

Reforços en les estructures de formigó. Alguns casos concrets.

J. Ramon Rosso

Generalitats

Tractant, en qüestions de construcció, aquells temes que impliquen alteracions més o menys greus de l'estat que podríem anomenar normal d'una estructura, amb un gran encert, hom demanà en préstec a la medicina la paraula «patologia» i és just que, com que el terme ha estat acceptat universalment, també fem servir amb propietat uns altres mots procedents de la mateixa ciència, els quals ens ajudaran en el no sempre fàcil art de fer-nos entendre tècnicament.

És convenient doncs de recordar unes quantes definicions tretes del diccionari:

Patologia: Part de la medicina que tracta de les malalties.

Patogènia: Part de la patologia que tracta de l'origen i el desenvolupament de les malalties.

Nosologia: Part de la medicina que tracta dels símptomes.

Diagnosi: Coneixement de les malalties per l'examen del seus símptomes.

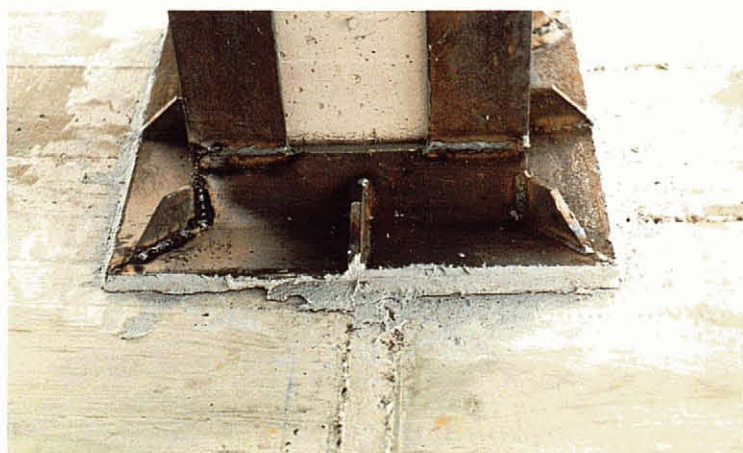
Prognosi: Coneixement anticipat d'algun succés.

Síndrome: Conjunt de símptomes característics d'una malaltia.

Epifenomen: Fenomen que acompanya els símptomes d'una malaltia sense ser-ne característics.

En general, direm que una estructura, en el seu conjunt o en un dels seus elements, sofreix o és susceptible de patir una alteració patològica quan certs símptomes —no necessàriament visibles— ens indiquen que l'estructura pot tenir un coeficient de seguretat inferior a l'adequat per a qualsevol dels estats límits especificats per les nostres Instruccions.

Hi ha estats patològics amb una simptomatologia prou clara perquè ens en puguem diagnosticar imme-



diatament la malaltia i arbitrar-ne amb rapidesa la solució, si fa al cas. Fissures de retracció i foguejament, assentaments dels fonaments, flexibilitat excessiva d'un element, fissures de flexió i a la tensió tallant i un llarg etcètera, ens podrien fer d'exemples d'aquests tipus de malalties.

A vegades una simptomatologia mal interpretada ens pot desviar de la veritable patogènia del cas.

La utilització d'un ciment amb un excés, bé de magnesi en forma de periclasi o bé de guix a la paret de la planta baixa d'una casa, produeix una família d'esquerdes que atribuïm a l'assentament diferencial dels fonaments i ens disposem a efectuar-li un recalçament.

Pot passar, en canvi, que, sense que hi hagi símptomes aparents, sapiguem que hi ha algun defecte amagat a l'estructura o ho sospitem. Seria el cas d'un plànol en què hem detectat un error, consistent en l'omissió d'una armadura. El corresponent element estructural ja ha estat construït segons el projecte i no se li veu cap signe d'anormalitat.

De vegades, un canvi en la normativa oficial ens faria sospitosos de malaltia innombrables construccions que, per una altra banda, no presenten cap símptoma patològic.

