Enciclopedia Espasa publica sota la veu "placa",¹⁴ un article d'Esteve Terradas on apareix l'aplicació de les fórmules de Ritz a la volta d'escala tot fent una hipòtesi de corba cilíndrica. Allà Terradas deixa entreveure que l'assaig experimental s'ha dut a terme.

Foren continuades les investigacions? Existeixen altres comunicacions que desconeixem? Notes posteriors que parlen dels assaigs i les dades obtingudes per Terradas¹⁵ podrien fer pensar en l'existència de més material, però en la nostra recerca apareix un buit notable fins a l'any 1926.

Efectivament, l'any 1926, Terradas dona un curs d'"alta cultura científica" a l'Escola d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Madrid. Aquesta conferència fou integralment revisada i publicada l'any 1927 amb el títol "De la estabilidad geométrica en estructuras elásticas".¹⁶ En l'apartat "C", on es desenvolupa el pandeig de les plaques i les superfícies corbes, diríem que es reflecteix el pensament definitiu de l'autor sobre els temes que ens ocupen però no s'arriba a establir l'aparell analític necessari per al càlcul de les voltes de maó de pla.

Amb el pas del temps, les repercussions dels treballs de Terradas sobre la volta restaran minimitzades perquè aquesta tècnica caurà en desús i el càlcul de làmines es referirà sobretot al formigó armat.

L'any 1934, Josep Goday, en el seu discurs d'ingrés a l'Acadèmia Catalana de Belles Arts de Sant Jordi¹⁷ menciona algunes aportacions fetes per Esteve Terradas i tracta d'incorporar les noves investigacions sobre els procediments de càlcul.

Ja en la postguerra, quan la volta tornava a ressorgir com a tècnica adient per a un país emprobit, un deixeble de Terradas, Bonaventura Bassegoda, posarà al dia l'estat de la qüestió, tot deixant clar el paper cabdal que Terradas tingué en la seva discussió.¹⁸

També Joan Bergós, que fou col·laborador de Gaudí i del mateix Terradas en el Laboratori de la Mancomunitat, ens explica distints aspectes de la personalitat i dels treballs que l'enginyer realitzà a propòsit de les tècniques del maó de pla.¹⁹ Bergós, amb manca de mitjans i riquesa d'idees, tractà de continuar els treballs experimentals sobre les tècniques de la volta que feia extensiu a altres tipus de construccions amb maó de pla.

CONCLUSIONS

Podem dir, doncs, que els treballs d'Esteve Terradas i Illa sobre la volta de maó de pla representen una aportació fonamental al càlcul de la volta i, des d'ella, al càlcul de membranes i làmines corbes.

Ell intuï i comprovà el tema del pandeig, i descobrí que, a efectes de càlcul, el comportament de la volta ha d'assimilar-se al d'una làmina corba.

Bé que no arribà a determinar el procediment analític adequat per a calcular les voltes, mostrà de manera clara quin era el camí que caldria seguir.

Aquestes aportacions clarificaren completament quina era la veritable natura de les voltes de maó de pla.

En aquests resultats es destaquen sense cap dubte les excepcionals qualitats personals de Terradas i la seva capacitat de treballar científicament però hem d'anotar, especialment, la seva condició de matemàtic, de coneixedor de la Teoria de l'Elasticitat,²⁰ i la seva gran sensibilitat per tot allò que succeïa en l'entorn científic del seu món, cosa que es fa palesa en veure l'aparell operatiu que coneix i la bibliografia que utilitza. Algunes de les teories emprades per ell s'estan produint en el mateix moment del seu propi treball. I aquells eren "altres temps."

Agraïm a l'Institut l'acolliment d'aquestes notes i a Antoni Roca l'entusiasme que ens ha comunicat, essencial per a analitzar aquesta petita aportació de Terradas a la modernització de la construcció i de l'arquitectura, petita sobretot per la dimensió de la seva obra global com a enginyer i matemàtic.

