

ARCS EQUILIBRATS. FISTONS I CATENÀRIES

JOAN BASSEGODA I NONELL

LA CATENÀRIA CORBA MATEMÀTICA I ARQUITECTÒNICA

S'anomena catenària la corba que espontàniament forma una cadena d'anells iguals suspesa pels seus extrems.

Aquesta forma, gràcies a la seva espontaneïtat, fou emprada a l'antigor com element decoratiu.

Als temples grecs, i després als romans, es penjaven garlandes de flors i fulles format unes catenàries que s'anomenaven festons, car es col·locaven amb motiu de les festes més llúides.

També durant el Renaixement es féu ús de la garlanda o fistó com element decoratiu en els frisos dels edificis. El Renaixement portà ensems, però, la curiositat científica i llavors el fistó o catenària es veié amb altres ulls. Galileo Galilei (1564-1642) al seu "Dialogo dei Sistemi", del 1638, esmenta la catenària dient que és la corba d'equilibri d'una corda penjada pels seus extrems que adopta una forma que s'apropa a la paràbola. Galileo no tenia pas tota la raó però s'hi acostà força.

El 1637, un any abans que Galileo exposés la seva apreciació de la forma de la catenària, René Descartes (1596-1650) va editar el seu famós "Discurs del Mètode", que en un dels apèndixs titulat "Geometria" va sentar les bases de la geometria analítica, això és la possibilitat de representar les línies mitjançant equacions. Poc a poc es varen determinar les equacions de la línia recta i de les corbes senzilles, per avançar després en les de major complicació. La catenària restà momentàniament al marge d'aquest estudi que es va centrar en les línies que es poden traçar amb compàs i escaire, instrument propis de geòmetres i arquitectes. Donat que no es pot traçar la catenària amb aitals instruments, la seva equació quedà a l'expectativa de temps millors. El 1687 Isaac Newton (1642-1727) trobà una primera solució al problema amb una equació de la catenària fruit de les seves investigacions sobre sòlids de mínima resistència. Entretant Joachim Junge (1587-1657) havia demostrat, a la seva "Geometria empírica, seu experimentalis", l'error de Galileo, sense trobar però la fórmula correcta, car aquest científic de Rostock era un gran amant de la controvèrsia, això és demostrar els errors dels demés sense obtenir la veritat. En realitat l'error de Galileo ja havia estat assenyalat per Christiaan Huyghens (1629-1695) el 1646. El 1690 Jacques Bernouilli (1654-1705), natural de Basilea, i com diria "La Codorniz" home de rara doctrina, va proposar en una publicació científica de Leipzig anomenada "Actae Eruditorum" la qüestió no

resolta de l'equació de la catenària, per tal d'animar els savis d'Europa. Gottfried Leibniz (1646-1716) acceptà el repte i trobà de seguida l'equació, però no publicà el resultat fins després de dos anys. A finals de 1690 les "Actae Eruditorum, que competien en sapiència amb les "Philosophical Transactions" d'Oxford, van publicar els resultats de Huyghens i Jean Bernouilli (1667-1748), germà de Jacques, donà a conèixer les propietats de la catenària, corba mecànica o trascendent, construcció de la qual suposa la quadratura de la hipèrbola. Va trobar i l'equació diferencial de la corba i determinà quatre propietats de la mateixa, a saber: la catenària és rectificable, és quadrable, és de totes les corbes d'igual longitud i igual base la que té el centre de gravetat més baix i és tal que, seguint el seu traçat, es poden col·locar infinites dovelles de forma que, en girar 180° sobre la seva horitzontal, es determina un arc que es sosté pel seu propi pes. Amb aquesta darrera proposta la catenària, quina equació en termes de coordenades cartesianes és:

$$y = \frac{e^{-\frac{x}{a}} + e^{\frac{x}{a}}}{2}$$

passa a ser d'una corba purament matemàtica a una altra de caire mecànic, estretament lligat a l'arquitectura, concretament a la construcció d'arcs. Poc després l'escocès David Gregory (1661-1708) determinà que la catenària invertida segueix la línia de pressions d'un arc carregat uniformement, al llarg de la seva longitud. Afegí a més que si un arc conté la catenària està en equilibri i si no, no.