I arribats al cas d'un problema de patologia en una construcció antiga, quin criteri de normalitat hem d'adoptar, el corresponent a les normes vigents durant l'època de construcció o bé l'actual? En això, com en tantes altres coses de la nostra tècnica, tot ha de ser sospesat pel seny de l'especialista, seny que s'ha de basar en una experiència prou àmplia i no exempta del component de moltes hores d'estudi i recerca.

Examinem ara quines són les diferències reals que hi ha entre la problemàtica del projecte d'una estructura nova (PEN) i la del projecte de reparació d'una estructura (PRE):

Projecte d'estructura nova (PEN)

1) El PEN és l'instrument que fa possible traslladar a la realitat un conjunt d'idees ordenades i interrelacionades segons un objectiu final. S'hi verifica el flux següent: IDEES → PEN → CONSTRUCCIÓ.

2) En el PEN, malgrat els seus típics condicionants funcionals, estètics, constructius, pròpiament estructurals, econòmics i fins i tot d'ordre administratiu, sol haver-hi una folgada llibertat d'acció, de manera que les solucions adoptades no les invalida la realitat exterior que ens constreny i ens assetja.

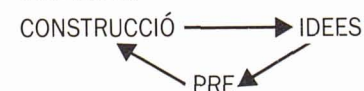
3) El PEN pot no exigir —en realitat depèn del tipus d'estructura— una gran especialització per part del projectista. De fet, amb prou capacitat per a adaptar-nos a les instruccions vigents i amb l'ajut d'un microcomputador, podem abordar el projecte de qualsevol estructura normal. I haig de dir-ne «normal» amb certes reserves, ja que avui hi ha la clara tendència, volent aprofitar uns mètodes de càlcul simples, d'extrapolar la normalitat a estructures que, a l'efecte de càlculs simplificats, ja ho han deixat de ser. La combinació d'aquesta extrapolació volent afinar massa la quantitat indispensable d'acer podria dur moltes estructures de nova construcció a situacions patològiques.

4) No hi ha cap dificultat a adaptar el PEN a les normes vigents.

5) El PEN es presta, sempre que tractem amb estructures no especials, a estandarditzacions amb càlculs, plans, mesuraments i pressupostos mecanitzats.

Projecte de reparació d'una estructura (PRE)

1) El PRE significa la modificació d'una realitat que, en principi, no ens agrada. És un viatge d'anada i de tornada des de la construcció a les idees:



2) El PRE sol estar molt condicionat per l'entorn (construccions veïnes, habitatges ja ocupats, procés constructiu dissimulant la finalitat de la reparació de cara a mantenir el prestigi de la construcció, del contractista o del promotor, etc.).

3) El PRE exigeix un coneixement profund del comportament de les estructures, de la seva interacció amb el terreny, dels materials de construcció, tant estructurals com de qualsevol altre tipus, de tècniques especials de reforç, de geotècnica, de mètodes d'auscultació i de mesura, etc.

4) Hi ha ocasions en què cal prescindir del compliment d'algun article de les Instruccions i Normes, i això vol dir, com a conseqüència, estar disposats, quan es pugui fer, a realitzar un estudi que en justifiqui objectivament l'incompliment.

5) El PRE és, en general, poc apte a l'estandardització. Cada cas exigeix normalment un tractament concret i específic, per la qual cosa, lògicament, en sol resultar un projecte car si el comparem amb el pressupost de la reparació.

Passarem ara revista a uns quants exemples pràctics, senzills i escollits perquè, en algun aspecte, o bé il·luminen alguns punts a la meua manera de veure poc clars en l'actualitat, o bé presenten una panoràmica del camí que cal seguir des que decidim de reforçar una estructura fins que arribem a fer el projecte del reforç corresponent i a la seva execució posterior.

