

Cintres i encofrats: una part necessària del projecte

Robert Brufau

■

A l'article 4t del primer capítol de la vigent *Instrucció del Formigó Estructural* (EHE, 1999) consta, de manera inqüestionable, el següent text:

Quan el procés d'execució de l'estructura requereixi condicions especials, aquestes hauran de detallar-se al màxim, i s'hauran d'indicar, entre altres:

- *La disposició de cintres i encofrats, quan no siguin els usuals.*
- *El procés de formigonatge, amb especial referència a les juntes de retracció, al formigonat, etc.*
- *El procés de desencofrat i descintrat.*

En un altre paràgraf diu:

Quan procedeixi, es faran indicacions sobre les contrafleixes que convingui establir en els encofrats, d'acord amb el procés d'execució previst [...]

Aquestes consideracions tenen un caràcter molt generalista i estan incloses dins d'una part de la Instrucció que porta per nom «Documentació del projecte». Posteriorment es complementen al llarg de l'article 65 del capítol XIII, titulat «Cintres, encofrats i motllos», on es defineixen les exigències que han de complir aquests sistemes de construcció provisional. Es tracta d'un article bastant extens, del qual s'extreu aquesta introducció:

Les cintres, els encofrats i els motllos, així com les unions entre els seus distints elements, tindran una resistència i rigidesa suficients per garantir el compliment de les toleràncies dimensionals i per resistir, sense assentaments ni deformacions perjudicials, les accions de qualsevol mena que puguin produir-se sobre ells com a conseqüència del procés de formigonatge i, especialment, sota les pressions del formigó fresc o els efectes del mètode de compactació utilitzat. Aquestes condicions hauran de mantenir-se fins que el formigó hagi adquirit prou resistència per suportar, amb un marge de seguretat adequat, les tensions a què serà sotmès durant el desencofrat, desemmotllat o descintrat. [...] Aquests elements es disposaran de manera que s'evitin danys en estructures ja construïdes. [...] El subministrador dels puntals en justificarà i garantirà les característiques i precisarà les condicions en què s'han d'utilitzar.

El contingut d'aquest article és prou precís per no deixar cap mena de dubte en relació amb el que s'ha d'exigir a un procés d'encofrat, tot i el caràcter de provisionalitat que pugui tenir aquesta etapa del procés constructiu.

El cert és que un percentatge bastant elevat dels accidents d'obra al llarg del procés constructiu té l'origen en un sistema d'apuntalaments deficient. Algunes causes molt immediates, etiquetables com «de mala pràctica constructiva», poden ser:

- Una manipulació incorrecta del material, especialment pel que fa als enllaços entre les peces. A tall d'exem-

■ **Flat slab falsework and formwork:**
a necessary part of the project

Article four of the first chapter of the current *Instrucció del Formigó Estructural* (Structural concrete specifications, EHE, 1999) includes the following central text:

When the process of constructing the structure calls for special conditions, they must be specified in detail, indicating, among others:

- *The implementation of falsework and formwork, if other than the usual.*
- *The concreting process, with particular reference to contraction and expansion joints, etc...*
- *The process of removing falsework and formwork.*

Another paragraph reads:

When appropriate, indications must be given with regard to the pre-construction load to be established in the formwork, in accordance with the planned process of implementation.

These considerations are very general and are included in a section of the Specifications entitled "Project documentation". They are complemented further on, in Article 65 of Chapter XIII, entitled "Falsework, formwork and moulds", which defines the requirements to be met by these provisional construction systems. It is a fairly extensive article, from which the following introduction is taken:

Falsework, formwork and moulds, and the joints between their different elements, must have sufficient strength and rigidity to guarantee compliance with dimensional tolerances and to withstand, without detrimental subsidence or deformation, the actions that may be exerted on them as a result of the concreting process and, in particular, under the pressure of young concrete or the effects of the compacting method used. These conditions must be maintained until the concrete has acquired the sufficient strength to support, with a suitable safety margin, the tensions to which it will be subjected during the removal of formwork, moulds or falsework. [...] These elements must be placed in position in such a way as to prevent damage to structures already built. [...] The supplier of the props must justify and guarantee their characteristics, specifying the conditions in which they are to be used.

The content of this article is sufficiently precise as to leave no doubt as to the requirements of the formwork process, in spite of the provisional nature of this phase of the construction process.

A fairly high percentage of accidents on building sites in the course of the construction process are the result of a deficient bracing system. The most immediate causes, which we might refer to as "poor building practice", might be:

- The incorrect handling of materials, particularly of the joints between pieces. By

■ **Cimbras y encofrados:**
una parte necesaria del proyecto.

En el artículo 4.º del primer capítulo de la vigente *Instrucción del Hormigón Estructural* (EHE, 1999) consta, de manera incuestionable, el siguiente texto:

Cuando el proceso de ejecución de la obra requiera condiciones especiales, éstas deberán detallarse al máximo, indicándose entre ellas:

- *disposición de cimbras y encofrados, cuando no sean los usuales;*
- *proceso de hormigonado, con especial referencia a las juntas (de retracción, de hormigonado, etc.);*
- *proceso de desencofrado y descimbrado.*

En otro párrafo se dice:

Cuando proceda, se harán indicaciones sobre las contraflechas que convenga establecer en los encofrados de acuerdo con el proceso de ejecución propuesto.

Estas consideraciones tienen un carácter muy generalista y están incluidas dentro de una parte de la Instrucción denominada "Documentación del proyecto". Posteriormente se complementan a lo largo del artículo 65 del capítulo XIII, titulado "Cimbras, encofrados y moldes", en donde se definen las exigencias que deben cumplir esos sistemas de construcción provisional. Se trata de un artículo bastante extenso, del que se extrae esta introducción:

Las cimbras, encofrados y moldes, así como las uniones de sus distintos elementos, poseerán una resistencia y rigidez suficientes para garantizar el cumplimiento de las tolerancias dimensionales y para resistir, sin asientos ni deformaciones perjudiciales, las acciones de cualquier naturaleza que puedan producirse sobre ellos como consecuencia del proceso de hormigonado y, especialmente, bajo las presiones del hormigón fresco o los efectos del método de compactación utilizado. Dichas condiciones deberán mantenerse hasta que el hormigón haya adquirido la resistencia suficiente para soportar, con un margen de seguridad adecuado, las tensiones a que será sometido durante el desencofrado, desmoldeo o descimbrado. Estos elementos se dispondrán de manera que se eviten daños en estructuras ya construidas. El suministrador de los puntales justificará y garantizará las características de los mismos, precisando las condiciones en que deben ser utilizados.

El contenido de este artículo es lo bastante preciso como para no dejar ninguna duda en relación con lo que debe exigirse a un proceso de encofrado, a pesar del carácter de provisionalidad que pueda tener esta etapa del proceso constructivo.

Lo cierto es que un porcentaje bastante elevado de los accidentes de obra a lo largo del proceso constructivo tiene su origen en un sistema de apuntalamientos deficiente. Algunas causas muy inmediatas, etiquetables como "de



ple, els encofradors tenen una gran confiança en les unions amb falques triangulars de fusta que faciliten una bona entrada en càrrega a compressió del puntal, però que són del tot ineficaces —i fins i tot poden resultar definitivament inútils per a un bon treball posterior del puntal— si, en un instant concret del procés, les compressions desapareixen.

— L'excés de vida que es vol imposar a determinades peces, sovint danyades a força d'haver estat utilitzades centenars de vegades sense cap reparació de la seva geometria. Els puntals doblegats reutilitzats sense cap precaució en són una mostra.

— Un assentament deficient al terra, especialment quan es produeix damunt de terrenys poc estables. Aquesta situació pot provocar l'assentament del sistema d'apuntament en el moment de vessar el formigó de l'estructura cintrada, amb les consegüents desviacions de la seva geometria precisa.