Quan es suposa que una cadena d'anells iguals penja dels seus extrems dibuixa la catenària en la que cada anella estira el seu veí, pel que es tracta d'una estructura estesa, la línia de la qual és, justament, la catenària. Si es gira la cadena 180° sobre la seva horitzontal i en comptes d'anells de ferro es col·loquen esferes de pedra tangents al llarg de tota la corba es té una estructura, no estesa sinò comprimida, amb una línia, no de tensions, sino de pressions, que discorre exactament pels punts de tangència de les esferes. Jean B. Rondelet (1743-1829) va explicar en el seu "L'Art de Bâtir" el 1802, com va realitzar l'experiment amb 15 boles de pedra que es van sostenir per elles mateixes al disposar-les seguint la forma de la catenària. Havent passat la catenària del fistó decoratiu a equació analítica i corba mecànica, és lògic pensar que els arquitectes l'emprarien des d'aquell moment com la més perfecta de las corbes per bastir arcs. En cas de càrrega uniforme l'arc catenàric és el que menys material precisa per restar en equilibri, raó poderosa, que no va resultar suficient per a convèncer els arquitectes. La catenària s'ha donat rares vegades i aquesta raresa es deu a l'hàbit dels arquitectes d'emprar només les corbes que poden traçar-se amb l'escaire i el compàs, que creà l'hàbit dels semicercles, les mitges el·lipses, els carpenells, els escarsers, els lanceol·lats, etc. Es difícil trencar el costum que arrenca de la nit dels temps i per aquesta raó l'excelsa catenària apareix en arquitectura tan sols de Pasqua a Rams. No passa el matei amb els enginyers, que més avesats a l'útil i pràctic, els manquen prejudicis atàvics i construeixen ponts pènsils i línies d'alta tensió sense intentar amagar la bella forma catenàrica dels cables d'acer. Per aixó crida poderosament l'atenció el reiterat ús que feu Antoni Gaudí dels anomenats arcs equilibrats que apareixen ja en les seves obres juve-

nils i estan presents al llarg de tota la seva carrera. Potser Gaudí no deduí la qualitat de la catenària de l'estudi dels tractats de matemàtiques o de física, sino del fet que quan la Naturalesa construeix arcs, ho fa en forma de catenària.

Les línies producte de l'erosió de l'aigua o del vent, les trepadores que pengen d'entre les branques d'un arbre, o l'aigua d'un brollador, dibuixen permanentment catenàries, o quelcom molt semblant a elles, ja que no obedeixen les lleis del compàs i l'escaire sino la llei de la gravetat. Gaudí va actuar sempre per aquest camí lògic, que recorregué amanint-lo amb una inspirada imaginació, amb la que va poder aixecar l'harmoniosa i subjugant successió d'arcs catenàrics en el primer pis del Col·legi Teresià de Sant Gervasi. Segurament Newton, Leibniz i Bernouilli aplaudirien aquest projecte de Gaudí, que va donar el toc artístic a una corba per equació de la qual lluitaren tan bravamment els savis de fi del segle XVII. Gaudí conegué i emprà l'arc catenàric i molt probablement va intuir les seves propietats mecàniques per simple observació de la Naturalesa.

Però també se sap que Joan Martorell l'inicià en l'estàtica gràfica, que és una ciència experimental derivada de l'estudi de les catenàries i les polifunícules d'equilibri.

