



Patologia dels



Fructuós Mañà Reixach

Patologia dels

Frutuós Mañà Reixach

índex

Pròleg	7
Introduccions	9
1 Els edificis	
1.1 La classificació dels edificis enfront dels assentaments	15
1.2 Estructures triangulades	15
1.3 L'edifici de pòrtics	17
1.4 Edificis d'estructura porticada amb tancaments rígids	20
1.5 Edificis d'estructures de parets	23
1.6 Els edificis esvelts	29
2 El sòl	
2.1 El concepte d'assentament diferencial	35
2.1.1 Una recerca per a la comprovació de la "prescripció històrica" sobre els assentaments diferencials	39
2.2 El sòl com a causa de les patologies	48
2.2.1 Deformacions diferides	50
Sobre la compressibilitat del sòl	50
Sòls excessivament expansius o retràctils	52
Sobre sòls heterogenis i/o fonaments heterogenis	53
Sobre la durabilitat del sòl	54
Inestabilitat del sòl (vessants)	55
Sobre les càrregues heterogènies en sòls mitjans o tous	56
Sobre els fonaments de materials compressibles	57
Sobre materials no durables	58
Sobre el rebaixament del nivell freàtic	59
Sobre les deformacions excessives de les pantalles	59
La sobrecàrrega del sòl al costat d'elements construïts	60
Per causes del pes dels reblerts	61
Per causa de la proximitat de fonaments nous	61
Sobre la subsidència en zones mineres	61
Sobre la subsidència en sòls deltaics	62
Sobre grans obres públiques construïdes a la proximitat de zones construïdes	62
2.2.2 Col·lapses	62
Sobre la fallida del sòl per punxament	62
Sobre el col·lapse de sòls	63
Sobre la fallida de talussos	64
Sobre els sòls kàrstics i el col·lapse de coves	64

Sobre la inestabilitat d'edificis esvelts	65
Ruptures estructurals	65
3 Plantejament de la intervenció	
3.1 La informació	67
3.2 La intervenció	70
4 El recalçament	
4.1 Sospedraments clàssics	75
4.2 Tècniques noves de recalçament	78
4.3 Els mètodes de sospedrament	84
Fitxes	
La Sagrada Família	92
El poble de Puilatós	94
Els fonaments de les construccions antigues	95
Murs	96
Falsos murs de revestiment	97
Contraforts	98
Pantalles	99
Murs en sèrie	100
Talussos (1)	101
Talussos (2)	102
Talús a La Granada	103
Col·lapse d'un front rocós	104
Castelló de Farfanya	105
Nota final	106

pròleg

Fa una barbaritat d'anys que vaig escriure un llibre amb el mateix títol. En aquell moment, el tema m'interessava, i va ser conseqüència del resultat d'una petita recerca per introduir-m'hi que em va semblar prou sòlid per publicar-lo. Evidentment, el meu nivell de coneixements no estava per sobre de la mitjana dels agents de la construcció, però la il·lusió potser m'ho feia creure. Que agosarat que és el desconeixement!

Avui és una mica a l'inrevés. A aquestes alçades de la meua vida professional, em sembla que hi puc aportar algunes experiències, però amb una il·lusió matisada per l'edat que no té res a veure amb la "trempera" que un podia aportar als 30 anys.

També cal dir que en tot el que m'he dedicat a la vida ho he fet a temps parcial. A la patologia, hi he dedicat molt de temps, però no tot el temps. Per tant, és molt probable que algú amb una dedicació superior i/o amb unes "llums" superiors a les meves hagi pogut arribar més enllà del que aquí s'exposa. A aquesta gent que en sap més, els demano disculpes per si dic quelcom no canònic, però aprofito l'avinentsa per fer una reflexió sobre la difusió actual dels coneixements.

Es inversemblant que aquesta època nostra, l'època de la informació, sigui, de totes les èpoques, aquella en la qual les experiències sobre construcció es difonguin menys i, si es difonen, no se'ls fa gaire cas. Sembla impossible que el sector sigui capaç de suportar "sense parpel·lejar" més de tres decennis amb les mateixes patologies. La construcció pateix un aïllament excessiu dels seus individus, d'un onanisme que mai no s'havia donat. Fa molts anys que no es convoca un fòrum seriós on es debatin temes de l'edificació que vagin més enllà del que és exclusivament econòmic, i així ens va.