— És molt perjudicial la voluntat d'alguns constructors d'estalviar-se una part dels elements i posar menys estampadors, puntals o sotapunts que els que serien desitjables. També ho és la mandra de posar creus verticals per enrigir el conjunt dels puntals quan aquests estan propers al límit de la seva capacitat de càrrega o tenen alçades importants.

— Sovint el problema és la manca de material suficient, que porta el constructor a forçar els terminis raonables del procés i a retirar determinades peces quan encara no han acabat de complir totalment la seva funció resistent.

— La difícil convivència en una mateixa tasca d'encofrat de puntals de característiques resistents prou diferents perquè mai no arribin a sumar les seves capacitats de càrrega.

El control d'aquesta primera relació de causes entraria més pròpiament dins de l'àmbit del bon ofici professional dels contractistes —o subcontractistes— i, evidentment, de la correcta vigilància de la direcció executiva de l'obra, que seria, en primer terme, la que hauria de vetllar perquè no hi hagués el més mínim risc. Ara bé, aquestes causes més primàries no són, ni de bon tros, les principals, ja que hi ha moltes situacions especials que, per la seva singularitat, han de ser abordades des del projecte arquitectònic i han de formar part, idealment, del conjunt de plànols constructius o estructurals.

Respecte d'això he de fer un comentari que crec oportú, ja que des de fa alguns anys, des de l'Associació de Consultors d'Estructures (ACE), a la qual pertanyo, recomanem als nostres clients arquitectes que incorporin al seu projecte uns documents (plànols, memòries específiques) per tal

way of example, the sector's professional trust a great deal to joints that employ triangular wooden wedges that allow correct load-bearing when the props are compressed, but which are entirely ineffectual, and may even become completely unfit for the correct subsequent functioning of the prop if, at a given moment in the process, compression disappears.

- The desire to indefinitely extend the useful life of certain pieces, often damaged due to being used hundreds and hundreds of times without repair to their geometry. Bent props that are reused without due precaution are one example.

- Deficient consolidation on the ground, particularly when this occurs on unstable ground. This situation can lead to the subsidence of the bracing system when the concrete is placed into the falsework structure, with the resulting distortion of the precise geometry of the latter.

- Some construction companies try to save on some elements, using fewer telescopic props or shoring than desirable, which is highly detrimental. So is laziness when it comes to placing vertical crossbars to give the props greater rigidity, if the latter are near the limit of their bearing capacity, or are very tall.

- The problem is often a lack of sufficient material, which leads the contractor to force the reasonable timeline of the process, removing certain elements before they have completed their bearing function.

- The difficulty involved in using props with considerably differing bearing characteristics for a single task of formwork, since the bearing capacities never add up.

Strictly speaking, control of this initial list of causes depends on the correct professional procedure of the contractors (or subcontractors) and, of course, on correct vigilance on the part of the works' supervisors whose responsibility it is, first of all, to ensure that any risk is avoided. However, these more primary causes are far from being the main ones, as there are many special situations that have to be addressed by the architectural project and, ideally, form part of the overall construction and structural plans.

On this subject, I have to make a comment that I consider to the point; for a few years now, the Associació de Consultors d'Estructures (ACE), of which I am a member, has been recommending that our architect clients include in their projects a series of documents (plans, specific descriptions) that provide a full definition of the conditions in which the processes of placing and striking formwork should be carried out. We offer the option of incorporating it into the structural project, but when we mention

mala pràctica constructiva" pueden ser:

- Una manipulación incorrecta del material, especialmente por lo que respecta a los enlaces entre las piezas. A modo de ejemplo, los encofradores tienen una gran confianza en las uniones con cuñas triangulares de madera que facilitan una buena entrada en carga a compresión del puntal, pero que son absolutamente ineficaces —e incluso pueden llegar a ser definitivamente inútiles para un buen trabajo posterior del puntal— si, en un instante concreto del proceso, las compresiones desaparecen.

- La excesiva vida que se quiere imponer a determinadas piezas, a menudo dañadas después de haber sido utilizadas cientos y cientos de veces sin ninguna reparación de su geometría. Puntales doblados que se reutilizan sin ninguna precaución constituyen una muestra.

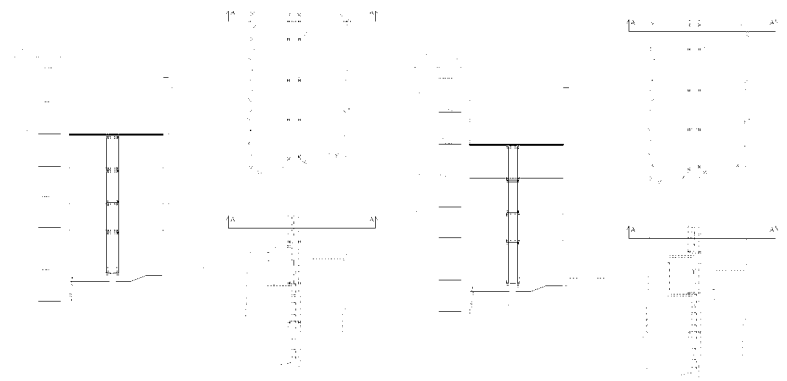
- Un deficiente asentamiento en el suelo, sobre todo cuando se produce sobre terrenos poco estables. Esta situación puede provocar el asentamiento del sistema de apuntalamiento en el momento de verter el hormigón de la estructura cimbada, con las consiguientes desviaciones de la geometría precisa de ésta.

- La voluntad de algunos constructores de ahorrarse una parte de los elementos es muy perjudicial, pues tiene como consecuencia que se disponga de menos codales, puntales o sopandas de los que serían deseables. También lo es la pereza a la hora de poner cruces verticales para hacer más rígido el conjunto de los puntales, cuando éstos bordean el límite de capacidad de carga o tienen alturas importantes.

- A menudo el problema es la falta de material suficiente, que lleva al constructor a forzar los plazos razonables del proceso, retirando determinadas piezas cuando todavía no han acabado de cumplir totalmente su función resistente.

- La difícil convivencia en una misma tarea de encofrado de puntales de características resistentes lo bastante diferentes como para que nunca lleguen a sumar sus capacidades de carga.

El control de esta primera relación de causas entraría más propiamente dentro del ámbito del buen oficio profesional de los contratistas —o subcontratistas— y, evidentemente, de la correcta vigilancia de la dirección ejecutiva de la obra que sería, en primer término, la que debería velar para que no se produjese el menor riesgo al respecto. Ahora bien, estas causas más primarias no son en absoluto las principales, ya que se dan muchas situaciones especiales que, por su singularidad, tienen que ser abordadas desde el proyecto arquitectónico, formando parte, idealmente, del conjunto de planos constructivos o estructurales.



que quedin perfectament definides les condicions en què s'han d'executar els processos d'encofrat i desencofrat. Ens oferim a incorporar-los dins del projecte estructural, però quan es parla dels honoraris que això comporta —que no acostumen a ser gaire elevats, ja que normalment es xifren en un 2% o un 3% del cost total del projecte de càlcul— tot sovint ens trobem amb la negativa per resposta. Em costa comprendre aquesta actitud, que normalment es justifica amb la frase «però si no ho hem fet mai» o amb la molt més àcida «i per què hi són els aparelladors?».

El cert és que cada cop hi ha més informes pericials que incorporen aquest tema en les seves conclusions, cosa que genera una major sensibilitat en els estaments judicials relacionats. En aquests tres darrers anys m'he trobat en quatre ocasions immers en procediments legals en què s'ha requerit l'arquitecte que declari sobre els plànols i detalls d'un determinat procés d'apuntament especial la mala execució del qual havia provocat conseqüències patològiques, i en tres d'aquestes quatre ocasions la resposta al jutge ha anat en la línia de dir que el que se'ls demana mai no ha format part del que s'entén per un projecte «normal». No sé com han acabat aquests procediments (bé, sí que ho sé, però ara no ve al cas), però el cert és que quan he fet veure a l'arquitecte titular la claredat amb què la instrucció es manifesta he tingut la sensació que s'adonava de la incorrecció d'aquestes mancances.