NOTES

1. Aquest material original es troba dipositat al Fons E. Terradas de l'Institut d'Estudis Catalans, acompanyat d'altres llibres i textos que constituïren la biblioteca de l'enginyer. Alguns d'aquests materials han estat consultats en el transcurs de la nostra recerca. Completamentàriament, hem fet servir els fons de la biblioteca del Col·legi d'Arquitectes de Catalunya i la del Col·legi d'Aparelladors de Barcelona, sobretot en el que fa referència als aspectes de la història del càlcul de la volta.
2. Altres aspectes històrics poden consultar-se en els textos citar a les notes 16, 17 i 18 d'aquest treball. Una àmplia bibliografia sobre el tema de les voltes i de les de maó de pla pot trobar-se a: BASSEGODA NONELL, J.: *La ceràmica popular en la arquitectura gòtica*. Ediciones Thor. Barcelona 1983. (Hem consultat la 3a edició.)
3. A més d'escriure obres sobre el tema, Guastavino publicà les sèries d'assaigs a: GUASTAVINO, R.: *Essay on the theory and history of Cohesive Construction. Applied especially to the timber vault*. Ticknor and Company. Boston 1893.
4. MARTORELL, J.: "Estructuras de ladrillo y hierro atirantado en la arquitectura catalana moderna". *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña, para 1910*. (pp. 119 a 146). Barcelona 1910.
5. DOMÈNECH Y ESTAPA, J.: "La fábrica de ladrillo en la construcción catalana". *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña para 1900*. (pp. 37 a 48). Barcelona 1900.

6. CARDELLACH, F.: *Filosofía de las estructuras* (pp. 57 i següents). Editores Técnicos Asociados. Barcelona 1970. La primera edició és del 1910.
7. RUBIO, J.: "Dificultats per arribar a la síntesi arquitectònica". *Anuari de l'Associació d'Arquitectes de Catalunya per 1913* (pp. 63 a 79). Barcelona 1913.
8. BAYO, J.: "La bóveda tabicada". *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Catalunya para 1910* (pp. 158 a 184). Barcelona 1910. (Transcripció segons les notes preses per l'alumne de l'Escola d'Arquitectura, Amadeu Llopart.)
9. Per exemple, els estudis de Joan Bergós en els mateixos laboratoris que havien estat de la Mancomunitat de Catalunya i a l'Escola del Treball.
10. Això insinua Terradas en un paràgraf ratllat de la "primera comunicació provisional". Tot i que hem cercat alguns assaigs fets al laboratori de la Mancomunitat durant els anys 1919 i 1920 no hem sabut establir cap correlació entre ells i les dades de la "llibreta de la volta".
11. Les tensions deduïdes a la "llibreta" són: per gruix de 3 cm i 2 rajoles agafades amb morter de ciment, 3,3 kg/cm² a la compressió i 0,7 kg/cm² a la tracció; suposant que fallés l'adherència i només treballés una rajola, 9,3 kg/cm² a la compressió i 6,7 kg/cm² a la tracció; i suposant que treballessin les dues rajoles però per separat, 4,65 kg/cm² a la compressió i 3,35 kg/cm² a la tracció.
12. Bergós publicà aquests resultats a: BERGÓS, J.: *Materiales y elementos de construcción. Estudio experimental*. Editorial Bosch, Barcelona 1953. Sota el títol "Orientaciones de Terradas" a les pp. 260-261 i 263, tot indicant que Terradas les hi proporcionà, però sense fer cap esment de l'encàrrec de Puig i Cadafalch. Bergós utilitza la paraula "flambaje" tal i com Terradas solia usar "flambatge" per a denominar el pandeig.
13. Hem corregit lleugerament l'ortografia, de vegades vacil·lant, de Terradas.
14. *Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo-Americana*. Hijos de J. Espasa editores. Barcelona 1921. Al volum 45, la veu "placa", pp. 197 a 241.
15. Veure Goday nota 17; Bergós, notes 12 i 19; i Bassegoda, nota 18.
16. TERRADAS, E.: *De la estabilidad geométrica en estructuras elásticas*. Talleres Voluntad, Madrid 1926 (pp., 152 i següents).
17. GODAY, J.: *Estudi històric i mètodes de càlcul de les voltes de maó de pla*. Acadèmia Catalana de Belles Arts de Sant Jordi. Barcelona 1934.
18. BASSEGODA MUSTÉ, B.: *La bóveda catalana*. Discurso de entrada a la Real Academia de Ciencias y Artes. Talleres Bas (Igualada). Barcelona 1947.
Existeix una altra publicació del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento) editada a Madrid [s.d.], amb el nom de *Bóvedas Tabicadas*.
La mateixa conferència es troba inclosa al llibre: *Algunos Ensayos sobre Técnica Edificatoria*. Universitat Politècnica de Barcelona, Barcelona 1974.
19. BERGÓS, J.: *Tabicados huecos*. Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares. Barcelona 1965, pp. 17-18 i 19 (en les pàgines anteriors parla dels precedents de la volta de maó de pla).
20. *Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo-Americana*. Hijos de J. Espasa editores. Barcelona [1914]. Al volum 19, veu "elasticitat" pp. 461 a 478. L'autor del text és E. Terradas.