O

introduccions

0.1 Primera

Des de la distància, ens preguntem: Què se n'ha fet, d'aquells constructors que vivien per adquirir experiència i per a traspasar-la en condicions de ser entesa i aplicada en qualsevol de les lògies que visitaven? On va a parar l'experiència de cadascun dels qui fem construcció? S'acaba quan s'acaba un mateix? Quina aportació fem cadascún de nosaltres al coneixement comú? On queden els principis vitruvians que podem resumir en les seves pròpies paraules: *“No hauràs de separar-te inconscientment d'allò que s'ha fet abans que tu; és una propietat pública, una adquisició heretada, de la qual has de ser conscient del seu valor. Hauràs d'afegir-li tot allò de què siguis capaç: espavila la teva intel·ligència ja que has de seguir les exigències d'avui”*

Estem segurs que són paraules caduques? Tant lluït és el nostre present per dir que som millors que els antics? Realment creiem que l'allau de normes que ens aclaparen pot arribar a substituir la forma ancestral d'adquirir experiències?

A poc a poc, mitjançant un mètode evolucionista, la construcció ha anat avançant a base de formular requisits i intentar resoldre'ls. Acceptant troballes i rebutjant els errors, i fent una ullada al passat, ja que allí es trobaven les solucions que han perdurat.

És cert que el món ha avançat molt més de pressa quan ha estat capaç de formular unes teories racionals amb poca o cap base empírica (que, per cert, ningú no s'acaba de creure fins que no són ratificades per l'observació), però no és menys cert que les teories, unes vegades per sintètiques (en no considerar tot el fenomen sinó reduir-lo a un esquelet que en permeti deduir una expressió matemàtica elegant), i altres per equivocades, ens han portat a un atzucac difícil de resoldre, ja que, si una norma (teoria consensuada) té algun dèficit, seran milers els tècnics que, privats d'altres “inputs” (informació sobre altres experiències) cometran sistemàticament el mateix error, potser durant dècades, tal com ja ha passat.

La forma de treballar i, sobretot, d'evolucionar del cervell humà és clarament empírica. La capacitat de realitzar prediccions (pensar, avançar-se al que pot passar) depèn directament de les experiències prèvies que hagi tingut l'individu.

Més o menys funciona així: la part més antiga del cervell (la més primària) capta una experiència colpidora; aquesta experiència és filtrada (subjectivada) a través del seu pas per les diferents capes del còrtex, fins a quedar “emmagatzemada” prop de la superfície.

Davant d'una situació nova, però més o menys similar a l'anterior, l'individu fa una projecció d'aquella experiència per a predir el que pot passar.

patologia dels fonaments

Com més experiències hagi tingut l'individu, més capacitat (en rapidesa i en qualitat) tindrà d'encertar-ne la resposta. Clarament, la imitació, típica dels primats, és una primera fase d'aquesta manera de fer i d'evolucionar.

La transmissió de les experiències no és sinó una projecció cap a la resta de la societat (en aquest cas, la societat constructora) de la forma de funcionar del cervell, de manera que altres individus puguin decidir sense que sigui del tot necessari que tots ells hagin de passar per les mateixes experiències.

L'aplicació del mètode racional per arribar a decisions no és altra cosa que una forma d'estructurar el treball que es realitza a partir del pòsit aconseguit empíricament. La lògica és una forma d'estructurar la darrera part del procés amb la intenció que aquest sigui repetible entre els diversos individus.

Teòricament, dos individus amb la mateixa informació, aplicant aquest procés, arribarien a les mateixes conclusions. Però hi ha altres procediments que, per manca de repetibilitat, no són reconeguts per la mentalitat cartesiana que s'apoderà de la nostra societat des del segle XVII, tot i que hem de reconèixer que han format part fonamental de les decisions històriques: la intuïció i tots els mètodes de caire esotèric, dels quals no tenim proves que siguin millors o pitjors, sinó que pràcticament han deixat de formar part de la nostra cultura.

L'esforç típic de pares i educadors és formar un coixí d'experiències en el nou individu (forma de transmissió de la cultura que, encara que se suposi plena de fracassos, és la base de la nostra evolució com a espècie), perquè els processos que permeten "preveure" tinguin quelcom d'on partir. En conjunt, és com si s'anés formant un metacervell que, amb la mateixa base i el mateix "posprocés", fos capaç de reproduir una mateixa resposta davant d'una mateixa situació.

La ultraracionalitat de l'àlgebra booleana que ha permès confegir els ordinadors actuals està entrant en declivi: és massa lenta. S'està treballant amb models estructurals que s'apropin més a la forma (potser més desordenada, en termes cartesianes, però infinitament més ràpida) de treballar del cervell.