En quins casos caldrà, doncs, actuar amb diligència de manera imperativa, aportant tota la documentació projectual necessària per complir les exigències de la normativa? A partir de quin moment seria exigible la redacció d'una part del projecte dedicada específicament al procés d'apuntaments?

Em permeto apuntar onze situacions que ho justificarien:

1. Quan es treballa amb forjats pesats s'ha de vigilar especialment la capacitat portant de la part d'estructura receptora de les càrrecues implícites en la nova execució d'aquests forjats. Per fer una definició fàcil, es podria dir que una estructura és pesada (en termes relatius) quan el seu pes propi és major que el del conjunt de les càrrecues restants que l'afectaran (sobrecàrrecues d'ús, d'envans i càrrecues permanents de paviments, enguixats i falsos sostres). Si, per exemple, s'analitza un edifici d'habitatges en què la sobrecàrrega d'ús és de 200 kg/m², la d'envans és de 100 kg/m² i entre els paviments i els revestiments generen uns 100 kg/m², es podria dir que una estructura que pesés més de 400 kg/m² seria pesada. Qualsevol solució amb forjats reticulars de més de 25 + 4 cm de cantell, o de lloses massisses de més de 17 cm de gruix, ja entraria de ple en aquesta consideració d'estructura pesada. Pel tema que ens ocupa té sentit haver fixat aquesta línia divisòria, ja que és la que delimita la situació en què el pes propi del nou sostre superior —encara sense capacitat resistent— és major que la capacitat del sostre inferior que el suporta per acceptar càrrecues afegides.

the fee this involves—which is generally quite reasonable, normally 2 or 3% of the total cost of the calculation project—it is often refused. I find it hard to understand this attitude, normally justified with the phrase: "But we've never done it before...", or the much more scathing: "What are building technicians for?"

The fact is that there is an increasing number of expert reports that incorporate this issue in their conclusions, leading to a greater sensibility to the matter among judicial bodies. In the last three years, I have on four occasions found myself involved in legal proceedings in which the architect was summoned with regard to the plans and details of a special formwork process, the poor execution of which had produced pathological consequences. On three of these four occasions, the judge's ruling took the line that what was asked of them has never formed part of what is understood as a "normal" project. I do not know how these proceedings ended (in fact I do, but it is not germane to my subject), but when I presented to the architect responsible the clarity with which the Instrucción expresses itself, I felt that he realised the error of these shortcomings.

In which cases, then, is it imperative to act with diligence, presenting all the necessary planning documentation to meet regulatory requirements? At what point does it become legally necessary to include a part of the project devoted specifically to the shoring process?

I would like to outline 11 situations that would justify this procedure.

1. When working with heavy floor slabs, particular attention is necessary to the bearing capacity of the part of the structure receiving the loads implicit in the new construction of these floors. By way of a simple definition, I would say that a structure might be considered to be heavy (in relative terms) when its own weight is greater than the remaining loads that will affect it (surface loads of use, partition walls and permanent loads of flooring, plastering and false ceilings). If, for example, we are analysing an apartment block, where the surface load of use is 200 kg/m², the load of partition walls is 100 kg./m², and the flooring and claddings generate in the region of 100 kg/m², we could say that a structure weighing more than 400 kg/m² would be heavy. Any solution using waffle slabs of more than 25+4 cm in thickness, or solid slabs of over 17 cm thick, would directly be considered under this heading. With regard to the issue that concerns us here, it makes sense to establish this dividing line, since it delimits the situation in which the actual weight of the new upper ceiling—still without carrying capacity—is greater than the capacity of the lower ceiling that supports it to accept added loads.

2. When the client demands a particularly fast rate of construction of his technicians and contractors. These days, it is not too dif-

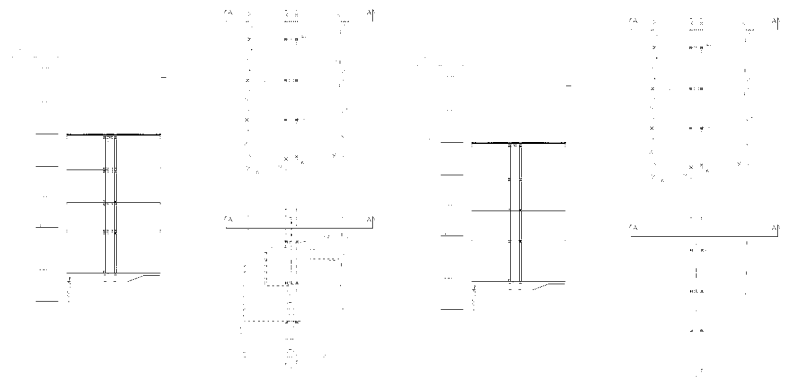
Al respecto quiero hacer un comentario que me parece oportuno, ya que desde hace unos pocos años, desde la Asociación de Consultores de Estructuras (ACE), a la que pertenezco, estamos intentando recomendar a nuestros clientes arquitectos que incorporen a su proyecto unos documentos (planos, memorias específicas) con el fin de que queden perfectamente definidas las condiciones en las que tienen que ejecutarse los procesos de encofrado y desencofrado. Nos ofrecemos a incorporarlo dentro del proyecto estructural, pero cuando se habla de los honorarios que esto comporta —y eso que no acostumbran a ser demasiado elevados, puesto que normalmente se cifran en un 2 o 3% del coste total del proyecto de cálculo— a menudo nos encontramos con la negativa por respuesta. Me cuesta entender esta actitud, que normalmente se justifica con la frase "pero si nunca lo hemos hecho...", o con otra mucho más ácida: "¿Y para qué están los aparelladores?"

Lo cierto es que cada vez hay más informes periciales que incorporan este tema en sus conclusiones, lo que genera una mayor sensibilidad al respecto en los estamentos judiciales. En estos tres últimos años me he encontrado en cuatro ocasiones inmerso en procedimientos legales en los que se ha requerido al arquitecto sobre los planos y detalles de un determinado proceso de apuntalamiento especial, cuya mala ejecución había provocado consecuencias patológicas, y en tres de estas cuatro ocasiones la respuesta al juez ha venido a decir que lo que se les pide no ha formado parte nunca de lo que se entiende por un proyecto "normal". No sé cómo han acabado estos procedimientos (bueno, sí que lo sé, pero ahora no vamos a hablar de eso), pero lo cierto es que cuando le he hecho ver al arquitecto titular la claridad con la que la Instrucción se manifiesta, he tenido la sensación de que se daba cuenta de la incorrección de estas carencias.

¿En qué casos será necesario, por tanto, actuar de manera imperativa con diligencia, aportando toda la documentación projectual necesaria para cumplir con las exigencias de la normativa? ¿A partir de qué momento sería exigible la redacción de una parte de proyecto dedicada exclusivamente al proceso de apuntalamientos?

Me permito apuntar once situaciones que lo justificarian:

1. Cuando se trabaja con forjados pesados hay que vigilar especialmente la capacidad portante de la parte de estructura receptora de las cargas implícitas en la nueva ejecución de estos forjados. Para definirlo fácilmente se podría decir que una estructura es pesada (en términos relativos) cuando su propio peso es mayor que el conjunto de las cargas restantes que le afectarán (sobrecargas de uso, de tabiques y cargas permanentes de pavimentos, enyesados y falsos techos). Si, por ejemplo, se analiza un edificio de viviendas, en donde la sobrecarga de uso es de 200 kg/m², la de tabiques es de 100 kg/m², y entre los pavimentos y los revestimientos generan unos 100 kg/m², se podría decir que una estructura que pesase más de 400 kg/m² sería pesada. Cualquiera



2. Quan el promotor exigeix als seus tècnics i contractistes un ritme d'obra especialment ràpid. Avui en dia no és gaire difícil aconseguir pujar una planta d'estructura de formigó armat en quatre o cinc dies. El termini perquè un formigó aconseguixi la seva resistència íntegra és d'uns vint-i-vuit dies, temps en el qual es poden haver acumulat al damunt seu fins a sis sostres. Podrà suportar-ho?

