



INAUGURACIÓ DEL VIVER D'EMPRESSES
I L'AUDITORI JOAN M. GELADA
AL CECAM DE CELRÀ

EFFECTES DEL FOC SOBRE EL FORMIGÓ ARMAT

CECAM ASSOLEIX LA CERTIFICACIÓ
ISO 14001 DE GESTIÓ MEDIAMBIENTAL

OBTENIR LA L·LICÈNCIA D'ACTIVITATS...
ÚLTIMA OPORTUNITAT!

EDITORIAL

En aquest número voldríem destacar, entre d'altres articles, el que descriu l'acte molt emotiu, en què es va atorgar al nostre Auditori de les instal·lacions de Celrà el nom del company Joan M. Gelada, membre fins al seu traspàs del Consell d'Administració de Cecam.

I també el que fa referència a la inauguració del Viver d'Empreses que neix del conveni signat entre el CECAM, el Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Girona, l'Ajuntament de Celrà i el Parc Científic i Tecnològic de la Universitat de Girona.

Tots dos actes van ser molt emotius, l'un pel record del company Joan M. Gelada, que va impulsar l'inici d'aquest Centre, ara fa 29 anys, com una aposta per la qualitat en el món de la construcció i en un temps en què això era tabú i que la iniciativa privada descuidava.

I l'altre acte va ser la nova aposta de futur, la inauguració del Viver d'Empreses, com a branca o ramificació del Parc Científic Tecnològic de la UdG, que té com a objectiu donar un servei a la societat consistent a ajudar a crear empreses a joves emprenedors per tal que aquests vegin realitzats els seus objectius, i a la vegada, potenciar la recerca i la innovació bàsicament en els sectors de la construcció i el medi ambient.

Aquests dos actes van ser presidits pels Srs. Joaquim Nadal, conseller de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya; Francesc Camps, alcalde de Celrà; Joan Batlle, rector de la UdG que hi assistia també com a president del Parc Científic i Tecnològic, i la Sra. Pia Bosch, delegada del Govern, entre moltes altres autoritats i representants del món empresarial. Aquest fet ens omple de joia i ens segueix animant a continuar aquest esperit de col·laboració entre el nostre Centre, les administracions, el món empresarial i la universitat.

Hem de comunicar també que ja hem tingut les primeres sol·licituds de joves emprenedors per ocupar el Viver i que ja són tres les propostes seleccionades, que compleixen els requisits que es demanen i que properament iniciaran la seva activitat.

Dins els molts objectius que tenim al CECAM, és bo esmentar que la nostra empresa ha assolit la certificació ISO 14001 en gestió ambiental en totes les nostres instal·lacions que tenim a Celrà, Lloret de Mar, Olot i Vilamallà. Aquest és un repte que teníem i que amplia el compromís i aposta pel control i la millora del medi ambient del nostre país; per això hi dediquem un article.

Altres articles d'aquesta revista tracten temes que estan i han estat de molta actualitat, com són:

- L'ús de tuneladores a les grans obres civils a Catalunya, on es dona la visió de com són i com treballen.
- Els efectes del foc sobre el formigó armat, perquè per desgràcia els sinistres d'aquest tipus són freqüents. És per això que l'article ens parla de diversos punts a tenir en compte.
- Verificació de patologies detectades en l'assaig sònic d'integritat estructural dels pilots.
- El segell CE i d'altres articles que no esmentem, però que, en llegir-los, veurem que són de molta qualitat i que ens ofereixen punts de vista molt interessants.

Finalment, desitjo i es gairebé segur que en la propera editorial parlarem de l'esperat Codi Tècnic de l'Edificació, perquè ja haurà estat publicat en el BOE. Si no és així, no cal desesperar, ja que estem molt acostumats a les esperes. La LOE (Llei d'Ordenació per l'Edificació, per no confondre amb d'altres LOE) va trigar més de 13 anys a sortir, respecte a aquell únic any que indicava la Llei 12/1986. La Llei 38/1999 deia que el Codi Tècnic de l'Edificació es publicaria al cap de dos anys d'entrar en vigència; ara portem més de tres anys de retard, no calen comentaris...

Us desitgem un bon any nou!

MIQUEL MATAS I NOGUERA
President del Consell d'Administració del CECAM

Edita: CECAM

Assessorament lingüístic: Jordi Vilamiñana

Traducció al castellà: Marc Barrobés

Coordinació i disseny: Masgrau-Yani, SL

Impressió: Norprint

Dipòsit legal: GI-1549/2002



- 2 EDITORIAL
- 4 INAUGURACIÓ DEL VIVER D'EMPRESES I L'AUDITORI JOAN M. GELADA AL CECAM DE CELRÀ
- 6 ELS EFECTES DEL FOC SOBRE EL FORMIGÓ ARMAT
- 11 LES OBRES SUBTERRÀNIES, PROCEDIMENTS DE CONSTRUCCIÓ. L'ÚS DE TUNELADORES A LES GRANS OBRES CIVILS DE CATALUNYA
- 17 APROFITAMENT RESISTENT DELS MATERIALS I LIMITACIONS ACTUALS: "MECÀNICA DE FRACTURA"
- 20 CASUÍSTIQUES EN L'ASSAIG SÒNIC D'INTEGRITAT ESTRUCTURAL DE PILOTS
- 26 L'ESTUDI GEOTÈCNIC I LA DIRECCIÓ DE L'EXECUCIÓ MATERIAL
- 30 LA DIRECTIVA DE PRODUCTES DE LA CONSTRUCCIÓ I LA MARCA CE
- 33 CECAM ASOLEIX LA CERTIFICACIÓ ISO 14001 DE GESTIÓ MEDIAMBIENTAL
- 34 OBTENIR LA L·LICÈNCIA D'ACTIVITATS... ÚLTIMA OPORTUNITAT!
- 36 TRADUCCIÓ AL CASTELLÀ

INAUGURACIÓ DEL VIVER D'EMPRESES I L'AUDITORI JOAN M. GELADA AL CECAM DE CELRÀ

El dia 13 de juny d'enguany, vàrem inaugurar, a les instal·lacions del CECAM de Celrà, el Viver d'Empreses i l'Auditori.



Descoberta de la placa de l'Auditori per part del Sr. Xavier Gelada.

L'Auditori es va dedicar a la memòria del nostre company i amic Joan M. Gelada, malauradament desaparegut ara fa un any, expresident del Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Girona, exregidor d'urbanisme i tinent d'alcalde de l'Ajuntament de Girona, que ara participava activament en la nostra empresa com a conseller delegat.

El viver d'empreses és una realitat que ha estat possible gràcies a la col·laboració de tres institucions: la Universitat de Girona, l'Ajuntament de Celrà i el Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Girona, amb la implicació afegida del CECAM.