Reforços de pilars

Com tothom ja sap, els reforços de pilars de formigó es fan tradicionalment mitjançant la utilització d'una camisa exterior metàl·lica o de formigó armat capaç d'absorbir tota sola la totalitat de la càrrega corresponent al pilar. Si ens limitem a reforçar només el pilar defectuós, el pas d'una compressió a tota la secció dels pilars superior i inferior a la camisa de reforç es realitzarà mitjançant unes bieles inclinades amb uns components horitzontals que provocarien traccions en la llinda (llosa o bigues) que normalment no

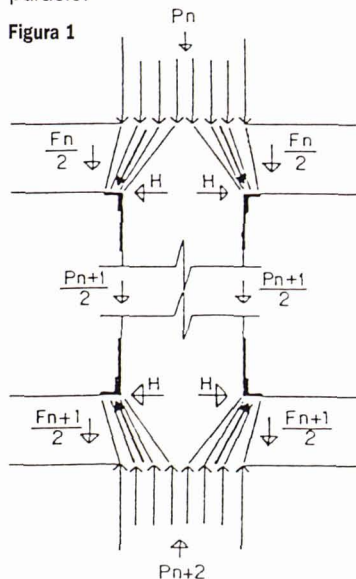
estarà preparada per rebre-les. La forma aconsellada per a resoldre el problema és la de reforçar, a totes les plantes, els pilars corresponents a la columna del pilar afectat. Aquesta pràctica, que òbviament té una repercussió econòmica, pot ser fàcilment i raonablement evitada segons que es pot deduir del que desenvolupem seguidament.

Suposem que hi ha la necessitat de reforçar un pilar determinat situat entre dos forjats consecutius d'un edifici. El reforçament més fàcil consisteix a col·locar-li una camisa embolcallant-lo, que sigui capaç d'absorbir la càrrega necessària perquè la seguretat de l'estructura quedi adequadament coberta.

La camisa pot ser de formigó o metàl·lica. Tant en un cas com en l'altre és evident que el pilar primitiu col·laborarà en la resistència del conjunt i, encara que no sigui teòricament difícil delimitar-ne la magnitud, és pràctica comuna de dimensionar-hi el reforç per a la càrrega total del pilar. Aquest excés de seguretat és poc onerosos perquè, en aquest tipus de reparació, la partida de material resistent no sol ser la més important en el pressupost total.

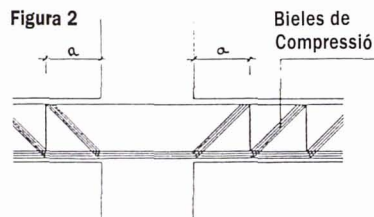
Examinem de prop el comportament d'una camisa metàl·lica o de formigó en el supòsit més desfavorable: el pilar primitiu no hi col·labora i només establim el reforç a l'únic pilar de la columna objecte de la reparació.

Figura 1



A la figura 1 veiem que la càrrega P_n provinent del pilar de la planta n , ha de ser desviada cap a la camisa a la qual s'afegeix la reacció corresponent al forjat n . La forma normal de transmetre càrregues d'una biga de formigó o d'un entramat creuat a un pilar, és la indicada a la fig. 2 i, consegüentment, les forces $F_{n+1/2}$ no han de ser tingudes en compte a la biela de desviació. Hi ha, per una altra banda, una zona de longitud $a = 3/4x$ cantell de biga, segons l'apartat 39.1.3.2.3 d'EH-82, en la qual qualsevol càrrega actuant és desviada automàticament cap al pilar inferior sense que hi intervingui, a la biga, a l'efecte de tensions tallants.