Existeix a més, però una altra font de la que Gaudí degué beure i obtindre la documentació científica necessària. Des de mitjan segle pasat es divulgà una obra que estava a les biblioteques de molts arquitectes i també a l'Escola Provincial d'Arquitectura, quan Gaudí estudiava: Els "Elements d'Arquitectura". Un exemplar d'aquesta obra es va poder adquirir en una llibreria de vell del carrer de la Palla de Barcelona i un altre aparegué en casa d'un mestre d'obres de Sitges. Es tracta del llibre de John Millington escrit en anglès i publicat a Filadèlfia el 1839, essent traduït al castellà per Mariano Carrillo de Albornoz, Director Sots-Inspector de l'Arma d'Enginyers de Cuba i Marsical de Camp, i publicat per l'Impremta Nacional de Madrid el 1848, dedicat a don Antonio Remón Zarco del Valle y Huet, Tinent general, condecorat a Bailén, Aranjuez i Almonacid, a la Guerra de la Independència. Inspector General del Regiment d'Enginyers, el que demostra que l'obra es considerà de gran utilitat pels enginyers militars, si bé es va divulgar també entre els professionals de l'arquitectura i l'enginyeria civil. Al capítol IV del volum II s'ocupa de la construcció d'arcs i voltes per a ponts. A la pàgina 472 explica l'opinió de Hooke sobre el fistó o catenària que, invertida, donava la forma perfecta per l'arc carregat uniformement. D'ací passa a explicar els arcs equilibrats que poden ser catenàries o polifunícules segons hi hagi càrregues uniformes o sèries de càrregues puntuals. Les expressions contingudes són les que va usar Gaudí i per tant sembla evident que va estudiar els dos volums de Millington.

La utilització d'arcs catenàrics fou una constant en l'arquitectura de Gaudí, des de les seves primeres obres. Després va ampliar el camp amb la utilització de voltes amb formes de la geometria reglada, però ara es tracta d'analitzar només el primer.

A manera de catàleg es podem esmentar les següents obres de Gaudí en les que figuren arcs catenàrics:

Cooperativa Mataronesa. Sala de blanqueig (1883).

Casa Vicens (1883).

Finca Güell (1884).

Palau Güell (1888).

Cellers Güell (1895).

Sagrada Família (1883-1926).

Col·legi Teresià (1888).

Bellesguard (1900).

Casa Batlló (1904).

Xalet de Catllaràs (La Pobla de Lillet) (1905).

Casa Milà (1906).

Colònia Güell (1908).

En aquesta darrera obra va muntar la famosa maqueta estereostàtica que tant va cridar l'atenció del prof. Cardellach, que la va comentar en el seu llibre "Filosofía de las Estructuras" (1910). Però, apart de Gaudí, altres arquitectes del seu entorn van utilitzar els anomenats arcs equilibrats i, entre ells, cal esmentar Cèsar Martinell i Brunet (1888-1973) qui, els anys 20 va bastir amb aitals arcs les grans sales de les cooperatives agrícoles del Camp de Tarragona. Foren les dels pobles de Rocafort de Queralt, Pira, Barberà, Montblanc, Cornudella, Falset, Nulles, Vila-rodona, Gandesa, Aiguamúrcia, Santes Creus, Pinell del Brai, les Cabanyes i Sant Cugat del Vallés, a les comarques catalanes de la Conca de Barberà, el Priorat, Alt Camp, Terra Alta, Alt Penedès i Vallès Occidental.

Bernadí Martorell Puig al convent de religioses cistercenques de Valldonzella (1916-1919), els Escolapis de Sabadell (1924-1931), el sanatori de Torrebonica a San Julià d'Alta i el convent de les Oblates de Santíssim Redentor a Sant Gervasi de Cassoles (Barcelona).