Si aquesta ha estat la forma d'evolucionar del cervell individual i de tot el gènere humà, es fa difícil pensar que aquells mètodes que deixin de banda l'experiència pròpia o la transmesa puguin ser satisfactoris, ja que es demostra que, quan és tallen els canals d'informació i les experiències se substitueixen per una teoria parcial (encara no es poden contemplar els fenòmens de forma global, malgrat que fa anys que Hawkins reclama una formulació universal, sense sortir-se'n..), es poden produir errors molt difícils d'eradicar.

No és una especulació culturalista. La patologia ens demostra, dia a dia, la capacitat que té el cos normatiu (teòric) d'induir a errors sistemàtics, capaços de mantenir-se en el temps, durant anys. És una situació que seria impensable si la informació de les experiències fos prou fluida i pogués completar el coneixement teòric.

Per il·lustrar la idea, podríem comentar diversos errors importants de construcció. Aquí n'esmentarem dos:

- Els comesos en època medieval per interpretacions errònies del Vitruvi. La quantitat de transcripcions i de traduccions realitzades per gent que no entenia gens de construcció va causar un daltabaix en la construcció monacal, que Quicherat detecta quan enregistra en els arxius de Cluny centenars de caigudes.
- Els actuals. És el cas de les façanes ceràmiques expulsades sistemàticament del seu lloc per l'estructura de formigó: És que ningú no ha estat capaç de transmetre l'experiència de laboratori, segons la qual *"mentre la ceràmica es tendeix a dilatar, el formigó es contrau"*?. En aquestes circumstàncies, el conflicte a temps diferit està servit. És que aquesta munió d'arquitectes no té capacitat d'imaginar una altra façana que aquella que es basa en una fulla ceràmica estampada entre dos forjats reticulars? Evidentment que sí! En tot cas, està fallant quelcom tant fonamental com és la informació.

Resumint, els processos per adoptar decisions poden ser diversos, però tots ells parteixen d'un substrat empíric acumulat en el nostre cervell, deduït de les pròpies experiències i de les que altres agents ens puguin transmetre.

La patologia ens aporta aquesta experiència (formulada o no) que ens ajuda a prendre decisions i a corregir les teories, si es demostra que no són aplicables.

La informació sobre els comportaments reals dels materials i els sistemes ha de ser una eina fonamental per desenvolupar el nostre coneixement constructiu.

0.2 Segona

No tenim cap mena de dubte que el desconeixement sobre els sòls i sobre els sistemes de recolzar-s'hi ha estat la gran causa de les patologies conegudes. Alberti ja ho esmenta: *"... ja que si falla en qualsevol altra cosa, els danys són més lleugers i els arranjaments més fàcils, i es pateix menys que en el cas dels fonaments, on cometre errors no té cap excusa"*. Pot ser que, com a causa d'anomalies, només sigui comparable amb la manca de materials de qualitat que van haver de patir els romànics quan van voler imitar, amb pocs mitjans, les construccions romanes.

És possible que pel fet d'estar enterrades i, per tant, no ser directament observables, les solucions de fonamentació quedessin al marge del sistema universal de captació i de transmissió de la informació, que es basava exclusivament en la geometria i les proporcions. Els constructors de l'edat mitjana van patir molt per aquesta causa, atès que el desconeixement dels aspectes del subsòl coincidia amb nombroses referències, sovint de caire esotèric, moltes d'elles clarament errònies.

Hi ha punts de la Terra que semblen propensos al culte. És molt possible que l'embrió d'una catedral estigui en una construcció prehistòrica (un dolmen) sobre la qual es van anar construint, sense solució de continuïtat, llocs de culte l'un sobre l'altre fins arribar a la gran catedral gò-

tica. Doncs, per aquest motiu, són molts els edificis religiosos (les construccions més grans de la seva època) que estan assentats parcialment sobre construccions anteriors. Part dels fonaments han anat a raure sobre sòls naturals, mentre que part estan sobre antics fonaments i/o muralles. El resultat és que existeix una patologia endèmica dels grans edificis, basada en els assentaments diferencials, que causa la manca d'homogeneïtat del pla de recolzament.

Els edificis afectats per aquesta patologia són molts, però els seus efectes depenen de la compressibilitat del sòl natural ja que si, a pesar de l'alt nivell de càrregues trameses, el sòl natural es comporta com a rígid, no s'enregistraran deformacions diferencials. Entre els edificis més paradigmàtics, hem escollit el Vaticà i el Monestir de Sant Cugat del Vallès (tot i que creiem que, d'una forma o altra, molts dels edificis d'una certa entitat estan afectats per aquest problema).