3. Quan l'alçada entre plantes és superior a la normal i permet pressuposar que s'escapa raonablement a les alçades amb què habitualment treballen els constructors. A partir de 4,50 m podria començar a parlar-se d'una alçada que requereix un estudi especial, amb la implicació directa de l'empresa subministradora del material, que —tal com diu la instrucció EHE— haurà d'aportar les justificacions tècniques necessàries. Serà decisió de la direcció facultativa la disposició, o no, de creus i d'altres elements de triangulació per donar una major estabilitat al conjunt dels puntals. En aquests casos, però, en el projecte ha de quedar prou clar el tipus de triangulació, la seva posició i la freqüència amb què s'han de disposar les creus.

4. Quan es projecten encofrats a gran alçada que requereixen ser suportats per torres o taules. El projecte ha d'imposar les condicions d'aquestes torres i s'ha d'exigir a l'empresa subministradora la justificació pertinent de la seva capacitat. Aquesta qüestió és particularment important quan aquests espais a doble o triple alçada conviuen amb altres zones de la planta en què hi ha altells intermedis apuntalats convencionalment. Per la llei de Hooke els escurçaments dels diferents elements verticals poden ser molt distints i introduir moviments diferencials en el pla d'encofrat en el moment de vessar el formigó.

5. Quan per l'interior de l'obra han de circular vehicles pesats o quan s'han de fer abassegaments importants de materials. El projecte (o la documentació que es generi al llarg de la direcció de les obres) haurà d'especificar les càrrecs estimades i de quina manera s'han de reforçar provisionalment els mecanismes d'apuntament inferiors.

6. Quan s'ha de controlar i canalitzar les empentes derivades de les contencions de terres. Seria el cas dels estampidors horitzontals dels murs pantalla en situacions de provisionalitat. És difícil endevinar el tipus d'apuntament que s'emprarà, però el projectista ha de donar els requeriments necessaris per garantir la correcta transmissió de les forces horitzontals, que seran convenientment quantificades i posicionades.

7. Quan en projectes de rehabilitació i reparació s'han d'executar parts importants d'obra havent-hi usuaris de l'edifici treballant en plantes inferiors. En aquests casos és particularment important definir tots els mecanismes de seguretat per al conjunt dels apuntaments superiors, davant del major risc d'accidents que es pressuposa per a aquest tipus d'intervenció.

8. Quan s'ha de fer apuntaments i estintolaments de murs de càrrega o de pilars superiors. També quan s'ha de fer l'eliminació d'algun pilar o fragment de mur principal. El procés d'estintolament ha d'explicar-se «pas per pas»,

difficult to build a floor of reinforced concrete structure in four or five days. The time period required for concrete to reach its full strength is in the order of 28 days, during which time as many as six floor surfaces may have accumulated on top of it. Will it be able to bear them?

3. When the height between floors is greater than the habitual, allowing us to presuppose that it is reasonably beyond the heights with which construction companies generally work. As of 4.50 metres, we can talk of a height that requires a special study, with the direct involvement of the firm that supplies the material, which, as stated in the EHE guidelines, must present such technical justifications as are necessary. It is up to the technical supervisors to decide whether or not crossbars and other triangulation elements are necessary to give the shoring system greater stability. In these cases, however, the project must clearly state the type of triangulation, its position and the frequency with which the bars have to be placed.

4. When very high ceilings are designed, requiring the support of platforms or tables. The project must impose the conditions of these mechanisms, and the company that supplies them must justify their capacity accordingly. This is a particularly important issue when double- or triple-height spaces are combined with other single-floor areas with conventionally propped mezzanines. By Hooke's Law, the reductions in the various vertical elements may be very different, introducing differential movement into the plane of the formwork when introducing the concrete.

5. When heavy vehicles are used on the site or when large stockpiles of materials are made. The project (or the documentation generated throughout works direction) must specify the estimated loads and how backpropping below is to be provisionally reinforced.

6. When it is necessary to control and channel the thrust deriving from earth retention. This is the case of horizontal shoring of form liners in provisional situations. It is difficult to estimate the type of shoring that will be used, but the planner has to provide the necessary requirements to guarantee the correct transmission of horizontal forces, which will be suitably quantified and positioned.

7. When in rehabilitation and reparation projects, large sectors of work have to be carried out while users of the building are working on lower floors. In these cases, it is particularly important to define the overall safety mechanisms for shoring in the upper part of the building, in the face of the greater risk of accidents involved in this type of intervention.

8. When propping bearing walls or pillars. Also if a pillar or stretch of bearing wall has to be eliminated. The propping process has to be explained "step by step", precisely defin-

solución con forjados reticulares de más de 25+4 cm de canto, o de losas macizas de más de 17 cm de grosor, entraría ya de lleno en esta condición de estructura pesada. Para el tema que nos ocupa tiene sentido haber fijado esta línea divisoria, ya que es la que delimita la situación en que el peso propio del nuevo techo superior —todavía sin capacidad resistente— es mayor que la capacidad del techo inferior que lo aguanta para aceptar cargas adicionales.

2. Cuando el promotor exige a sus técnicos y contratistas un ritmo de obra especialmente rápido. Hoy en día no es demasiado difícil conseguir subir una planta de estructura de hormigón armado en cuatro o cinco días. El plazo para que un hormigón consiga su resistencia íntegra es del orden de los 28 días, tiempo en el que pueden haberse acumulado encima suyo hasta seis techos. ¿Podrá soportarlo?

3. Cuando la altura entre plantas es superior a lo normal y permite presuponer que se sobrepasa razonablemente las alturas con que habitualmente trabajan los constructores. A partir de 4,50 metros podría empezar a hablarse de una altura que requiere de un estudio especial, implicando directamente a la empresa suministradora del material, que deberá —tal como dice la instrucción EHE— aportar las justificaciones técnicas que sean necesarias. Será decisión de la dirección facultativa la disposición, o no, de cruces y de otros elementos de triangulación para dar una mayor estabilidad al conjunto de los puntales. En estos casos, de todos modos, en el proyecto tiene que quedar lo bastante claro el tipo de triangulación, su posición y la frecuencia con que se tienen que disponer las cruces.

4. Cuando se proyecten encofrados a gran altura, que requieran ser soportados por torres o tablas. El proyecto ha de imponer las condiciones de estas torres, siendo exigible la justificación pertinente de su capacidad por parte de la empresa suministradora. Esta cuestión es particularmente importante cuando estos espacios a doble o triple altura conviven con otras zonas de la planta en la que hay altillos intermedios apuntalados convencionalmente. Por la ley de Hooke los acortamientos de los diferentes elementos verticales pueden ser muy diferentes e introducir movimientos diferenciales en el plano de encofrado en el momento de verter el hormigón...

5. Cuando por el interior de la obra deben circular vehículos pesados o cuando hay que hacer acopios importantes de materiales. El proyecto (o la documentación que se genera a lo largo de la dirección de las obras) deberá especificar las cargas estimadas y de qué manera tienen que reforzarse provisionalmente los mecanismos de apuntalamiento inferiores.

6. Cuando deban controlarse y canalizarse los empujes derivados de las contenciones de tierras. Sería el caso de los codales horizontales de los muros-pantalla en situaciones de provisionalidad. Es difícil adivinar el



ESTER ROVIRA

definint amb precisió totes les fases seqüencials de l'operació, que hauran de ser escrupolosament respectades.