Jeroni Martorell Terrats féu el refugi de muntanya d'Ull de Ter (1908) l'Escola Industrial d'Arts i Oficis de Sabadell (1911) i, a la mateixa població, l'edifici de la Caixa d'Estalvis, Josep Maria Jujol i Gibert va emprar profusament els arcs catenàrics a la pèrgola de la Masia Negra a Sant Joan Despí (1915) i, principalment, a l'església de Vistabella i a l'inacabada de Montferri. Aquest catàleg permet descobrir que un gran nombre d'obres a Catalunya entre 1833 i 1930 es feren amb arcs equilibrats de maó i que pel seu càlcul s'empirà el sistema de cadenes metàl·liques de les que es penjaven pesos proporcionalment equivalents a les forces que havien d'incidir sobre els arcs, la forma des quals era la conjugada de la cadena suspesa. Encara es pot afegir, però, un altre projecte en el que l'ús dels arcs equilibrats hagués tingut una enorme aplicació. Es tracta del presumpte estudi de Gaudí per a un gran hotel a Nova York. No fou fins 1956, en el moment en que reaperegué arreu arreu del món l'interès per Gaudí, quan Joan Matamala Flotats, escultor, fill de Lorenç Matamala Piñol, modelista, ambdós estrets col·laboradors de Gaudí, va donar a conèixer la seva monografia sobre l'Hotel Atracció, que sembla ser dos homes de negocis nord-americans van encarregar Gaudí el 1908. El problema resideix en que ningú, tret de Matamala, en tingués notícia. Cap altre biògraf de Gaudí esmenta l'afer i als Estats Units, fins el moment, no s'ha pogut localitzar la pista dels dos bussinessmen del 1908. El text de la Monografia de Matamala es va publicar íntegrament a "El gran Gaudí" (1989) i alguns dels croquis i dibuixos han estat reproduïts en diversos llibres sobre Gaudí.

Tant l'original de la memòria, com els dibuixos, es troben a la Càtedra Gaudí de Barcelona, on han estat estudiats i classificats. Els dibuixos figuraren en una exposició sobre disseny català celebrada al febrer de 1990 a Nova York.

Segons Matamala hi has uns croquis de Gaudí i una sèrie de dibuixos propis, que interpreten la suposada idea gaudiniana. Els croquis atribuïts a Gaudí són els següents:

Planta (155 x 110 mm.).

Sala Amèrica (130 x 105 mm.).

Secció longitudinal (155 x 110 mm.).

Sala Amèrica, detall (220 x 185 mm.).

Secció longitudinal parcial (115 x 110 mm.).

Una altra secció longitudinal (155 x 110 mm.).

Els dibuixos de Joan Matamala són 13, traçats a llapis París sobre paper Canson. Fins el 1990 es cregué que tots els dibuixos, tant els petits croquis de Gaudí, com els dibuixos de Matamala fossin tots de la mà d'aquest darrer.

Pero durant el Programa de Doctorat de la Càtedra Gaudí de 1989-1990 un arquitecte mexicà, professor de l'Universitat de Toluca, va realitzar un amplí i exhaustiu estudi dels dibuixos i del text escrit per Matamala i ha arribat a interessants conclusions. Prescindint d'exposar detalladament l'estudi històric, gràfic i estructural realitzat per l'arquitecte mexicà Marcos Mejía López, és interessant reproduir el seu resultat final on es pot afirmar, sens cap mena de dubte, que els dibuixos atribuïts a Gaudí són d'altra mà que els de Matamala. Això no pressuposa que seguïn de Gaudí, però permeten al menys comprendre que Matamala comptava amb uns dibuixos anteriors que li van permetre formular la hipòtesi de l'Hotel Atracció de Nova York. Es comprova a més que els croquis atribuïts a Gaudí presenten unes proporcions summament correctes i s'ajusten a les formes catenàriques, tal com féu l'arquitecte Mejía construït una petita maqueta catenàrica. Això permet afirmar que Matamala no fou l'inventor d'aital projecte, sino que valent-se d'uns croquis d'ajustades proporcions, es llancés a establir la forma i decoració de l'hotel. Amb tot això no és pas aventurat creure que els croquis fossin obra de Gaudí, ja que estan arranjats segons la seva personal manera d'entendre les formes estructurals. Això suposa un nou i important estudi a l'entorn de l'obra de Gaudí. Una cosa és ben certa i és que Matamala, escultor i no arquitecte, no va a ser capaç d'inventar-se tot l'afer i que, quan s'abocà a interpretar els croquis que obraven al seu poder, va cometre uns errors de proporció que no existeixen en els croquis. En el supòsit que hagués existit l'encàrrec dels homes de negocis americans, el cert és que el projecte de Gaudí no passà d'una fase inicial i que la forma que li donà Matamala als seus dibuixos té molt de fantasia.