L'acte va començar en descobrir la placa que dona el nom de Joan M. Gelada a l'Auditori, per part del seu fill, l'arquitecte tècnic Xavier Gelada, en presència de les autoritats i assistents a l'acte. A continuació, a l'auditori, les autoritats assistents a l'acte, el Sr. Miquel Matas, president del Consell d'Administració del CECAM; el Sr. Ernest Oliveras, president del Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Girona; el Sr. Francesc Camps, alcalde de Celrà; el Sr. Joan Batlle, rector de la UdG, i el Sr. Joaquim Nadal, conseller de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya i portaveu del Govern, van fer els seus respectius parlaments per explicar els orígens del CECAM i la seva evolució fins arribar al seu estat actual, els motius que han mogut les tres institucions per crear el Viver d'Empreses de Celrà, que a la vegada forma part del Parc Tecnològic de la UdG, el problema de les deslocalitzacions d'empreses, i glossar la tasca que al llarg de la seva vida va dur a terme el nostre company Joan M. Gelada tant en el seu vessant de president del Col·legi, etapa en què va fundar el primer laboratori d'assaig



L'Hble. Sr. Joaquim Nadal, dirigint unes paraules als assistents.



Vista general de l'Auditori.



de les comarques gironines, que és l'origen de l'actual CECAM, com la de regidor d'Urbanisme i de la via pública de l'Ajuntament de Girona, com la de professor de la UdG. El Sr. conseller va tenir paraules d'elogi tant per al company Joan M. Gelada com per al Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Girona.

Aquest emotiu i entranyable acte es va cloure fent una visita al Viver d'Empreses.

Volem fer arribar el nostre agraïment a les diferents personalitats i càrrecs significatius de les nostres comarques i a tots els que ens varen acompanyar, entre ells la delegada del Govern a Girona, la Sra. Pia Bosch; l'alcalde de Girona, la Sra. Anna Pagans; el sotsdelegat del Govern Central, Sr. Francesc Francisco Busquets, i el coordinador dels serveis tècnics d'Agricultura, Ramaderia i Pesca, Sr. Josep Guix.



Un moment de la visita a l'Àrea de Geotècnia del CECAM.

EL VIVER D'EMPRESES

El Viver d'Empreses és un espai on s'han habilitat una sèrie de despatxos completament equipats, amb mobiliari i equipament informàtic, a disposició dels joves emprenedors que vulguin crear una empresa en els àmbits de la construcció i del medi ambient, encara que també es poden acceptar altres camps.



Vista d'un dels despatxos totalment equipats.

Cal presentar un projecte empresarial a la Fundació del Parc Científic i Tecnològic de la Universitat de Girona. En la comissió encarregada d'escollir els projectes hi estan representats la UdG, l'Ajuntament de Celrà, el CECAM, el Parc Científic i Tecnològic de la UdG i el Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Girona.

Els despatxos es posaran a disposició dels joves emprenedors a qui la comissió els hagi acceptat el projecte empresarial, de forma gratuïta els primers 3 mesos de l'activitat, i a un lloguer de 5 €/m² durant el primer any i de 8 €/m² durant el segon exercici.

Poden presentar projectes per a la seva avaluació els titulats o estudiants universitaris que vulguin crear una empresa en els àmbits de la construcció i del medi ambient. Podeu trobar la convocatòria i els requisits per presentar el projecte a la plana web del Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Girona, www.aparellador.org

ELS EFECTES DEL FOC SOBRE EL FORMIGÓ ARMAT

El passat incendi de la Torre Windsor a Madrid va tornar a posar d'actualitat el debat sobre quines són les estructures que tenen millor comportament davant el foc i sobre quines mesures de protecció contra incendis cal adoptar. La conclusió, segons la majoria d'experts, és que no hi ha un material millor o pitjor per si mateix sinó que es tracta de la resposta de l'edifici en conjunt, i que hi ha tres punts d'especial incidència: la detecció, l'evacuació i la reducció de l'impacte del foc en l'edifici. Aquests estudis de l'edifici en conjunt s'anomenen ISAI (ingeniería de seguridad ante incendio) i es basen en uns models de càlcul complexos.

Un cop declarat un incendi, la seva gravetat recau en dos aspectes; per una banda, en els gasos tòxics que es generen i que afecten les persones i, per altra banda, en la calor que s'assoleix i que afecta l'estructura. En aquest article ens centrarem en els canvis que produeixen les elevades temperatures en el formigó armat.

COMPORTAMENT ESTRUCTURAL DAVANT EL FOC DE LES ESTRUCTURES DE FORMIGÓ ARMAT

La resposta d'una estructura de formigó davant un foc és complexa perquè es tracta d'un material mixt (formigó i acer) que a partir dels 200°C cada un d'ells té un comportament diferent. Analitzarem primer el comportament de cada material per separat i després el del conjunt.

El formigó

La conductivitat tèrmica del formigó és baixa i, per tant, la penetració de la calor a l'interior de la peça es pot considerar lenta. Tot i això, depenent de la geometria de la peça i de les característiques del formigó (tipus d'àrid, porositat, etc.), la velocitat de propagació pot variar. No és el mateix un element de secció quadrada que un de circular, ni un àrid silícic d'un de calcari que té un coeficient de conductivitat més baix. A mode d'exemple, en un dels casos més habituals com són els pilars de secció quadrada, les cantonades són les zones més dèbils davant d'un incendi ja que la calor hi incideix per

dos costats i a més normalment és en aquestes zones on el formigó es troba menys compactat.

La pèrdua de resistència del formigó amb l'augment de la temperatura ve grafada en la fig. 1 extreta de l'eurocodi 2 part 1-2, on s'observa que per a temperatures inferiors a 100°C no hi ha una pèrdua de resistència significativa. Pel rang de temperatures compreses entre els 100 i els 400°C hi ha una pèrdua de resistència a compressió progressiva fins arribar al 80% de la resistència inicial, i la pèrdua més acusada de resistència es produeix a partir dels 400°C, arribant al 50% de la resistència inicial en temperatures pròximes als 600°C i a la destrucció del formigó al voltant dels 900°C.

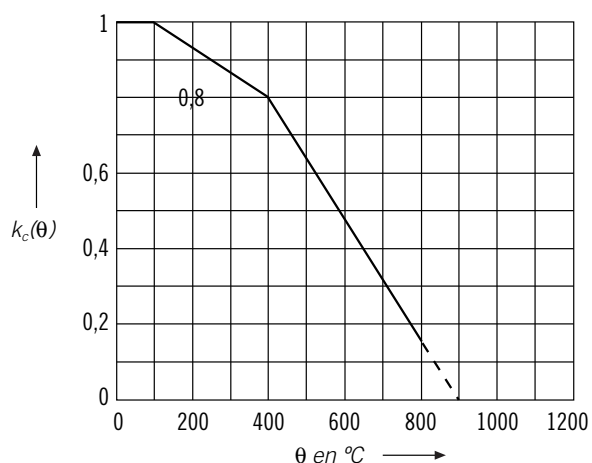


Fig. 1: Coeficient $k_c(\theta)$ de disminució de la resistència característica a compressió (f_{ck}) del formigó d'àrids silícis a altes temperatures.