La gran construcció de la Basílica Vaticana (l'antiga, no la barroca actual) es recolzava parcialment sobre les grades de l'estadi de Neró - Calígula. En temps d'Alberti, els alçats presentaven unes deformacions tan grans que es va decidir reforçar-lo. Tot i que es va desenvolupar un projecte de consolidació (poc diferent del que faríem ara), aquest no es va realitzar mai, ja que el papa de torn encarregà a Bramante el projecte del nou edifici. Doncs bé, aquest nou edifici ha patit els mateixos problemes que l'anterior i bona part de les patologies que ha presentat sempre la gran cúpula (mai no ha estat del tot estable) es poden atribuir a assentaments endèmics per causa de l'heterogeneïtat esmentada.

A la figura 0.1 es pot observar una secció de la Basílica Vaticana sobre les grades de l'antic estadi on van matar gran quantitat de seguidors de la nova religió cristiana. El Vaticà es va construir sobre el cementiri annex a l'estadi, i se suposa que l'altar està situat per sobre de la tomba de sant Pere.

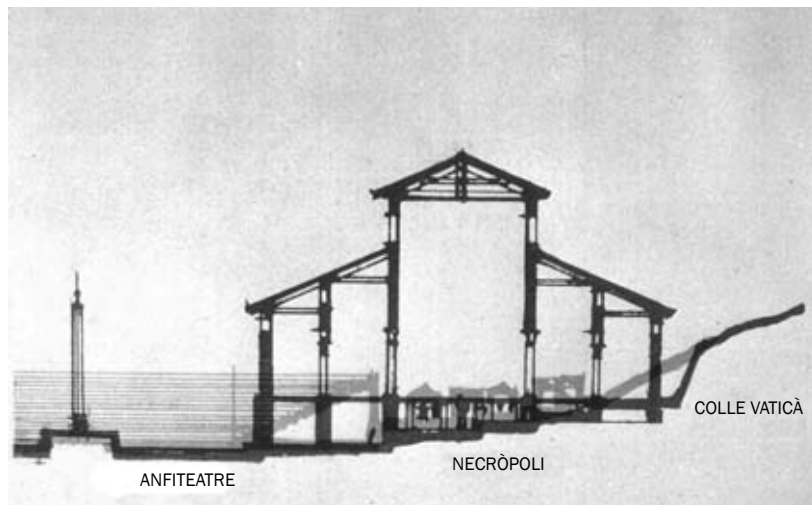
A la figura 0.2 es pot observar la planta del Monestir de Sant Cugat del Vallès, sobreposada al perímetre (deduït per tècniques arqueològiques) del castell romà preexistent. Moltes de les patologies inexplicables si no és coneixen aquests antecedents es van fer evidents quan els arqueòlegs van dibuixar el plànol adjunt. Totes les grans lesions (algunes d'elles afectaven policromies del segle XIV) en van poder justificar a partir d'assentaments diferencials entre parts sobrefonamentades i parts que es recolzaven sobre les argiles típiques (expansives, per cert) del Vallès.

Hem volgut encetar el tema amb aquests dos exemples per il·lustrar el que considerem que són unes qüestions de principi:

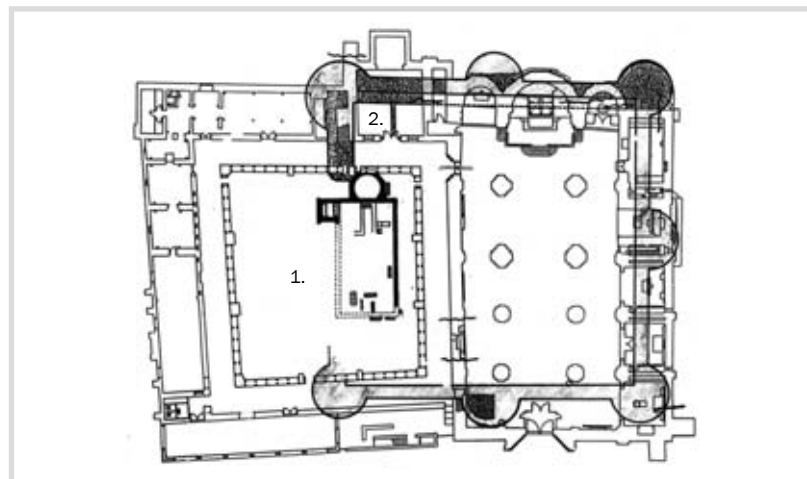
1. És clar que en la construcció antiga hi ha patologies dels fonaments que han tendit a transformar-se en endèmiques. El problema greu és que, amb tota la tecnologia actual, aquesta tendència només s'ha suavitzat. Molt sovint, les patologies tenen com a origen el fet que "el sòl, com a material de construcció, continua essent un desconegut per molts tècnics".
2. La patologia dels fonaments, al llarg de la història, ha afectat tot tipus d'edificis (és clar que on ha causat més enrenou és en els més

representatius) i ha produït, produeix i produirà grans costos de manteniment i de reparació (sospedraments).