Al temps, però, que a la Càtedra Gaudí Marcos Mejía duia a terme la seva profunda i meritoria investigació sobre l'hotel de Nova York, es produïa una altra notícia interessant al camp de les construccions amb arcs equilibrats.

L'església-santuari de Nostra Senyora de Montserrat a Montferri, iniciada per Josep Maria Jujol en 1926 i interrompuda el 1936, ha tingut un procés d'estudi i represa dels treballs. Part dels arcs de la zona del cambril de la Verge van caure el 1943 a causa d'una forta tempesta. Ara, després de molts esforços per part dels habitants de Montferri i l'interès del sacerdot combonià pare Josep M.^a Jané, es feu un aixecament de plànols de la part existent i s'encarregà l'autor d'aquesta comunicació el projecte de conclusió de l'edifici, basant-se en l'existent i en els diferents croquis de Jujol servats a l'arxiu familiar i mantes vegades publicats.

Després d'un llarg procés, el dia 10 de juny de 1990 s'iniciaren els treballs de reconstrucció de la part caiguda el 1943 i els xindris de fusta dels arcs catenàrics són enllestits. Aquesta és una bona notícia pels que creuen que la construcció amb arcs

equilibrats és una tècnica i una escola amb grans possibilitats que va quedar interrompuda després de l'impuls de Gaudí i els seus seguidors.

A l'estiu de 1991 l'estructura de tot el santuari es ja en peu i part de les voltes construïdes.

Hi ha qui pensa que seguir aquest camí és una mena de "revivalism", però, en canvi altres creuen que aprofundir en el camp de la construcció d'arcs equilibrats pot donar lloc a sistemes de fàbrica més racionals i humans amb els corresponents avantatges per l'arquitectura moderna. Un altre arquitecte que emprà els arcs catenàrics fou Joan Rubió i Bellver als cellers de Raymat, a la Residència Estudiantil de l'Escola Industrial de Barcelona, a l'Asil d'Igualada i a la Balmesiana de Barcelona. El 1912 l'arquitecte Josep Goday Casals va construir el Teatre de la Casa de la Caritat amb arcs catenàrics i formes semblants a les quadres Güell de Les Corts de Sarrià, 1884-1887, obra de Gaudí. Lluís Muncunill Parellada emprà els arcs catemàrics a la Masia Freixa de Terrassa i Ignasi Bruguera Llobet va projectar el 1919 l'Office Building de Nova York, de forma semblant a l'Hotel Atracció de Gaudí. Un dibuix d'aquest edifici es conserva al Centre de Lectura de Reus.

ADDENDA

Le llista de les obres de Cèsar Martinell mostra la gran quantitat d'accions empreses per a les cooperatives i cellers. Martinell en va ser arquitecte i contractista en la major part dels cassos.

Un estudi complet dels edificis és encara per fer i la seva realització permetria comprendre un faceta notable de l'arquitectura moderna a Catalunya.

A la llista d'edificis amb arcs catenàrics hom hi pot afegir l'església de Can Aguilera a Piera (Anoia, 1910) obra de Francesc Berenguer i Mestres, que també emprà arcs catenàrics de totxo al teatre del Centre Moral de Gràcia (1913). El fill de Berenguer, Francesc Berenguer i Bellvehí va fer amb aquest sistema les Escoles de la Colònia Güell (1914) a Santa Coloma de Cervelló.

Altres exemples amb arcs catenàrics es troben a una casa al carrer de Gràcia de Sabadell de Bernardí Martorell i Puig i a les Bodegues Codorniu de Sant Sadurní d'Anoia de Josep Puig i Cadafalch.

OBRES DE CESAR MARTINELL I BRUNET (1888-1973)

Aiguamúrcia (Alt Camp), Tarragona (1920), Sindicat Agrícola.

Albatàrrec (Segrià), Lleida (1920), Societat "L'Agrícola Pràctica".

L'Albi (Les Garrigues), Lleida (1920), Sindicat Agrícola i Caixa Rural.

Alcarràs (Segrià), Lleida (1920), Sindicat Agrícola.