Aquesta pèrdua de resistència causada per les altes temperatures va acompanyada d'una transformació de l'aspecte extern del formigó que es pot apreciar amb una inspecció ocular.





0-100°C. Pràcticament no hi ha pèrdua de resistència a compressió i l'element presenta un color negre (emmascarat).

Fotografia 1



100-300°C. Es comencen a marcar les primeres fisures, principalment en la zona dels estreps, i el formigó adquireix un color gris clar; l'aigua de composició surt a fora, s'arrossega la portlandita i es crea una capa externa de calç. Les pèrdues de resistència a compressió oscil·len al voltant del 15%.

Fotografies 2 i 3



300-600°C. El formigó adquireix una tonalitat rosa, per l'alteració dels compostos de ferro. Les pèrdues de resistència a compressió oscil·len al voltant del 50%.

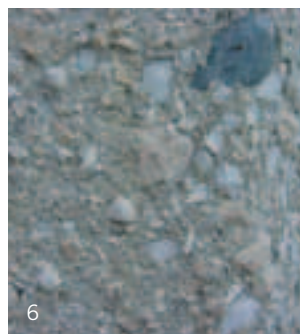
Fotografies 4 i 5



600-900°C. El formigó adquireix una segona tonalitat de color gris clar amb partícules vermelles que indiquen una alta succió d'aigua. A partir dels 600°C es pot considerar que el formigó no té resistència residual.

Fotografia 6

> 900°C- Es produeix la



destrucció total del conglomerant, el formigó adquireix un color blanc/groc i es torna tou.

L'acer

A l'hora d'analitzar el comportament de l'acer sotmès a elevades temperatures cal diferenciar primer de tot si es tracta de barres d'armar o d'acer pretensat. Tal i com es pot observar en les figures 2 i 3 de l'Eurocodi 2 part 1-2 la pèrdua de resistència de l'acer és molt major en acer de pretensar que en acer d'armar. A tall d'exemple podem dir que a una pèrdua de resistència del 50% en l'armat s'hi arriba amb temperatures pròximes als 500-600°C, mentre que en el pretensat s'hi arriba amb temperatures de 400°C.

Aquest fet és especialment important si tenim en compte que la majoria d'acer pretensat utilitzat en edificis es localitza en biguetes de forjat, elements especialment sensibles a l'efecte de les altes temperatures pel poc recobriment que acostumen a tenir.

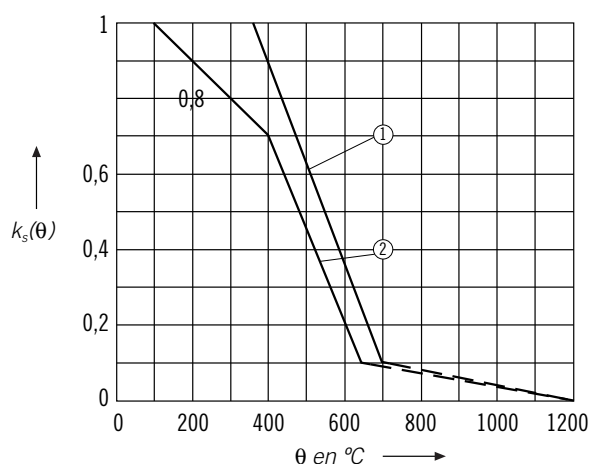


Fig. 2: Coeficient $k_s(\theta)$ de disminució de la resistència característica a compressió (f_{yk}) d'acer d'armar a altes temperatures.
 Corba 1: $k_s(\theta)$ aplicable per elongacions $\epsilon_{s,fi} \geq 2.0\%$
 Corba 2: $k_s(\theta)$ aplicable per elongacions $\epsilon_{s,fi} < 2.0\%$

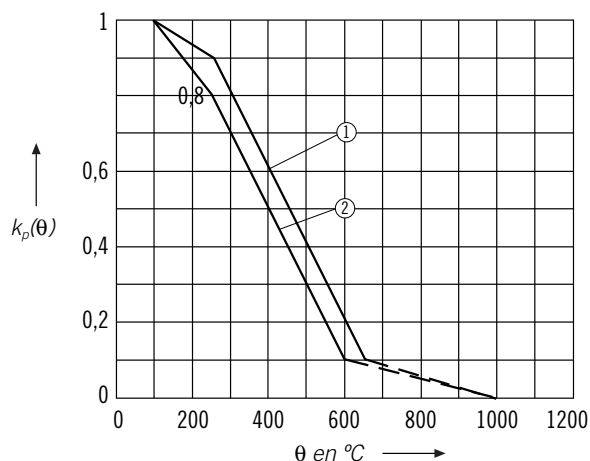


Fig. 3: Coeficient $k_s(\theta)$ de disminució de la resistència característica (f_{yk}) d'acer de pretensar a altes temperatures.

Corba 1: barres

Corba 2: filferros i cordons

L'acer, en refredar-se, recupera part de la seva capacitat inicial. Es considera que per a temperatures inferiors a 500°C pràcticament pot recuperar el 100% de la seva capacitat, excepte els acers deformatos en fred (utilitzats entre els anys 1960 i 1975) i els acers de pretensar que tenen comportaments diferents.

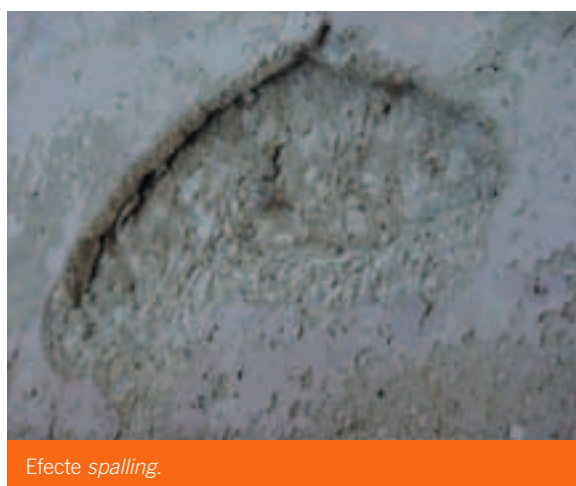
El formigó armat

El principal problema que afecta una estructura de formigó armat exposada a temperatures elevades és la pèrdua d'adherència que es produeix entre l'acer i el formigó. Tot i tenir un coeficient de dilatació semblant, l'acer és molt més bon conductor i pot aconseguir elevades temperatures en zones on fins i tot el formigó es troba relativament fred. En agafar més temperatura, es dilata i es produeixen unes tensions importants en el perímetre de la barra (zona d'unió del formigó-acer) amb la consegüent fissuració del formigó i la pèrdua d'adherència entre els dos materials. Aquesta pèrdua és major després de l'incendi, quan es refreda el material i s'originen nous moviments que arriben, en molts casos, al despreniment del formigó de recobriment.