3. Moltes causes eren inimaginables en el seu moment i van donar lloc a tota una mística dels fonaments (esoterisme pur). L'observació, l'enregistrament de casos i les experiències trameses (algunes transformades en la teoria que en diem mecànica dels sòls) han subministrat algunes solucions perquè aquests problemes no es tornessin a presentar. Pot ser que l'experiència tramesa més antiga sigui la de fonamentar homogèniament (tant en el substrat escollit com en la solució estructural): és del segle XIX.



[0.1]



[0.2]

1. Pati del claustre
2. Sala Capitular

Muralla de la fortalesa romana

- Perímetre localitzat
- Perímetre hipotètic

Basílica segle v-vii

- Perímetre localitzat
- Perímetre hipotètic

1

67315500

els edificis

1.1 La classificació del edificis enfront dels assentaments

La causa més freqüent de les patologies associades al comportament dels sòls és la presència d'assentaments diferencials excessius. Aquests causen sol·licitacions de flexió en els edificis que s'hi recolzen, que poden arribar a valors de ruptura.

És quasi obvi dir que el valor de determinats esforços i les seves conseqüències són força diferents segons el valor de determinats paràmetres característics dels propis edificis. Alguns són simplement formals, com la rigidesa; altres més específics, com la resistència a la tracció dels materials i dels components.

Si la resposta de l'edifici pot ser diversa i singular, sembla lògic que, de sortida, establim un agrupament, una classificació o una ordenació de tipus d'edificis (o d'estructures) que presentin una resposta similar davant del mateix tipus de sol·licitació.

En fem cinc grups, que tractarem en aquesta primera part:

1. Edificis travats mitjançant una estructura lineal triangulada.
2. Edificis amb estructura de pòrtics de nus rígid.
3. Edificis amb estructures de pòrtics amb tancaments rígids.
4. Edificis d'estructures de parets de fàbrica, no resistents a la tracció.
5. Edificis esvelts (que en edificació anomenem torres).

1.2 Estructures triangulades

Els edificis que aconsegueixen la resistència i la rigidesa enfront de les sol·licitacions horitzontals (sisme i/o vent) mitjançant la triangulació d'alguns dels seus requadres (forma típica de resoldre aquest requisit quan l'estructura es basa en perfils conformats muntats en obra, atès que aconseguir-ho mitjançant la rigidesa dels nusos acostuma a ser una missió complexa i, per tant, costosa) mostren una resposta singular enfront de les deformacions imposades en el seu fonament: la seva capacitat d'assolir deformacions en el rang no elàstic és quasi nul·la, és a dir, tota la deformació es transforma en esforços sobre barres i nusos, fins a la seva ruptura, atenent rigorosament la proporcionalitat entre deformacions i tensions.

Els càlculs que es puguin realitzar en l'àmbit elàstic són fortament representatius del que passa en la realitat ja que, en aquest cas, els esforços i les deformacions depenen quasi linealment l'un de l'altre, sense que el temps que dura l'aplicació del desplaçament hi tingui una importància significativa.

La no-intervenció del temps en l'equació constitutiva del material és més una característica de l'acer que no del tipus estructural escollit. La fusta, per exemple, presenta una equació constitutiva molt complexa ja que almenys són quatre les variables que s'han de considerar: la tensió,

patologia dels fonaments

la deformació, el temps d'aplicació de les càrregues i la humitat; en l'acer, la relació tensió/deformació a la pràctica es pot considerar biunívoca.

Sobre la base d'aquestes consideracions, i tenint en compte les solucions estructurals tan diverses que se'ls ha donat, podríem especular sobre quina de les dues torres de la Vila Olímpica (que són volumètricament idèntiques) és la més adequada pel tipus de sòl sobre el qual es fonamenten. Com sigui que el sòl allí és molt compressible fins a gran fondària, hem de suposar que els pilons de fonamentació no van arribar a un estrat fons d'una elevada rigidesa; per tant, en fase de projecte, hauria calgut comptar que es podria presentar algun tipus d'assentament diferencial, encara que fos petit. Doncs bé, aquest assentament hauria estat absorbit més fàcilment, sense generar grans tensions, si l'estructura hagués estat de formigó armat de nus rígid (certament relaxable, com veurem més endavant), que no amb l'estructura triangulada que es va emprar en l'edifici de l'Hotel Arts (a la torre de l'hotel se li nota que, per la seva composició, es van emprar criteris que normalment s'adopten per a grans gratacels).