Alió (Alt Camp), Tarragona (1927), Sindicat Agrícola.

Almacelles (Segrià), Lleida (1919), Sindicat Agrícola.

Arbeca (Les Garrigues), Lleida (1919), Sindicat "Arbeca Nova".

Areyns de Mar (El Maresme), Barcelona (1948), Hermandad de Labradores y Ganaderos.

Artesa de Lleida (Segrià), Lleida (1918), Sindicat Agrícola.

+Barberà (Conca de Barberà) Tarragona (1920), Sindicat Agrícola.

Bot (Terra Alta) (1920), Sindicat Agrícola de San Isidre.

+Les Cabanyes (Alt Penedès), Barcelona (1920), Celler.

+Cervera, (Segrià), Lleida (1920-1922), Sindicat Agrícola Comarcal.

Ciutadilla (L'Urgell), Lleida (1921), Sindicat Agrícola.

+Cornudella (Priorat), Tarragona (1920), Sindicat Agrícola i Caixa Rural.

L'Espluga de Francolí (Conca de Barberà), Tarragona, Sindicat Agrícola i Caixa Rural.

+Falset (Priorat), Tarragona (1929), Sindicat Agrícola.

+Gandesa (Terra Alta), Tarragona (1919-1920) Sindicat Cooperatiu Agrícola.

Igualada (Anoia), Barcelona (1922), Cooperativa Agrícola.

Ivars d'Urgell (Pla d'Urgell), Lleida (1920), Sindicat Agrícola.

Llorenç del Penedès (Baix Penedès), Tarragona (1920), Sindicat Agrícola.

Masquefa (Anoia), Barcelona (1929), Celler Cooperatiu J. M. Valls.

Miralcamp (Pla d'Urgell), Lleida (1920), Sindicat Agrícola.

Moja (Alt Penedès), Barcelona (1924), Sindicat Agrícola.

+Montblanc (Conca de Barberà), Tarragona (1919), Sindicat del Vi.

+Nulles (Alt Camp), Tarragona (1918), Sindicat Agrícola.

Palau d'Anglesola (Pla d'Urgell), Lleida (1920), Sindicat Agrícola.

+Pinell del Brai (Terra Alta), Tarragona (1918-1920), Sindicat Agrícola.

Pira (Conca de Barberà), Tarragona (1919), Sindicat Agrícola.

+Puigcerdà (La Cerdanya), Girona (1934), S. A. Lletera Industrial.

Ripollet (Vallès Occidental), Barcelona (1920), Celler Cooperatiu.

+Rocafort de Queralt (Conca de Barberà), Tarragona, (1918-1930-1947), Cooperativa Agrícola.

+Rubí (Vallès Occidental), Barcelona (1920), Celler Cooperatiu.

+San Cugat del Vallès (Vallès Occidental), Barcelona (1922), Sindicat del Vi i Caixa Rural.

+Sant Guim de Freixenet (Segrià), Lleida (1920), Sindicat Agrícola Comarcal.

Santes Creus (Alt Camp), Tarragona (1921), Sindicat Agrícola.

Serral (Conca de Barberà), Tarragona (1920), Celler.

El Soleràs (les Garrigues), Lleida (1920), Sindicat Agrícola.

Tàrrega (L'Urgell), Lleida (1919), Associació Targarina.

Torregrossa (Pla de l'Urgell), Lleida (1920), Sindicat Agrícola.

Ulldecona (Montsià), Tarragona (1922), Sindicat Agrícola.

El Vendrell (Baix Penedès), Tarragona (1934), Sindicat Agrícola.

Verdú (L'Urgell), Lleida (1919), Patronat Catòlic de St. Pere Claver.

Vilallonga del Camp (Tarragonès), Tarragona (1920), Sindicat Agrícola.
+Vilajuiga (Alt Empordà), Girona (1922), Federació de Sindicats Agrícoles de l'Empordà.
+Vila-rodona (Alt Camp), Tarragona (1919), Cooperativa Agrícola.
Indicats amb una creu el edificis amb estructura d'arcs catenàrics.