Despreniment del formigó de recobriment.

Una altra conseqüència important és la pèrdua de durabilitat de l'element, ja que s'augmenta la fissuració, es redueixen els recobriments en evaporar-se de forma brusca l'aigua continguda en els porus, cosa que provoca unes tensions importants que originen el despreniment explosiu de part del formigó (efecte *spalling*) i, a més, el formigó pateix un procés de carbonatació que provoca l'augment de la profunditat del front de carbonatació.



Efecte *spalling*.



SISTEMES D'AVALUACIÓ D'UNA ESTRUCTURA AFECTADA PEL FOC

Per a la correcta avaluació d'una estructura afectada pel foc cal combinar la informació que es pot obtenir amb assaigs de laboratori amb una acurada inspecció visual.

S'inicia l'avaluació amb una inspecció ocular per, basant-se en l'aspecte que presenten els diferents elements, estat en què es troben els materials confrontants i la informació que poden facilitar els agents implicats (propietaris, bombers, veïns...) de les característiques de l'incendi (origen, evolució, distribució de les càrregues de foc, etc.) realitzar una primera classificació dels elements segons el seu grau d'afectació.

El següent pas és determinar per a cada grau d'afectació la capacitat residual del formigó que, comparant-la amb la d'un element del mateix edifici que no hagi estat afectat, ens permetrà fer-nos una idea aproximada de les temperatures que s'han assolit en la zona. També és d'utilitat l'observació dels altres materials pròxims a l'element de formigó armat ja que el seu estat (fos, deformat o no afectat) ajudarà a conèixer les temperatures assolides.

PUNTS DE FUSIÓ	
Material	°C
Acer estructural	1900
Níquel	1453
Acer inoxidable	1450
Coure	1083
Llautó	904/990
Alumini	660
Zenc	419
Plom	327
Vidre	1500
Plàstics (punt de reblaniment)	80/295

La determinació de la capacitat residual del formigó es realitza mitjançant un estudi per ultrasons. Aquesta tècnica es considera la més fiable per a aquest tipus d'estudi per dos motius principals:

- En tractar-se d'un assaig no destructiu es pot realitzar en la totalitat dels elements afectats i en diversos punts en cada element en funció de la distribució del foc.
- Hi ha una coincidència entre la temperatura en què es produeix la pèrdua d'adherència formigó-acer i la caiguda residual de la velocitat de propagació de les ones. Pàrmetre molt important a l'hora d'avaluar l'estructura.

L'estudi per ultrasons es completa amb l'extracció de testimonis en punts on s'hagin obtingut valors de propagació característics per determinar la resistència real del formigó en aquest punt. El testimoni que s'extreu també permet determinar fàcilment el front de carbonatació aplicant-hi una dissolució de fenolftaleïna al 1%.

Si en aquesta primera fase es considera la viabilitat de l'element cal realitzar un assaig complementari per garantir el correcte comportament de l'element en conjunt. Els assaigs que es realitzen amb més freqüència són les proves de càrrega o la ruptura d'un element a laboratori.

Aspectes a tenir en compte en la inspecció de pilars

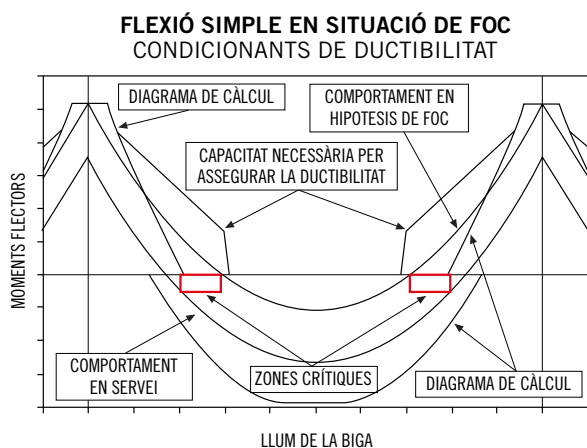
- La calor té tendència a pujar, per tant, la part més afectada sol ser la part superior del pilar on les temperatures que s'assoleixen són majors.
- Els pilars centrals solen quedar més afectats ja que no disposen de tancaments en algun dels seus laterals que els pugui protegir.
- Com més gran sigui la quantia d'acer del pilar més sensible és a l'efecte del foc.
- Cal anar amb compte amb pilars sotmesos a excentricitats ja que el deteriorament més acusat de les cantonades pot provocar que la pèrdua de la capacitat a flexió sigui superior que a compressió. Es pot donar el cas que pilars que sotmesos a compressió centrada quedarien pel costat de la seguretat sotmesos a petites excentricitats quedin pel de la inseguretat.

Aspectes a tenir en compte en la inspecció de forjats

- Les bigues de cantell queden més afectades que les planes ja que tenen més superfície exposada.
- Les biguetes són l'element que queda més afectat degut al petit diàmetre de les barres i als recobriments menors.
- En biguetes armades la ruptura es produeix després de l'incendi, al refredar-se l'armadura i al perdre l'adherència amb el formigó.
- En biguetes pretensades al escalfar-se dilaten i perden el pretensat colapsant durant l'incendi.
- Cal inspeccionar sempre la cara superior d'un forjat que ha patit un incendi en el pis inferior, tot i que pugui semblar que no es troba afectat. Al escalfar-se més la part inferior, els materials dilaten més en aquesta zona, augmentant l'aparença de fletxa, aquests canvis provoquen un augment de moments negatius fent que el punt de tallant màxim es desplaci cap el centre de l'element generant-se unes tensions en la cara superior on la armadura pot ser insuficient per absorbir-les.

BIBLIOGRAFIA

- *Eurocodi 2. Projectes d'estructures de formigó. Part 1-2 Regles generals projecte d'estructures davant el foc.*
- *Càlcul d'estructures de formigó davant el foc. Cuadernos Intemac núm 23.*
- *Problemas, dudas y soluciones durante el proyecto y ejecución de la edificación. Manuel Muñoz Hidalgo.*
- *Protección al fuego. Revista Constructiva núm 26.*
- *Propietats dels materials i elements de construcció. Ramon Sastre Sastre.*



GEMMA SOLER PUJOL
Arquitecta Tècnica
Gabinet Tècnic de CECAM



LES OBRES SUBTERRÀNIES, PROCEDIMENTS DE CONSTRUCCIÓ. L'ÚS DE TUNELADORES A LES GRANS OBRES CIVILS DE CATALUNYA

1. INTRODUCCIÓ

Arran del desastre produït el 27 de gener d'aquest any en enfonsar-se la cua de maniobres dins dels treballs d'ampliació de la Línia 5 de metro, al barri del Carmel a Barcelona, les obres subterrànies executades en entorn urbà arreu del món es troben en fase de revisió. Els projectes i els procediments constructius s'estan revisant i modificant per evitar que un desastre com aquest es torni a produir.