La manca de ductilitat d'aquesta estructura es palesa en la normativa sísmica quan li atribueix un valor de β superior al del nus rígid, la qual cosa li determina un coeficient sísmic també superior.

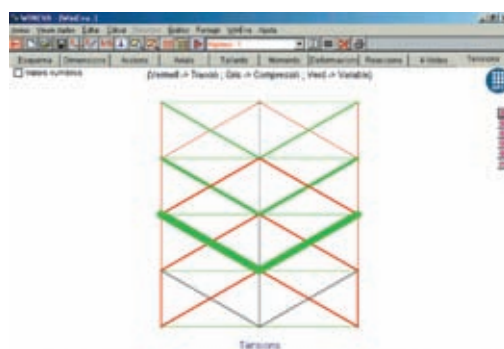
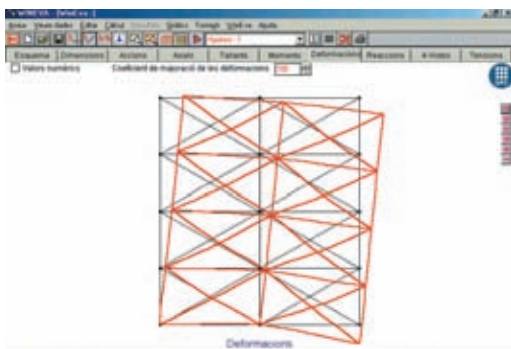
A l'exemple que es presenta en les figures 1.1a i 1.ab es fa evident que un assentament del tot admissible amb altres tipus d'estructura en aquesta no ho és. (Es tracta d'un assentament diferencial d'1 cm. entre dos pilars que estan separats 500 cm, la qual cosa proporciona una distorsió angular de valor 1/500, que habitualment és acceptada.)

Les jàsseres del pòrtic són IPN 240 i els pilars, HEB 180. Les diagonals són angulars de 100 x 12.

El primer gràfic correspon a la deformada que apareix com a conseqüència de l'assentament imposat; el segon, a les tensions que es creen. Cal tenir en compte que aquestes tensions són funció del gruix que el programa atribueix a la ratlla que les representa. La ratlla més gruixuda, en aquest cas, correspon a una tensió de tracció de 10.446 k/cm², que no hi ha material capaç de suportar-la.

- | 1.1a | En general, s'ha de ser pessimista respecte de la capacitat d'aquestes estructures per suportar assentaments diferencials, i això s'ha de tenir en compte en el disseny de la seva arquitectura (forma) i de la seva estructura i dels fonaments: L'arquitectura ha de ser capaç de proporcionar unes
- | 1.1b |

| 1.1 |
Torres de la Vila Olímpica



càrregues tant homogènies com sigui possible i la estructura ha d'intentar emprar uns fonaments amb assentaments virtualment idèntics o quasi nuls. Si es pot escollir el sòl d'aquests edificis, cal recolzar-los en aquell que sigui de molt baixa compressibilitat i el més homogeni possible.

1.3 L'edifici de pòrtics sense tancaments o amb tancaments gens rígids

Es tracta aquí de la resposta enfront dels assentaments diferencials dels edificis resoltos de forma que la travada enfront dels esforços horitzontals s'aconsegueix a partir de nusos rígids entre pilars i jàsseres, sense tancaments (envans i façanes) o amb tancaments gens rígids, de forma que no s'oposin a la lliure deformació dels requadres estructurals.

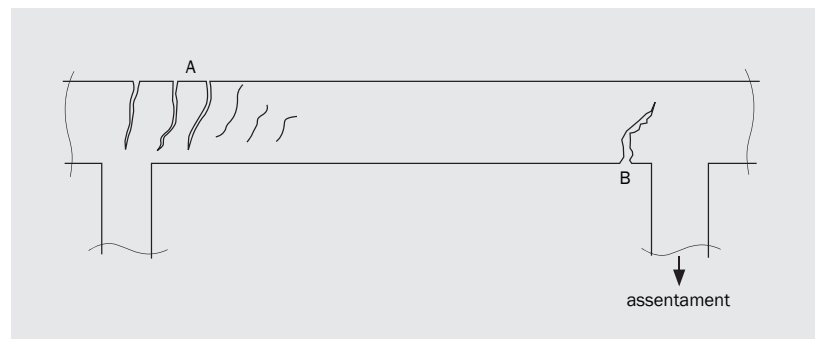
A la pràctica, es tractaria d'obres d'estructura de formigó armat, ja que amb aquest material la rigidesa de nus s'assoleix senzillament abocant el formigó i amb la continuïtat de les armadures; per tant, de forma fàcil i poc costosa.