9. Quan hi hagi processos de posttensat que alteraran en pocs minuts la manera de treballar de grans elements i modificaran el treball resistent dels encofrats de manera sobtada i, per regla general, «aixecant» la biga posttensada, que tendirà a desenganxar-se del seu encofrat, de manera que el deixarà molt més indefens enfront d'una caiguda ràpida.

10. Quan en una etapa d'enderroc d'una construcció entre mitgeres es posa en perill l'estabilitat dels edificis veïns amb què l'edifici eliminat mantenia algun contacte. En situacions com aquestes, les operacions d'apuntament general s'hauran de decidir i quantificar després d'un seriós estudi de la realitat de les construccions veïnes, tenint en compte la situació concreta en cada moment de l'enderroc.

11. En qualsevol etapa provisional d'obra en què s'hagin d'aconseguir situacions d'equilibri temporals clarament diferenciades de les que tindrà en la seva vida definitiva.

De totes aquestes situacions, la que exigeix una major implicació dels projectistes és la darrera, ja que la seguretat del que es construeixi dependrà totalment de la correcció de les mesures que s'adoptin en tot el sistema d'apuntaments i encofrats. Aquesta situació es dona actualment en nombroses construccions especials, en edificis singulars amb grans voladissos que hauran de ser apuntalats amb «estructures» provisionals que estaran en funcionament fins al moment que s'incorporin a l'obra els mecanismes definitius de suport estructural principal (com ara les grans bigues o els entramats de suspensió dels elements estructurals definitius). Aquest és el cas de l'estructura de l'edifici triangular del Fòrum de Barcelona (Herzog & De Meuron, 2002-2003) en el qual vam tenir l'extens forjat inferior descarregant damunt de l'estructura de formigó armat de la part soterrada de la plaça fins que vam acabar la macroestructura espacial superior.

Un altre exemple, actualment en fase de construcció, és l'hotel que s'està aixecant a la part final de la Diagonal (Dominique Perrault, Activitats Arquitectòniques, 2004-2007). Es tracta d'un interessant gratacel de trenta plantes d'alçada amb un gran voladís anterior. Aquest voladís, que comença a la cota + 26,00, el tenim en aquests moments apuntalat per uns pilars metàl·lics circulars gegants que no es retiraran fins que l'estructura metàl·lica del voladís tingui una alçada mínima de sis plantes, moment en què ja es considerarà apta per autosuportar-se. En ambdós projectes aquestes situacions d'apuntament provisional que afecten tan directament el procés constructiu foren analitzades amb el mateix rigor amb què ho va ser l'estructura principal definitiva.

Es podria parlar encara d'una nova situació, derivada de la necessitat d'edificar per sota d'un edifici —o de part d'aquest— per construir-hi diverses plantes subterrànies sense alterar la part patrimonial superior, que s'ha de conservar. És el cas de l'edificació d'un centre lúdic i cul-

ing all the sequential phases of the operation, which must be scrupulously respected

9. When there are processes of post-tensioning that in a few minutes alter the way in which large elements work, suddenly modifying the carrying performance of the formwork, and, as a rule, "lifting" post-tensioned girder, which tend to come away from their formwork, leaving it much less defended in the event of a sudden fall.

10. When, during the demolition of a construction between party walls, compromising the stability of the neighbouring buildings, with which the eliminated building was previously in contact. In these situations, general shoring operations have to be decided and quantified after a serious study of the reality of the neighbouring constructions, bearing in mind the specific situation at each point of the demolition.

11. At any provisional point in construction work requiring temporary situations of balance that are markedly different to those of the building's definitive life.

Of all of these situations, the one that requires the greatest involvement of the planners is the last, as the safety of the building depends totally on the correctness of the measures adopted throughout the propping and formwork system. This situation occurs in numerous special constructions, singular buildings with large projections that have to be propped by provisional "structures" that remain in place until the definitive structural support mechanisms are incorporated (such as large girders or the framework of definitive structural elements). This is the case of the structure of the triangular building at Barcelona's Forum (Herzog & De Meuron, 2002-03), where the large lower slab was supported by the reinforced concrete structure in the underground part of the square until the spatial macrostructure was completed.

Another example, currently under construction, is the Hotel being built at the end of Diagonal (Dominique Perrault, Activitats Arquitectòniques, 2004-2007). This is an interesting 30-floor skyscraper with a large projection at the front. This projection, which begins at +26.00, is currently shored by giant circular metal pillars, which will only be removed when the metal structure of the projection reaches a minimum height of six floors, when it will be considered able to support itself. In both projects, the provisional shoring situations that affect the construction process so directly were analysed with the same rigour as the definitive main structure.

There is yet another situation, arising from the need to construct beneath a building or part of it to produce several subterranean floors without altering the above-grade heritage, which is to be conserved. This is the case of a culture and recreation centre in Barcelona's Les Arenes bullring (Richard Rogers, Alonso & Balaguer, 2005-2008) where the real difficulty of the construction

tipo de apuntalamiento que se utilizará, pero el proyectista tiene que dar los requerimientos necesarios para garantizar la correcta transmisión de las fuerzas horizontales, que serán convenientemente cuantificadas y posicionadas.

7. Cuando en proyectos de rehabilitación y reparación hay que ejecutar partes importantes de obra mientras usuarios del edificio trabajan en plantas inferiores. En estos casos es particularmente importante definir todos los mecanismos de seguridad para el conjunto de apuntalamientos superiores, ante el mayor riesgo de accidentes que se presupone para este tipo de intervención.

8. Cuando hay que hacer apuntalamientos y apeos de muros de carga o de pilares superiores. También cuando tiene que hacerse la eliminación de algún pilar o fragmento de muro principal. El proceso de apuntalamiento tiene que explicarse paso a paso, definiendo con precisión todas las fases secuenciales de la operación, que deberán ser escrupulosamente respetadas.

9. Cuando haya procesos de postensado que alterarán, en poco minutos, la manera de trabajar de grandes elementos, modificando el trabajo resistente de los encofrados de madera súbita y, por regla general, "levantando" la viga postensada, que tendrá tendencia a desengancharse de su encofrado, dejándolo mucho más indefenso frente a una caída rápida.

10. Cuando en una etapa de derribo de una construcción entre medianeras se pone en peligro la estabilidad de los edificios vecinos, con los que el edificio eliminado mantenía algún contacto. En situaciones como éstas, las operaciones de apuntalamiento general tendrán que decidirse y cuantificarse tras un estudio serio de la realidad de las construcciones vecinas, teniendo en cuenta la situación concreta en cada momento del derribo.

11. En cualquier etapa provisional de obra en la que deban conseguirse situaciones de equilibrio temporales claramente diferenciadas de las que tendrá en su vida definitiva.

De todas estas situaciones, la que exigiría una mayor implicación de los proyectistas es la última, ya que la seguridad de lo construido dependerá totalmente de la corrección de las medidas que se adaptan en todo el sistema de apuntalamientos y encofrados. Esta situación se da actualmente en numerosas construcciones especiales, en edificios singulares y con grandes voladizos que deberán ser apuntalados con "estructuras" provisionales que estarán en funcionamiento hasta el momento en que se incorporen a la obra los mecanismos definitivos de soporte estructural principal (tales como las grandes vigas o entramados de suspensión de los elementos definitivos). Es el caso de la estructura del edificio triangular del Fòrum de Barcelona (Herzog & De Meuron, 2002-2003) en el que tuvimos su extenso forjado interior descargando sobre la estructura de hormigón armado de la parte soterrada de la plaza hasta que acabamos la macroestructura espacial superior.



tural dins de la plaça de toros de les Arenes de Barcelona (Richard Rogers, Alonso & Balaguer, 2005-2008), on la veritable dificultat del projecte constructiu rau, precisament, en la enorme complexitat del procés d'estintolament de l'anella perimetral, que actualment sembla estar en suspensió, levantant damunt d'un refinat sistema d'apuntalament.