Tots recordem la batussa política que es va generar i el desastre social que per als veïns suposà aquest malaurat accident. Després de l'accident, van aparèixer als mitjans de comunicació nombroses afirmacions "tècniques", moltes d'elles sense gaire criteri d'enginyeria, dels diferents mecanismes d'excavació emprats a l'enginyeria civil; sobre quins eren més segurs. Recordem que es va arribar a prohibir a Catalunya el nou mètode austríac (NATM), per si mateix un sistema constructiu acceptat i reconegut a la pràctica habitual de l'enginyeria. Aquest mètode no és bo ni dolent, pot ser adequat amb unes condicions donades o no recomanable amb altres i pot ser portat a la pràctica de manera correcta o incorrecta.

Després d'aquell accident era inevitable no dedicar unes pàgines als diferents mètodes constructius de túnels. D'aquesta manera hem volgut escriure un mínim de dos articles que ens permetin aprofundir en el complex món dels túnels d'obra civil.

Des d'un punt de vista general existeixen dos mètodes d'excavació de túnels:

1. Mètode convencional o manual de perforació i voladura d'avanç i destrossa amb seccions multipartides, com ara el mètode belga, alemany o el NATM, entre d'altres.
2. Mètodes mecànics d'excavació mitjançant tuneladores, també conegudes com TBM (Tunnel Boring Machines), o més popularment anomenades "topos".

En aquest article revisarem l'ús de tuneladores i la seva tipologia en detall, en funció, principalment, de la longitud del túnel i de la geologia que travessa el traçat. Hem decidit parlar en aquest article de les tuneladores per la seva espectacularitat tècnica i per l'important increment del nombre de túnels construïts amb aquesta maquinària tan sofisticada als darrers vint anys. Aquest espectacular increment és degut a l'avenç de la tecnologia, que ens ha permès realitzar projectes d'enginyeria més ambiciosos i complexos, que fa només tres o quatre dècades no podrien haver estat executats; n'és un exemple el túnel sota l'estret de la Mànega.

Primerament parlarem dels tipus i aplicacions de les tuneladores i descriurem alguns avantatges i inconvenients que té l'ús d'aquesta tècnica a l'enginyeria de túnels. Seguidament descriurem dues de les aplicacions més notables de tuneladores que hi ha actualment a Catalunya: el Túnel del Perthus dins dels treballs de construcció de la Línia d'Alta Velocitat Madrid – Barcelona – Frontera Francesa i la construcció de la Línia 9 de la xarxa de transport metropolità de Barcelona.

2. TIPUS DE TUNELADORES A L'ACTUALITAT

Avui dia el nombre de projectes d'obres subterrànies que s'executen amb tuneladores no para de créixer, a causa, sobretot, de la seva seguretat d'execució, malgrat la seva complexitat tècnica i clar sobrecost econòmic, que pot estar justificat en obres de gran envergadura o dificultat. Va ser a partir de la dècada dels 70 quan es va incrementar notablement el nombre de màquines i de projectes. Es calcula que el 1999 el 40% dels projectes d'excavació amb roca dura amb alternança amb altres materials més tous o complicats es portaven a terme amb TBM.

Fa relativament pocs anys la longitud d'una obra subterrània a realitzar era el factor més important a l'hora d'escollir un mètode d'excavació manual o un mètode mecànic a causa



del baix rendiment dels topos. Amb la notable millora de la potència instal·lada en aquestes màquines, avui dia això ja no és així i poden arribar a ser més importants els possibles impactes en l'entorn i el mètode de sosteniment triat. Per exemple, la construcció a la ciutat de Lleida d'un col·lector de dos metres de diàmetre i 600 metres de longitud s'està portant a terme amb una tuneladora de petit diàmetre i no amb excavació entibada per evitar, així, l'afecció a la ciutat, trànsit, incomoditats als veïns, etc.

Existeixen dos tipus principals de *topos* al mercat, les que s'utilitzen per a formacions rocoses dures i les que s'utilitzen a formacions rocoses toves o a sòls i sota el nivell freàtic. A la figura 1 es mostra una classificació molt general de les diferents varietats de tuneladores existents avui dia. Encara que la divisió està clara al croquis, les màquines del tipus doble escut són vàlides per a condicions geològiques variables i són anomenades mixtes o duals.

Les principals avantatges de les TBM en la construcció de túnels són variades i depenen en gran mesura de la millora constant de la maquinària i la tecnologia. La principal avantatge és la producció gairebé industrial del metre lineal de túnel degut a un increment notable de les condicions de seguretat i la qualitat de les condicions de treball dins del túnel. Les màquines disposen d'un centre de control automatitzat en el qual es controlen totes les variables com, per exemple, la pressió als gats que permeten el moviment i guiat de la màquina, etc. Amb el treball en torns es pot tenir una producció continua les 24 hores amb una millora notable dels rendiments obtinguts. Dins del procediment constructiu, la mateixa màquina retira els escombres generats durant l'excavació sent necessària una ventilació més simple. Finalment, l'acabat del túnel amb una secció molt precisa i amb una rugositat mínima esmorteix notablement els danys provocats a la roca de la formació.