En aquest cas, l'assentament diferencial d'algun pilar es transforma fonamentalment amb increments dels moments i dels tallants en els nusos.

Una singularitat important de les estructures de formigó és la polarització que presenten les seccions a flexió enfront del signe dels moments flectors que les sol·liciten (l'armadura acostuma a adoptar una posició o una altra en funció d'aquest signe). Si, per causa de l'assentament, el signe del moment en una secció s'arribés a invertir, les traccions es presentarien en un lloc on aquesta circumstància no estava prevista en la fase de projecte i es produiria una gran lesió. En canvi, si el signe del moment no canvia, tot i que el seu valor sigui superior al de dimensionament, l'acer es relaxarà (si és prou dúctil) i es presentarà una fissuració més o menys important, però la secció no es col·lapsarà.

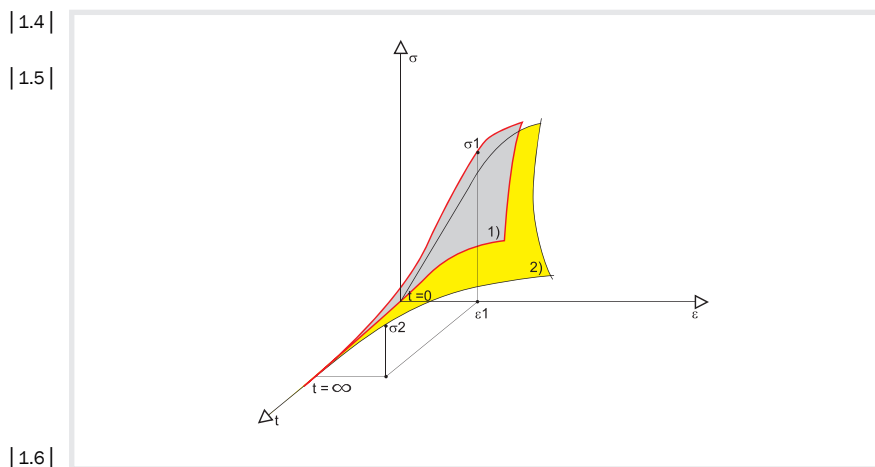
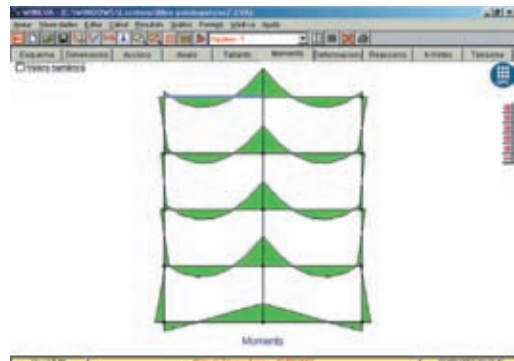
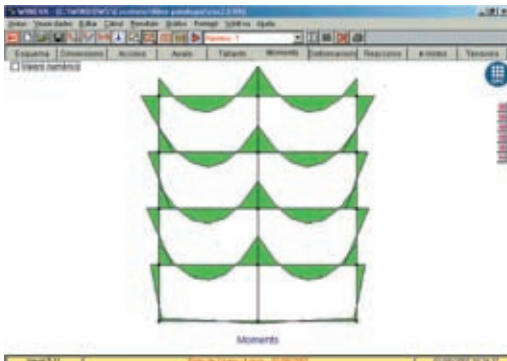
La patologia d'una biga afectada per un descens diferencial entre els seus extrems adoptaria una fissuració semblant a la del gràfic 1.3.

En els països on la sismicitat és molt alta (com ara Mèxic), per afrontar les possibles inversions en el signe dels moments per causa dels impactes sísmics i aconseguir que les seccions tinguin un comportament prou dúctil en qualsevol circumstància, les armadures se situen simètricament. En aquest cas, no es presentaria l'esquerda única i ampla (B).



| 1.3 |
A. Zona d'issues
B. Zona d'esquerdes importants

patologia dels fonaments



Sobre un conjunt de barres més complex, podem fer un estudi comparatiu entre pòrtics sol·licitats per un estat de càrregues gravitatòria i per la mateixa càrrega i un assentament d'1 cm en el pilar extrem.