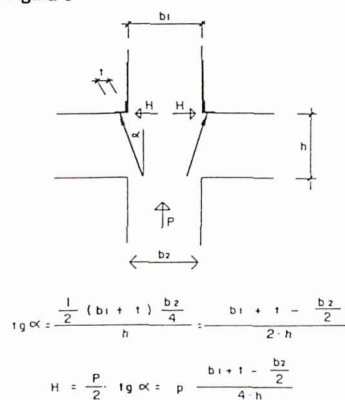
Figura 2



En conseqüència, ens trobem amb una camisa que rep una càrrega de $P_n + F_n$ i que provoca, a la seva part superior, l'aparició en el formigó d'unes bieles de compressió corresponents a P_n i a la part inferior a $P_n + F_n$, essent consegüentment, en igualtat de dimensions estructurals, més desfavorable al nus inferior.

Cal que veiem ara quines disposicions hem d'adoptar perquè el comportament de tots els elements que hi entren en joc sigui l'adequat. (Vegeu fig. 3).

Figura 3



Aquesta força cal que sigui resistida pel collarí que envolta el pilar

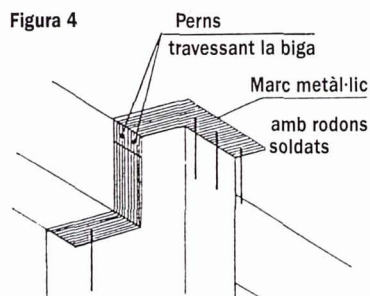
i que s'ha d'adherir amb resina a l'entramat en el cas d'un reforçament metàl·lic o per un cercol que hauria estat realitzat en el cas de reforçament de formigó, encara que valdria més fer servir un marc metàl·lic al qual hauríem de soldar l'armadura vertical de la camisa.

Per al dimensionament del cercol serà determinant la tensió rasant admissible entre una placa-banda enganxada amb epòxid i el formigó.

Cal dedicar una especial atenció al marc superior dels pilars que reben bigues no embotides al gruix de l'entramat, a fi de donar-li continuïtat.

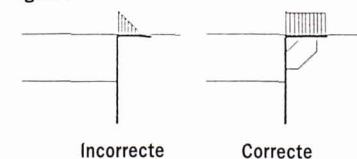
Una manera de solucionar el problema, seria la indicada a la figura 4.

Figura 4



Queda, finalment, per resoldre el problema de les tensions concentrades que es produeixen en el contacte dels collarins o dels marcs amb el formigó i que, en qualsevol cas ha de ser inferior a la resistència de càlcul si considerem accions majorades. Si el reforç és metàl·lic, el collarí pot estar format per angulars que han de tenir prou rigidesa perquè el repartiment de tensions tingui la uniformitat suposada en els càlculs; a aquest efecte cal que hi disposem unes cartelles de rigidització (vegeu la figura 5).

Figura 5



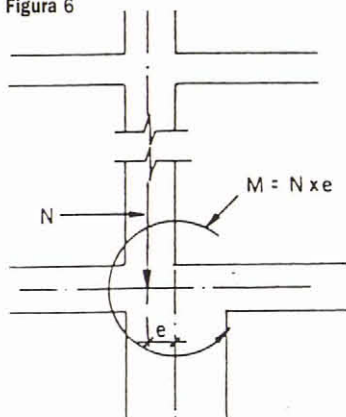
Comptat i debatut, veiem que adoptant-hi les precaucions adequades és perfectament factible de reforçar un pilar defectuós sen-

se necessitat d'haver d'actuar en els altres pilars de la mateixa columna mancats de problemes.

Referint-nos a pilars, exposaré un cas curiós, perquè és en aparença alarmanant i perquè, ben analitzat, perd una gran part de la importància patològica que estaríem disposats a concedir-li. És un cas, com tots els comentats en aquest article, amb què m'he trobat a la realitat.

Suposem una estructura reticular en què, per error, l'eix d'una columna de pilars s'ha desplaçat a partir d'un pis en relació amb l'eix dels pilars inferiors de la mateixa columna (figura 6).