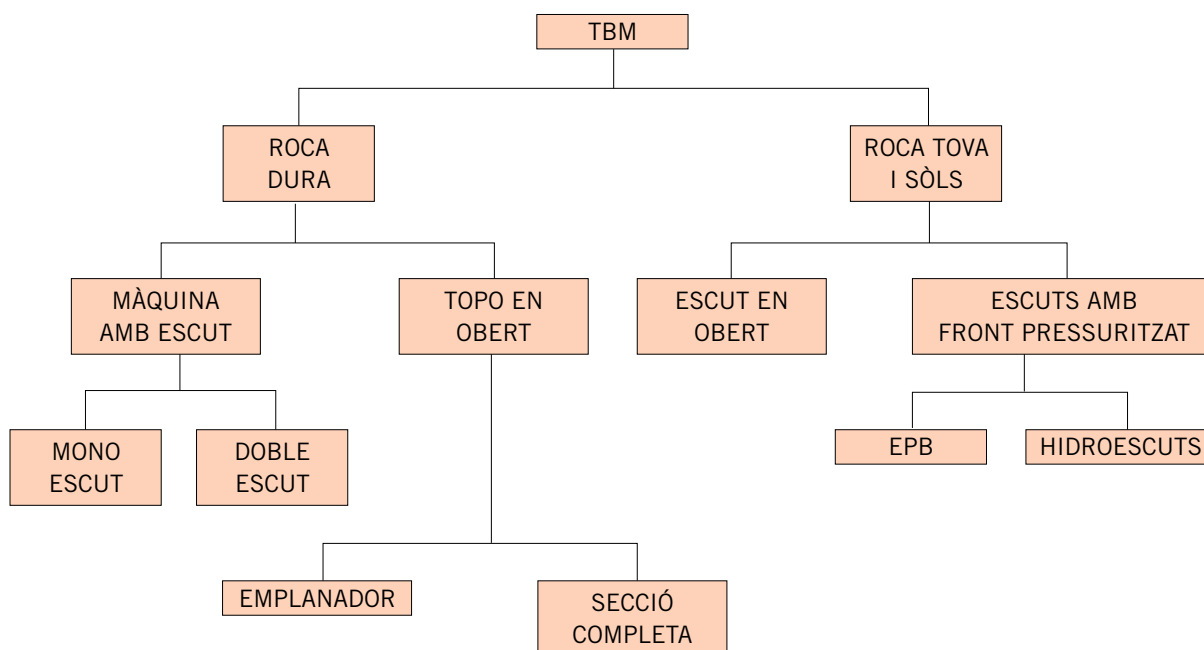


Figura 1: Esquema dels diferents sistemes d'excavació amb tuneladores en funció del material que han d'excavar i la seva operativitat.



En funció de les condicions de contorn i geologia del traçat s'ha de decidir quina és la màquina més adequada a les nostres necessitats. El procés de selecció d'una d'aquestes màquines és difícil i requereix d'un perfecte coneixement del projecte i les seves característiques, de les tecnologies disponibles al mercat i de les seves prestacions i possibilitats reals. En general, es pot començar a considerar l'ús de tuneladores a túnels de més de 1.500 metres de longitud.

Malgrat que el disseny dels topos tendeix a millorar la seva flexibilitat per adaptar-se a les diferents condicions geològiques d'un projecte, encara el principal inconvenient d'aquest sistema constructiu és la seva manca de flexibilitat, la gran dificultat i l'elevat risc a la seva elecció.

Com s'observa al croquis, existeixen dos tipus principals de tuneladores per a roca dura, les que treballen amb escuts i les que treballen sense o en obert. Les màquines que treballen en obert són les tuneladores clàssiques per excavar túnels. N'hi ha de dos tipus, les que excaven a secció completa i les del tipus eixamplador. Són en general màquines que es poden orientar i guiar amb facilitat i precisió, però tenen l'inconvenient del risc que comporta anar sense cap tipus de protecció darrere del front. La principal diferència entre les màquines de secció completa i les del tipus eixamplador, radica que a les segones l'empenta sobre el terreny es realitza al túnel pilot central i no al túnel final.

Les màquines que durant l'excavació funcionen amb escuts per sostenir el terreny solen ser les més emprades ja que l'excavació i el sosteniment es pot portar a terme dins de l'estructura de l'escut. El sosteniment del túnel s'aconsegueix amb anells formats per dovelles de formigó armat. Són, per tant, adequades per a grans seccions i amb condicions geològiques variables. N'hi ha dos tipus, les d'escut i les de doble escut o amb un escut telescòpic.

Existeixen dos tipus de tuneladores per a sòls i roques toves, els escuts que treballen en obert, que són aquells que es fan servir en condicions geològiques els quals no fan necessària l'estabilització mecànica del front d'excavació, i els escuts amb el front pressuritzat, ja sigui amb lodos o hidroescuts o amb pressió de terres (EPB), que el que fan és agafar els

materials excavats i els barregen amb productes d'addició, per obtenir-ne una barreja viscoplàstica que s'injecta amb pressió al front per garantir la seva estabilitat.

Per acabar aquesta part de descripció dels diferents tipus de tuneladores direm que les parts més importants d'una tuneladora amb escut són les següents:

- Cap de la tuneladora o roda de tall on es col·loquen els discs de tall i les piques.
- Sistema de propulsió de l'escut que està format pels diferents sistemes hidràulics que permeten aplicar les empentes per moure la màquina, el cap de tall i les seves parts accessòries.
- Back-up o tren posterior de la màquina on es col·loquen tots els components accessoris i els serveis com poden ser la cinta de transport de les runes, el transport sobre via dels materials, recanvis, etc., magatzems, sistemes d'injecció de morter i greix, bulonatge, menjadors, centre de control, sistema de subministrament i col·locació d'anells de formigó armat per al sosteniment, etc.

Els radis del cap de tall poden anar dels pocs centímetres fins als 15 metres, rècord que s'ha establert per a les tuneladores que es faran servir al soterrament del cinturó M-30 a Madrid. La longitud del back-up a les màquines de gran diàmetre pot arribar a 150 metres, cosa que dóna una idea de la complexitat del disseny, construcció, transport i posada en marxa d'aquesta maquinària.

3. DOS GRANS PROJECTES AMB TUNELADORES A CATALUNYA: LA LÍNIA 9 I EL TÚNEL DEL PERTHUS

Actualment existeixen a Catalunya dos grans projectes en els quals s'estan utilitzant tuneladores, un d'ells és la construcció de la nova Línia 9 de la xarxa de metro de Barcelona i l'altre és la construcció del tram Figueres – Perpignan dins dels treballs de la Línia d'Alta Velocitat Madrid – Barcelona – Frontera Francesa. Ambdós projectes tenen peculiaritats, que serien impossibles d'explicar en aquest article; no obstant això, detallarem les característiques principals dels projectes i de les diferents tuneladores.



3.1. Línia 9

L'obra va començar a mitjan del 2003. El projecte és impressionant: 43 quilòmetres de línia i 46 estacions al llarg de la traça de les quals, 14, seran intercanviadors. Dels 43 quilòmetres de la nova línia, més de 32 es construiran amb tuneladores i la resta seran trams en mina, en viaducte o entre pantalles. El pressupost actual és de més de 3.000 milions d'euros i el termini d'execució, previst inicialment per al juliol de l'any 2007, s'ha vist modificat fins a finals de l'any 2008. A la figura 2 es veu el recorregut de la línia 9 tal i com està concebut actualment. Òbviament, la crisi del Carmel ha fet que el projecte inicial estigui en fase de revisió respecte a la solució prevista i ha ocasionat l'alentiment generalitzat de l'obra.

En aquests moments, dues màquines d'11,95 metres de diàmetre treballen perforant el subsòl de Barcelona, la Besi i la Llobri. Una tercera màquina, de diàmetre inferior (9,40 metres), està sent muntada per afrontar la part corresponent al ramal de l'aeroport i està previst que comenci a perforar al llarg de l'any 2006.