Dades del pòrtic: jàsseres de 0,6 x 0,26; pilars de 0,3 x 0,3. Càrrega gravitatòria de 4 t / m. Assentament d'1 cm sobre el pilar extrem. Els pilars estan separats 5 m.

a) Quan la càrrega només és gravitatòria, el diagrama de moments és força conegut. (1.4)

Com a referència, anotem que el moment màxim de la llinda superior sobre el pilar central val 9,34 m.t.

b) Quan hi afegim l'assentament d'1 cm al nus inferior del pilar dret, el diagrama és com el de la figura. (1.5)

Nota: La riostra que lligaria els fonaments s'ha incorporat com una barra en el model. Els nusos inferiors s'han considerat articulats, ja que la pràctica demostra que un gir mínim a nivell de fonaments (gir possible quan la distribució de pressions no és homogènia) és suficient per anul·lar el possible encastament que s'hi podria produir.

Tot i que aquest assentament d'1 cm seria plenament acceptable en la fase de projecte (ja que s'acompleix amb la distorsió admissible de l'1/500), els increments d'esforços són considerables: el moment de la llinda superior sobre el pilar central ha pasat a valer 13,63 m.t. Ha augmentat, doncs, un 46 % sobre el valor anterior, suficient per produir una forta fissuració sobre els nusos centrals.

Un altre aspecte, potser encara més singular, és que els moments dels extrems exteriors de les llindes quasi passen a valer 0, i ja hem parlat de la importància dels canvis de signe dels moments respecte de la possibilitat que allí s'hi presenti una patologia important.

Observem que entre els valors calculats mitjançant un procediment elàstic i els valors determinats per via empírica, es produeix una discordança clara. Ja Leonhard va proposar que els valors de la hipòtesi elàstica fossin objecte d'ajustos per tal de poder-ne obtenir el paral·lelisme desitjat.

Ja que els assentaments s'introdueixen de forma lenta i, a més, s'acostumen a desenvolupar en les primeres èpoques de l'edifici, no es pot tractar el tema sense atendre el comportament viscos/plàstic del material (formigó).

Si tenim en compte el temps com a variable que intervé en l'equació constitutiva del formigó, aquesta funció l'hem de desenvolupar sobre un espai de tres dimensions, com la de la figura (1.6).

Al gràfic es mostren dues funcions tensió/deformació/temps (temps que dura l'aplicació de la càrrega), que representen la resposta plàstica del material de formigó en dues èpoques. La superfície en gris (1) descriu la situació en què la càrrega s'aplica sobre un formigó vell (1 any, per exemple) i la menys grisa (2), quan el formigó és novell (28 dies, per exemple). Com es veu, són superfícies contínues que tenen com a límits les corbes de la resposta a càrregues instantànies ($t=0$), les corbes de deformació màxima (límit de fluència, $t=\infty$) i els límits de ruptura a càrrega constant.

Es demostra (encara que només sigui amb caràcter qualitatiu) que, per a una deformació imposada ε_1 (per exemple, un assentament), el valor de la tensió σ que es genera en el material és molt diferent si la deformació s'aplica lentament, com seria el cas de les argiles sobre un formigó jove (σ_2), que si ho fa ràpidament (assentament en sorres) sobre un formigó rigiditzat pel pas del temps (σ_1).

En qualsevol cas, σ_1 sempre serà molt més gran que σ_2 ; per tant, per tenir prou ajust, s'haurien de considerar les dues variables esmentades: el temps que dura l'assentament i l'edat d'aplicació de la càrrega.

Queda clara, doncs, la distinta resposta de l'edifici (fet amb el material de formigó com a majoritari) segons si es tracta d'un assentament en les primeres èpoques (és a dir, per un dèficit inicial de fonaments quan els formigons encara es mantenen viscosos) o es tracta de deformacions imposades sobre un edifici vell, amb les pastes ja fortament rigiditzades).

També considerem que queden clars els errors importants que podem cometre si apliquem procediments de càlcul basats només en la resposta elàstica ($t=0$) del material ja que els resultats estaran molt per sobre dels valors reals.

Malauradament, la resposta plàstica del material depèn de molts factors difícils de controlar, com ara la humitat de l'ambient durant l'entrada en càrrega, per la qual cosa no resulta fàcil afrontar aquests càlculs amb prou precisió.

De Leonhard s'ha extret la taula següent que inclou uns factors aproximats pels quals hauríem de multiplicar els càlculs realitzats en l'àmbit elàstic per tal d'acostar-nos als valors reals. (Hem completat aquesta taula per als casos d'assentaments aplicats sobre els edificis antics).