Els lectors podeu pensar que en edificis com els que hem comentat és lògic que es faci un projecte específic per definir amb precisió tots els mecanismes provisionals d'apuntalament i encofrat, però potser no entendreu tant com les imposicions de la vigent instrucció EHE afectaran els vostres projectes més «normals». Us plantejaré, a manera d'exemple, dues preguntes molt concretes:

— Quan construïu un edifici convencional d'habitatges o oficines, amb sis o set plantes d'alçada i amb llums de 7 m, quin criteri apliqueu per definir el nombre de plantes que heu de mantenir apuntalades per sota de la que formigoneu?

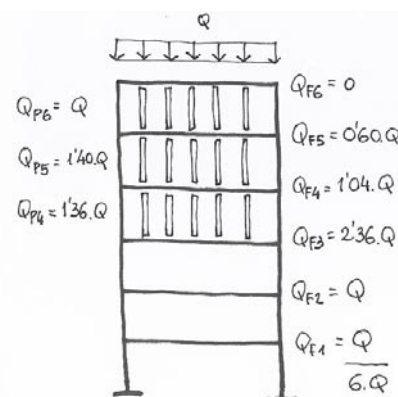
— Heu fet, en alguna ocasió similar, l'operació de descintrar un forjat al cap de pocs dies del formigonat, afluint tots els puntals de la planta, per tornar-lo a cintrar a continuació (fent entrar novament en càrrega amb la mateixa seqüència tots els puntals fluixos)?

M'imagino les respostes majoritàries. A la primera em contestareu que normalment deixeu tres plantes totalment apuntalades per sota de la que s'ha de formigonar i que si ja han transcorregut vint-i-vuit dies de la data de formigonat de la més baixa que encara està encofrada, havent donat bé les provetes, autoritzeu la retirada de l'apuntalament. A la segona pregunta em respondreu que no, que no ho heu fet mai, i fins i tot podreu mostrar-vos sorpresos per la pregunta, que no acabareu d'entendre del tot.

Analitzem aquestes respostes:

Un forjat de formigó armat com el que es proposa serà raonablement un sostre nervat reticular amb un cantell de 25 + 5 cm o de 30 + 5 cm, que té un pes propi proper als 500 kg/m². També podria ser una llosa massissa de 26 o 27 cm de gruix, que pesaria uns 650 kg/m². Les dues opcions identifiquen «estructures pesades». El conjunt de sobrecàrrecues i càrrecues permanents afegides (G) amb què s'haurien calculat els sostres de l'edifici estaria al voltant de 400 kg/m². Qui suportarà definitivament aquells 500-650 kg/m² corresponents a un formigó que encara no es pot considerar resistent? Si hi ha tres plantes apuntalades, com que tots els puntals estan certament en càrrega, cal suposar que el pes del forjat superior acabarà gravitant en gran part damunt del primer sostre desencofrat, quatre nivells més avall. Però això no és del tot cert i el problema es més greu, ja que una bona part del pes propi del penúltim forjat formigonat, i també una certa part del corresponent a l'avantpenúltim, acabaran sumant-s'hi, afegint una part del seu pes als 500-650 kg/m² corresponents estrictament al pes propi (Q) del forjat recentment formigonat.

A la fi el primer sostre no apuntalat podria acabar havent de suportar directament una càrrega total molt su-



project lies in the enormous complexity of the process of propping the outer ring, which currently looks as though it is suspended, levitating over a refined propping system.

Readers might think that in buildings such as those commented on here, it is only logical to draft a specific project in order to define in detail all the provisional propping and formwork mechanisms, but they might not understand how the impositions of current EHE guidelines will affect their more “normal” projects. I will ask them, by way of example, two quite specific questions:

- When constructing a conventional apartment or office building, with six or seven floors and spans of seven metres, what criterion do you apply to define the number of floors to be backpropped beneath the floor being concreted?

- Have you, on a similar occasion, struck falsework a few days after concreting it (loosening all the props on that floor), to then once again introduce it (reapplying the load in the same sequence to all the loosened props)?

I can imagine what most of the replies would be. My reader's answer to the first would be that he or she normally leaves three completely propped floors beneath the one to be concreted and that, if it is 28 days since the lowest backpropped slab was concreted, and it responds adequately to testing, he or she will authorise the removal of props. To the second, they will reply no, they have never done that, and will even express some surprise at the question, which they do not entirely understand.

Let us analyse these answers.

A reinforced concrete flat slab such as the one I propose might well be a waffle slab, 25+5 or 30+5 cm thick, with a weight of in the region of 500 kg/m². It could also be a 26- or 27 cm-thick solid slab, weighing about 650 kg/m². The two options represent “heavy structures”. The overall surface loads and permanent added loads (G) used to calculate the building's ceilings would be around 400 kg/m². What will definitively support the 500-650 kg/m² corresponding to a concrete that cannot yet be considered at full strength? If three floors are backpropped, since all the props are certainly bearing loads, we have to suppose that the weight of the upper slab will ultimately gravitate to a large extent above the first ceiling whose supports are removed, four levels below. But this is not entirely the case, and the problem is more serious, since much of the actual weight of the penultimate concreted slab and also a given part of the third from last will be added to it, adding part of their own weight to the 500-650 kg/m² that correspond strictly to the weight (Q) of the recently concreted slab.

In the end, the first unpropped ceiling could actually have to directly support a total load far in excess of that which was calculated (2.36.Q > Q + G). The diagram represents the transfer of loads over three propped floors, with no process of striking and replacing falsework, and is self-explanatory. This is a

Otro ejemplo, actualmente en fase de construcción, es el hotel que se está levantando en la parte final de la Diagonal (Dominique Perrault, Activitats Arquitectòniques, 2004-2007). Se trata de un interesante rascacielos de 30 plantas de altura con un gran voladizo anterior. Dicho voladizo, que empieza en la cota +26'00 lo tenemos, en estos momentos, apuntalado por unos pilares gigantes metálicos circulares, que no serán retirados hasta que la estructura metálica del voladizo tenga una altura mínima de 6 plantas, momento en que ya se considerará apta para autosostenerse. En ambos proyectos estas situaciones de apuntalamiento provisional que afectan tan directamente al proceso constructivo fueron analizadas con el mismo rigor con que lo fue la estructura principal definitiva.

Se podría hablar todavía de una nueva situación, derivada de la necesidad de edificar por debajo de un edificio –o de parte de éste– para construir diversas plantas subterráneas sin alterar la parte patrimonial superior, que debe conservarse. Es el caso de la edificación de un centro lúdico-cultural en el interior de la plaza de toros de Las Arenas de Barcelona (Richard Rogers, Alonso & Balaguer, 2005-2008), en donde la verdadera dificultad del proyecto constructivo radica, precisamente, en la enorme complejidad del proceso de apuntalamiento de la anilla perimetral, que actualmente parece estar en suspensión, levitando sobre un refinado sistema de apuntalamiento.