La Besi fa el tram 4A (Can Zam – Bon Pastor) del qual s'ha produït el "cale" tot just fa dues setmanes. A la figura 3 es

pot veure aquesta màquina travessant el mur de formigó en massa que forma el pou de sortida de Bon Pastor a Santa Coloma de Llobregat després de perforar 4.269 metres de túnel i haver col·locat més de 2.300 anells de formigó armat que formen el sosteniment/revestiment del túnel. Aquesta màquina és un doble escut que pot treballar en obert en roca dura i en tancat com una EPB per materials molt més meteoritzats i fracturats que no tenen la resistència de la roca dura. La longitud de l'escut és de 12,5 metres, la llargada total (escut més back-up) és de 120 metres i la potència instal·lada és de 7.335 kW.

L'altra màquina, la Llobri, ha recorregut més de 2.750 metres durant el mateix període i encara li manquen com a mínim 1.300 metres fins arribar al recinte estanc de Sagrera on s'està construint un dels intercanviadors més complexos amb 3 línies de metro, RENFE i LAV (quan arribi a Sagrera – TAV). No obstant això, aquesta màquina és, a diferència de la Besi, una EPB ja que la geologia d'aquest tram és més uniforme i formada principalment per sòls amb nivells freàtics alts. El diàmetre és de 12,06 metres, 2.300 tones de pes i una longitud total de 100 metres.



Figura 2: Traçat de la línia 9 a l'entramat de metro a la ciutat de Barcelona.



Figura 3: La tuneladora “Besi” emprada a la construcció del tram 4A de la línia 9 de Barcelona.

Per acabar la descripció d’aquest projecte, direm que la geologia de Barcelona no facilita la tasca d’aquestes màquines ja que l’alternança de materials és molt freqüent amb nivells freàtics alts, aigües termals o zones amb molt poca cobertura que, com a conseqüència, exigeixen una gran quantitat de tractaments del terreny o l’ús elevat de cimentacions especials, així com l’ús intens i continuat d’avançades tècniques d’auscultació geotècnica i estructural.

3.2. LAV Madrid – Barcelona – Frontera Francesa: Tram Figueres – Perpignan

L’altra obra que actualment involucra a Catalunya l’ús de tuneladores és el tram de Figueres – Perpignan de la Línia d’Alta Velocitat fins a la frontera francesa. Aquest tram de 44 km totals, té un túnel de 8,3 quilòmetres de longitud dels quals gairebé un quilòmetre es troba a Espanya i la resta a França.

Les obres les executa TP Ferro, concessionària de la construcció, finançament i explotació del tram, integrada per ACS Dragados i Eiffage.

Es construeixen actualment dos túnels paral·lels mitjançant dues tuneladores del tipus doble escut per roca dura i de diàmetre 9,9 metres, ja que la geologia està formada princi-

palment per granits, gresos i diorites, però també zones de milonites molt fracturades i meteoritzades. El pes total de les màquines “Tramuntana” i “Mistral” és d’unes 1.500 tones; tenen una longitud total de 140 metres i la potència instal·lada és d’uns 4900 kW per màquina.

En aquests moments, s’està acabant el procés de muntatge de la màquina Mistral i l’altra màquina ha perforat més de 150 metres. En executar dos túnels en paral·lel sempre es deixa un decalatge en el temps al seu inici perquè no hi hagi interferències entre ells durant el procés d’excavació.

A la figura 4 s’observa el cap de tall de la tuneladora Tramuntana al moment de la seva introducció dins del túnel i a la figura 5 es veuen totes dues màquines durant la seva introducció als emboquilles. Òbviament, aquesta obra té una complexitat d’execució i un impacte menor a la societat ja que els túnels travessen els Pirineus i no existeixen riscos a nuclis urbans. No obstant això, aquesta obra continua sent un repte tecnològic i organitzatiu de primera magnitud.

4. CONCLUSIONS

L’experiència demostra, dia rere dia, que l’ús de les tuneladores és ja una realitat i que cada vegada més, tindran un paper més rellevant en la construcció de tot tipus de túnels d’obra

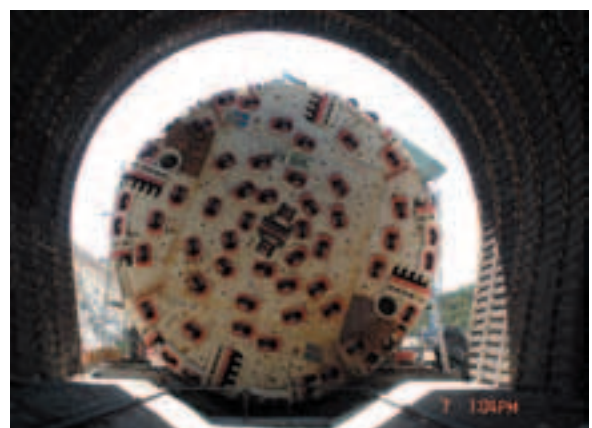


Figura 4: La tuneladora “Tramuntana” emprada a la construcció d’un dels túnels del tram Figueres – Perpignan de la LAV.



Figura 5: Vista de la introducció de les dues màquines que portaran un decalatge per a garantir l'estabilitat del procés d'excavació.

civil. L'increment de seguretat durant el procés d'excavació que s'experimenta amb aquesta tecnologia, sobretot en un entorn urbà, s'ha convertit en un aspecte cabdal que els projectistes, contractistes i administracions han de tenir en compte.

No obstant això, l'elecció d'una tuneladora és un procés delicat i molt complicat que exigeix una excel·lent caracterització geològica i geotècnica de la traça del túnel, entre d'altres aspectes. En aquest sentit, creiem que les obres d'alta velocitat que estan per arribar a Girona ciutat en un futur proper podrien ser clarament executades amb aquesta tecnologia; caldrà però tenir en compte la complexitat geotècnica i hidrogeològica de la ciutat, per la poca cobertura del túnel en algunes parts del projecte i, sobretot, per l'existència d'edificis vells a la part

antiga de la ciutat amb cimentacions superficials que els faran molt sensibles a assentaments diferencials i a moviments del terreny.

AGRAÏMENTS

Des d'aquí volem agrair la informació tècnica i gràfica subministrada per TP Ferro i per AUSCUL9 UTE de les diferents màquines emprades a tots dos projectes.