Figura 6



Estaríem temptats de pensar que, a partir de la base del primer pilar desplaçat i en tots els que li són inferiors, es produeix un moment addicional de $M = N \times e$ que podria ser greu. Però si n'examinem l'estructura podem dir que el que realment es produeix en el nus és que hi hem introduït un moment $M = n \times e$ que es repartirà entre totes les barres i que afectarà més les que concorren en el nus i molt poc les que se n'allunyen, incloent-hi els pilars inferiors de la columna considerada. Els esforços no són pas tant grossos com esperàvem i el reforç, si és que hi cal, es limita a una petita zona.

Reforços d'entramats i jàsseres

No tinc pas la intenció d'afegir res teòricament nou a la literatura existent sobre el tema dels reforços d'entramats i jàsseres. Aprofitaré, tanmateix, l'exemple escollit a fi de

comunicar la meua impressió que consisteix en el fet que els problemes de patologia de la construcció són una mica artesanals, és a dir, cada cas exigeix una atenció i un desplegament imaginatiu especial que, a vegades, són aplicats a unitats estructurals econòmicament poc importants. No hem pas de pensar per això, que els estudis de patologia no s'han vist afavorits pels potents mitjans de càlcul mitjançant ordinadors. Al contrari, aquests mitjans permeten d'afinar al màxim el càlcul, amb la qual cosa la gravetat de l'error queda perfectament delimitada i fan arribar, en ocasions, a una conclusió veritablement important: no és necessari el reforç.

I fins i tot podem dir que els problemes de patologia exigeixen programes molt més elaborats i complexos que els normalment utilitzats en el càlcul d'estructures. És fàcil, amb pocs quilograms d'acer suplementari ben disposats, quedar-nos al cantó de la seguretat quan realitzem un programa de flexocompressió esbiaixada, però hem de tenir un programa que sigui prou sensible per a poder detectar l'acer que hi sobri i que pot, a vegades, salvar-nos de la reparació.

Un entramat creuat simplificat, que l'EH-82 preconitza, ens ha deixat del cantó de la seguretat. Una baixa de resistència en el formigó de l'obra podria requerir una comprovació amb un programa d'engraellat o reticular espacial. I podríem donar molts més exemples que confirmarien la nostra idea.

Però exposem el cas triat. Es tractava d'un edifici on, a conseqüència d'un incendi, havien estat afectats els pilars de la planta baixa i les bigues i els entramats que la separaven del primer pis.

Després d'una temporada durant la qual tot l'entramat va estar apuntalat, vam procedir a desapuntalar-lo i va estar així durant més d'un any. En encarregar-nos l'estudi del projecte de reparació, hi vam observar zones distintament degradades. Les biguetes de la zona superior, que podem observar al plànol de la planta, podien ser considerades totalment fora de servei. Eren biguetes pretensades i els

filferros, despresos del formigó, penjaven flàccids i negres. Era difícil de comprendre per quina obscura llei física aquell entramat s'aguantava, sense puntals, al seu lloc. Els desperfectes del primer pis, tallat el foc per l'entramat, eren mínims i, consegüentment, calia procurar trobar-hi una solució global de reforçament que no hi impliqués la demolició dels envans i de l'entramat. Les zones restants, encara que tenien biguetes força deteriorades, no presentaven pel que fa a aquests elements, la gravetat de l'anterior.

Vam decidir d'adoptar solucions diferents a les dues zones. A la primera vam disposar sota les biguetes perfils IPN del 140 capaços d'absorbir la totalitat de la càrrega. Aquests perfils es repenjaven en unes plataformes metàl·liques que s'ancoraven a les bigues mitjançant tacs químics.

A les zones restants distingírem dos tipus de biguetes: les que podien ser reforçades amb una plataforma inferior adherida amb epòxid i les que, perquè presentaven símptomes semblants a les de la primera zona, no permetien aquesta solució.