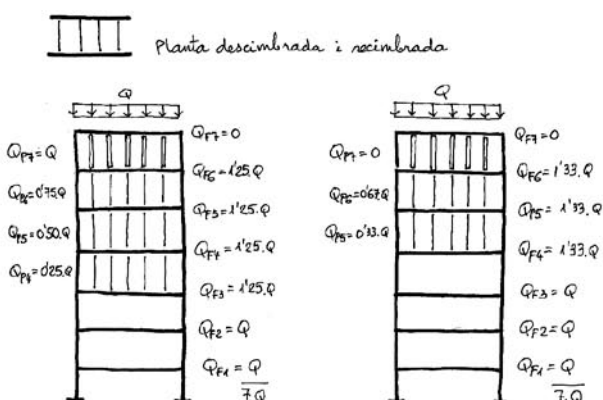
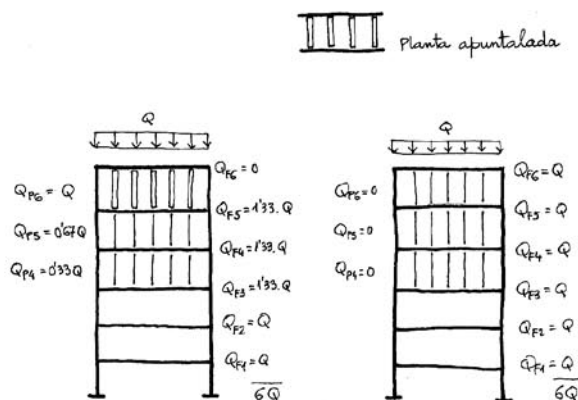
Los lectores podrán pensar que en edificios como los que se han comentado es lógico que se haga un proyecto específico para definir con precisión todos los mecanismos provisionales de apuntalamiento y encofrado, pero quizá no entiendan tanto cómo pueden afectar a sus proyectos más “normales” las imposiciones de la vigente instrucción EHE. Les plantearé, a manera de ejemplo, dos preguntas muy concretas:

- Cuando construye un edificio convencional de viviendas u oficinas, con 6 o 7 plantas de altura y con luces de 7 metros, ¿qué criterio aplica para definir el número de plantas que hay que mantener apuntaladas por debajo de la que hormigona?

- ¿Ha hecho, en alguna ocasión similar, la operación de descimbrar un forjado a los pocos días de su hormigonado, aflojando todos los puntales de la planta, para volver a cimbrar a continuación haciendo entrar nuevamente en carga con la misma secuencia todos los puntales flojos?

Me imagino las respuestas mayoritarias. A la primera se me contestará que normalmente se dejan tres plantas totalmente apuntaladas por debajo de la que hay que hormigonar y que, si ya han transcurrido 28 días desde la fecha de hormigonado de la más baja que todavía queda encofrada, habiendo dado bien las probetas, autoriza la retirada de su apuntalamiento. A la segunda pregunta se me responderá que no, que no se ha hecho nunca, e incluso habrá quien se pueda mostrar sorprendido por la pregunta, que no acabará de entender del todo.

Analicemos estas respuestas:



perior a aquella amb què va ser calculat ($2,36.Q > Q + G$). L'esquema adjunt, corresponent a un esquema de transferència de càrrecues a través de tres plantes apuntalades, sense haver sofert cap procés de descintrat i recintrat, és bastant explicatiu. El problema és important i pot posar en perill el bon comportament posterior de l'estructura.

Són moltes les ocasions en què els projectistes troben inexplicables determinades fissures i deformacions en sostres reticulars construïts amb criteris de cintrat com els que hem analitzat. I en canvi tot pot ser més fàcilment interpretable amb el raonament anterior.

Des de fa uns anys s'estan estudiant detingudament aquests comportaments d'acumulació de pesos propis a través dels apuntalaments. Els diferents articles i textos del professor José Calavera a les publicacions d'Intemac han estat pioners al nostre país i constitueixen la referència més accessible sobre el tema per al projectista habitual. També a la Universitat Politècnica de València l'equip del professor J. J. Moragues ha desenvolupat abastament aquesta qüestió i actualment col·labora amb una important empresa de sistemes d'encofrat per poder oferir sistemes senzills d'anàlisi de l'apuntament que facilitin al dissenyador una entrada còmoda en l'estudi del problema.

A manera d'exemple mostrem ara un fragment d'una seqüència d'entrada en càrrega de l'estructura d'un edifici de diverses plantes en què s'ha adoptat l'opció de descintrar i recintrar les plantes inferiors a mesura que l'estructura va pujant. El primer esquema correspon a l'instant en què s'ha acabat de vessar el formigó del sisè forjat. El nivell inferior està, lògicament, apuntalat. Es continuen preparant els apuntalaments, encofrats i armats de la planta superior, de manera que quan hi hagi provetes fiables que garanteixin que el formigó vessat ja ha assolit una resistència raonable i un acceptable mòdul d'elasticitat (cosa que en situacions climatològiques normals sol ocórrer aproximadament als sis dies) ja es pugui descintrar la 6a planta (esquema 2) per, immediatament, procedir al vessament del formigó del forjat següent (esquema 3). Quan el formigó del quart forjat ja haurà assolit la seva resistència (normalment als vint-i-vuit dies), ja es podrà retirar l'apuntament inferior (esquema 4), moment en què el sostre incrementarà la seva càrrega provisional des de 1,25.Q fins a 1,33.Q com a conseqüència d'haver perdut la col·laboració del tercer forjat.

Aquí es pot observar que el sostre més carregat ara no més ha de suportar un 33% més que el seu propi pes, cosa que és perfectament assumible per l'estructura (el 33% es convertiria en un 50% si en comptes de treballar amb tres o quatre plantes apuntalades es treballés amb dues o tres).

No hi ha concordança total entre els diferents analistes que han estudiat aquest tema, ja que són molts els factors que hi intervenen. La temperatura i la humitat ambiental, el tipus de formigó, la rigidesa dels punts, la grandària en planta dels capitells, la presència d'elements lineals rígids, la sistemàtica de la manera de fer els descintrats i

big problem and one that could compromise the correct subsequent functioning of the structure.

Planners often find inexplicable fissures and deflections in waffle slabs built according to falsework criteria like those analysed. Yet this is much more understandable in the light of the above reasoning.

For some time now, detailed studies have been under way of the conduct of accumulated weight in the event of backpropping. The various articles and texts by Professor José Calavera in the INTEMAC publications are pioneering in our country and are the most accessible reference on the subject for regular planners. Then the team of Professor J.J. Moragues at the Universitat Politècnica de València has developed this question at great length and is currently working with a foremost formwork company to offer simple propping analysis systems with a view to introducing the designer to a study of the problem.

By way of example, I will now show part of a load-bearing sequence of the structure of a building of several floors, adopting the system of removing and replacing falsework on the lower floors as the structure rises. The first diagram corresponds to the moment when the concrete is placed on the sixth floor slab. The lowest level is, logically, propped. The next stage is to prepare the props, formwork and reinforcements on the top floor, so that when there is reliable proof that the concrete has acquired a reasonable strength and acceptable elasticity (in normal climatological situations, approximately six days), the falsework on the sixth floor can be removed (diagram 2) before proceeding immediately to place the concrete on the next flat slab (diagram 3). When the concrete of the fourth floor slab has reached its full strength (normally 28 days), the lower props can be removed (diagram 4), at which point the ceiling increases its provisional load of 1.25.Q to 1.33.Q, as a result of losing the collaboration of the third floor slab.

Here we see how the ceiling bearing the greatest load now has to support just 33% more than its actual weight, which is perfectly feasible for the structure (the 33% would become 50% if instead of working with three or four backpropped floors we were dealing with two or three).