Encara que hi havia prou alçada lliure a la planta per a adoptar la solució d'IPN inferior, no era lògic deixar aquestes zones amb diferents alçades d'entramat, per la qual cosa vam haver de recórrer a embotir les biguetes en unes peces lineals amb secció en U, construïdes a base d'una platabanda plegada de 5 mm de gruix. Igualment que els IPN, aquesta secció era capaç d'absorbir tota sola els esforços complets corresponents a una bigueta. A l'espai lliure entre platabanda i bigueta s'injectava un morter de ciment. El suport del perfil a les bigues es realitzava de forma similar a la dels IPN, mitjançant platabandes ancorades amb tacs químics.

Vàrem agafar dos testimonis, l'un en un pilar i l'altre en una biga, els més afectats del conjunt, i vam poder observar tant la resistència en el formigó del pilar com en la de la biga, la qual cosa ens va dur a la conclusió, un cop efectuats els corresponents càlculs, que els pilars no necessitaven cap reforç i que les bi-

gues, amb un simple sanejament i restitució del formigó superficial juntament amb un reforç de platines adherides amb resina epòxid, quedarien en més bones condicions resistents que abans de l'incendi.

A les fotografies podem veure les diferents seqüències de la reparació.

Reforços de fonaments

Les causes principals que ens poden dur al reforçament d'un fonament són les següents:

- 1) Assentament superficial d'un fonament.
- 2) Insuficiència de superfície o de la qualitat de pilons.
- 3) Armadura insuficient.
- 4) Formigó amb resistència característica inferior a la necessària.
- 5) Terrenys agressius o formigó amb components degradants (com és el cas de la pirita).
- 6) Augment de les càrregues transmeses al ciment.

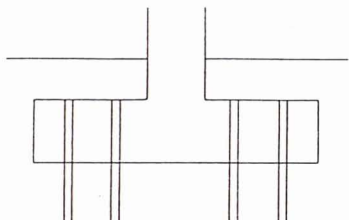
Per un evident problema de temps ens limitarem a analitzar el cas d'un capçal en el qual, per qualsevol causa, l'armadura inferior disposada és insuficient.

Si podem fer créixer superiorment el cantell del capçal, la millor

cosa a fer serà determinar-ne el nou cantell de manera que l'armadura que en resulti sigui la que tenim i procedir a la recrescuda mitjançant un formigó nou unit al vell, mitjançant epòxid o ancoratges. Cal advertir que, perquè és determinant el càlcul en ruptura, no té cap importància que el formigó anterior ja estigui treballant i no ho estigui, en canvi, el nou, ja que per un augment de la càrrega, en el pitjor dels casos, el formigó inferior es plastificaria i entraria a treballar el superior.

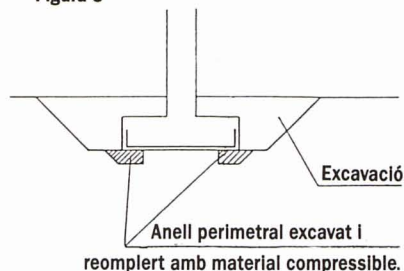
Si la recrescuda, per qualsevol mena de condicions, és impracticable de fer-la a la part superior, el problema se'ns complica. Una solució seria disposar-hi uns micropilons que acostin al pilar la resultant de l'acció sobre el terreny, amb la qual cosa el moment en el capçal disminuiria. (Fig. 7).

Figura 7



Si la capacitat suportadora del terreny fos superior a la considerada en el projecte, podríem excavar-hi un anell perimetral exterior, tal com indica la figura 8, substituint el terreny primitiu per un altre no tan rígid.

Figura 8



Qualsevol altra solució que no sigui una d'aquestes dues, pot resultar molt complicada i cara.

Finalment, cal recordar la gran importància que en patologia té posar els problemes a mans de veritables especialistes en la matèria. L'efectivitat de la solució adoptada i l'economia de l'obra en depenen exclusivament.

JR.R. □