There is no total concordance between the various analysts who have studied this issue, as there are many intervening factors. Temperature and ambient humidity, type of concrete, the rigidity of the props, the size of the section of the capitals, the presence of more rigid linear elements, the system of striking and fitting falsework, the presence or absence of provisional supporting props, the consideration of given surface loads, etc., are some of the aspects that may cause variations in the coefficients and conditions affecting the different operations. There are also opinions less favourable to the repropping sys-

Un forjado de hormigón armado como el que se propone será razonablemente un techo nervado reticular con un canto de 25+5 o de 30+5 cm, que tiene un peso propio cercano a los 500 kg/m². También podría ser una losa maciza de 26 o 27 cm de grueso, que pesaría unos 650 kg/m². Ambas opciones identifican "estructuras pesadas". El conjunto de sobrecargas y cargas permanentes añadidas (G) con que se habrían calculado los techos del edificio estaría alrededor de los 400 kg/m². ¿Quién soportará definitivamente aquellos 500-650 kg/m² correspondientes a un hormigón que todavía no puede considerarse resistente? Si se tienen tres plantas apuntaladas, como todos los puntales están ciertamente en carga, hay que suponer que el peso del forjado superior acabará gravitando en parte sobre el primer techo desencofrado, cuatro niveles más abajo. Pero eso no es del todo cierto, y el problema es más grave, ya que una buena parte del peso del penúltimo forjado hormigonado y también una cierta parte del correspondiente al antepenúltimo, acabarán sumándose a él, añadiendo una parte de su propio peso a los 500-650 kg/m² correspondientes estrictamente al peso propio (Q) del forjado recientemente hormigonado.

Finalmente el primer techo no apuntalado podría acabar teniendo que soportar directamente una carga muy superior a aquella con la que se había calculado ($2,36.Q > Q + G$). El esquema adjunto, correspondiente a un esquema de transferencia de cargas a través de tres plantas apuntaladas, sin haber sufrido ningún proceso de descimbrado y recimbrado, es bastante explicativo. El problema es importante y puede poner en peligro el buen comportamiento posterior de la estructura.

En muchas ocasiones los proyectistas encuentran inexplicables determinadas fisuras y deformaciones en techos reticulares construidos con criterios de cimbrado como los que se han analizado. Y en cambio todo puede ser más fácilmente interpretable con el razonamiento anterior.

Ya desde hace unos años se vienen estudiando detenidamente estos comportamientos de acumulación de pesos propios a través de los apuntalamientos. Los diferentes artículos y textos del profesor José Calavera en las publicaciones de Intemac han sido pioneros en nuestro país y constituyen la referencia más accesible al respecto para el proyectista habitual. También en la Universidad Politècnica de Valencia el equipo del profesor J. J. Moragues ha desarrollado a fondo esta cuestión y actualmente está colaborando con una importante empresa de sistemas de encofrado para poder ofrecer sistemas sencillos de análisis del apuntalamiento que le faciliten al diseñador una cómoda entrada en el estudio del problema.

A manera de ejemplo se muestra ahora un fragmento de una secuencia de entrada en carga de la estructura de un edificio de varias plantas, en las que se ha adoptado la opción de descimbrar y recimbrar las plantas inferiores a medida que la estructura va subiendo. El primer esquema corresponde al instante en que se ha acabado de verter el



recintrats, la presència —o no— de puntals de suport provisionals, la consideració de determinades sobrecàrrecues de construcció, etc., són alguns dels aspectes que poden fer variar els coeficients i les condicions amb què s'han de practicar les diferents operacions. També hi ha opinions menys favorables al sistema de reapuntament perquè necessita uns sis dies, com a mínim, per poder passar al descintrat, mentre que amb un sistema més convencional de cintrats successius amb retirada parcial i selectiva de taulers i puntals adequat es pot alliberar bona part del material d'apuntament en un temps menor, d'uns tres o quatre dies.

Com el lector pot observar, les opcions són nombroses, ja que el problema pot ser molt complex. Aquest article no pretén donar fórmules immediates per resoldre'l. Cada projecte és un cas particular que caldrà analitzar, i serà convenient començar a assentar la conveniència de realitzar un bon projecte que prevegi totes les etapes provisionals de la construcció, amb totes les situacions temporals i no definitives que se'n derivin. ♦

Robert Brufau i Niubó

BIBLIOGRAFIA

CALAVERA RUIZ, José. *Cálculo, construcción y patología de forjados de edificación*. Publicaciones Intemac, 1888.

CALAVERA RUIZ, José. «Situaciones críticas en el proceso de cimbrado de plantas consecutivas de estructuras de edificación». Primer Congreso de Patología de la Edificación. Barcelona: 1985.

CALAVERA RUIZ, José; Fernández Gómez, Jaime. «Criterios para el descimbrado de estructuras de hormigón». Cuadernos de Intemac núm. 3 (1991).

Fang, Dong-Ping; Geng, Chuan-Dong; Zhu; Hong-Yi; Liu, Xi-La. «Floor load distribution in reinforced concrete buildings during construction». ACI Structural Journal núm. 98, S14.

GARDNER, N. J.; POON, S. M. «Time and temperatura effects on tensile, bond and compressive strengths». ACI Journal (juliol 1976).

MORAGUES, Juan José; CALDERÓN, Pedro. «Estudio técnico de desencofrado». Quaderns d'estructures de l'ACE núm. 17 (2005).

tem, since it needs in the region of 6 days at least to be able to proceed to removing the falsework, whereas a suitable and more conventional system of successive implementation of falsework with the partial, selective removal of boards and props can free up a lot of the propping material in a short period of time, in the order of three or four days.

As the reader can see, there are many options, since this can be a complex problem. This article does not pretend to provide immediate formulas to solve it. Each project is a particular case that has to be analysed and, in this respect, it is advisable to start promoting the advisability of producing a good project that envisages all the provisional phases of construction, with all the temporary, non-definitive situations produced by it. ♦

Robert Brufau i Niubó

Translated by Elaine Fradley

hormigón del sexto forjado. El nivel inferior está, lógicamente, apuntalado. Se continúan preparando los apuntalamientos, encofrados y armados de la planta superior, de manera que cuando se disponga de probetas fiables que garanticen que el hormigón vertido ya ha conseguido una resistencia razonable y un aceptable módulo de elasticidad (lo que en situaciones climatológicas normales suele ocurrir aproximadamente a los seis días) ya se pueda descimbrar la sexta planta (esquema 2) para, inmediatamente, proceder al vertido del hormigón del forjado siguiente (esquema 3). Cuando el hormigón del cuarto forjado haya adquirido su verdadera resistencia (normalmente a los 28 días) ya se podrá retirar el apuntalamiento inferior (esquema 4), momento en que el techo incrementaría su carga provisional de 1'25.Q hasta 1'33.Q, como consecuencia de haber perdido la colaboración del tercer forjado.

Aquí puede observarse cómo el techo más cargado tiene que soportar ahora sólo un 33% más que su propio peso, lo que es perfectamente asumible para la estructura (el 33% se convertiría en un 50% si en lugar de trabajar con 3-4 plantas apuntaladas se trabajase con 2-3).

No se da una concordancia total entre los diferentes analistas que han estudiado este tema, ya que los factores que intervienen son muchos. La temperatura y la humedad ambiental, el tipo de hormigón, la rigidez de los puntales, la extensión en planta de los capiteles, la presencia de elementos lineales más rígidos, la sistemática del modo de hacer los descimbrados y recimbrados, la presencia —o no— de puntales de soporte provisionales, la consideración de determinadas sobrecargas de construcción, etc., son algunos de los aspectos que pueden hacer variar los coeficientes y las condiciones con los que hay que practicar las diferentes operaciones. También se dan opiniones menos favorables al sistema de reapuntamiento, al precisar éste unos seis días como mínimo para poder proceder al descimbrado, mientras que con un sistema adecuado más convencional de cimbrados sucesivos con retirada parcial y selectiva de tableros y puntales se puede liberar una buena parte del material de apuntalamiento en un tiempo menor, del orden de 3 o 4 días.

Como el lector puede observar, las opciones son numerosas, ya que el problema puede ser muy complejo. Este artículo no pretende dar fórmulas inmediatas para resolverlo. Cada proyecto es un caso particular que habrá que analizar, y al respecto será conveniente empezar a asentar la conveniencia de realizar un buen proyecto que contemple todas las etapas provisionales de la construcción, con todas las situaciones temporales y no definitivas que se deriven. ♦

Robert Brufau i Niubó

Traducido por Kico Reyes