EVA CAMPMOL AYMERICH
Directora d'Obra Civil del CECAM
Enginyera de Camins, Canals i Ports
Enginyera Geòloga



APROFITAMENT RESISTENT DELS MATERIALS I LIMITACIONS ACTUALS: “MECÀNICA DE FRACTURA”

Fins fa 20-30 anys s’anitzaven els materials en règim elàstic on hi havia linealitat entre tensions i deformacions. Aquestes situacions eren casos en què no s’aprofitava la capacitat resistent dels materials, i les tensions màximes estaven per sota del límit elàstic propi de cada material. Avui dia, s’imposa com a condicionant últim de tensió màxima la corresponent a la tensió de trencament del material, entesa com una situació fora del domini elàstic i dins del domini plàstic amb deformacions no recuperables en la descàrrega del material. El model matemàtic que modela aquest comportament elastoplàstic és la “teoria incremental de la plasticitat”, com a model més vàlid i acceptat de totes les teories plàstiques.

1. TEORIA INCREMENTAL DE LA PLASTICITAT

Es tracta de la teoria més vàlida i acceptada de totes les teories plàstiques. Es basa en una aproximació dels models matemàtics que modelen el fenomen elastoplàstic d’un material analitzant cicles de càrrega-descàrrega-recàrrega. Pel cas senzill d’una dimensió, s’aproxima a un comportament tensió-deformació com el de la figura 1 adjunta.

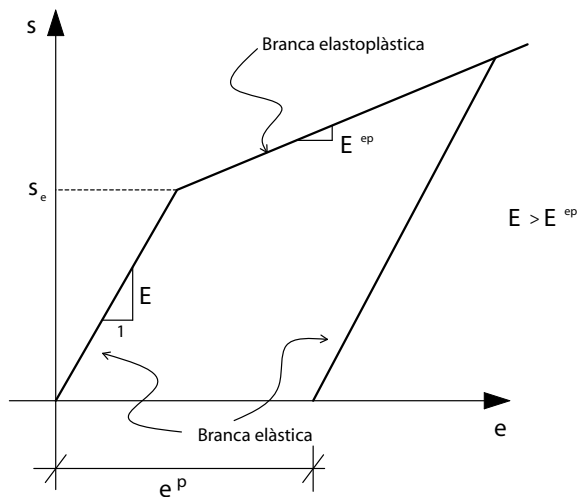


Figura 1: Corba tensió-deformació per a un model elastoplàstic, mitjançant branques elàstiques i inelàstiques.

2. EFECTE “BAUSCHINGER” I HISTÒRIA DE CÀRREGUES-DESCÀRREGUES-RECÀRREGUES DEL MATERIAL

L’efecte “Bauschinger” o “enduriment cinemàtic” és l’efecte provocat en un material isoresistent quan, en estirar el material a tracció, perd resistència a compressió. Així, la corba tensió-deformació del material no és simètrica en la corba tracció-compressió. Podem observar aquest fenomen en l’estirament en fred d’una proveta d’acer verge, i amb una compressió posterior del material traccionat (*veure figura 2 adjunta*). En la indústria metal·lúrgica, en fabricar barres d’acer verges, hi ha una eliminació de la història de deformacions del material en regenerar tensions amb la temperatura.

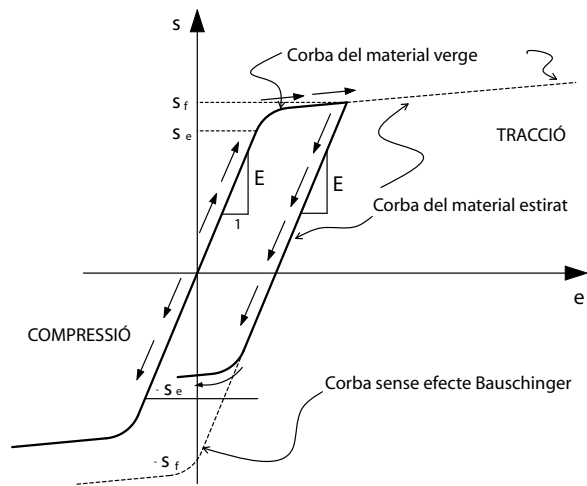


Figura 2: Efecte “Bauschinger” com un inconvenient de l’acer en el seu estirament en fred i posterior compressió amb pèrdua de resistència. Les històries càrrega-descàrrega-recàrrega són la causa d’aquest fenomen.

3. MECÀNICA DE FRACTURA I LÍNIES DE RECERCA FUTURES

La mecànica de fractura és una nova ciència que estudia la distribució de tensions i deformacions en un material fissurat quan està sotmès a una certa acció exterior. Des d’un punt

de vista teòric en la punta d'una esquerda les tensions tendeixen a infinit, independentment de la càrrega aplicada. Però l'anàlisi no es fa en un sol punt sinó en una petita àrea al seu voltant, anomenada "zona plàstica", on les tensions deixen de ser infinites perquè part de l'energia elàstica es consumeix en la deformació plàstica del material pròxim a la punta. A diferència de la teoria clàssica de resistència de materials on la resistència o tensió de trencament és independent de la mida de l'estructura, en la mecànica de fractura hi ha una relació directa que s'anomena "efecte de mida".

Es pot produir la fractura per l'existència d'una esquerda i el seu creixement, originada pel funcionament de l'element resistent, o bé per un defecte de fabricació en la seva geometria i canvis sobtats de secció, i correspon a la mecànica de fractura quantificar les condicions per les quals es produeix el trencament.

Actualment els mètodes de càlcul i les tècniques experimentals d'anàlisi de fractura s'utilitzen en el càlcul de components de màquines, estructures d'enginyeria civil, i estructures aeronàutiques i navals. El seu camp d'aplicació directa són les estructures sotmeses a esforços dinàmics variables en el temps. Aquests esforços modifiquen l'estructura interna dels materials utilitzats, on disminueixen la resistència dinàmica, i produeixen fractures i el trencament per esgotament.

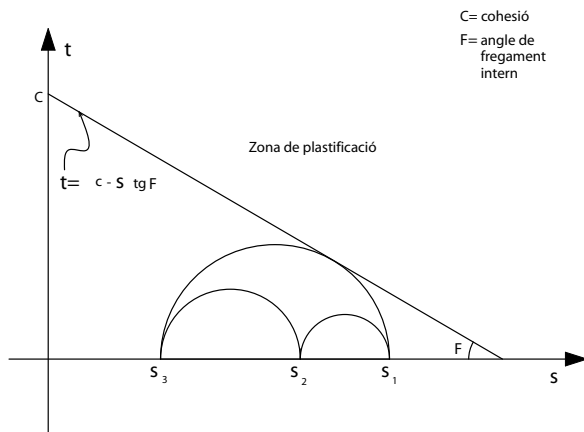


Figura 3: Criteri de trencament de Mohr-Coulomb aplicable en el formigó, roques i sòls.

4. LA FRACTURA EN EL FORMIGÓ

A diferència de l'acer (i dels metalls en general), el formigó (i els materials "petris" en general) té en la relació tensió-deformació un comportament no lineal des de l'inici de carregament, i destaca per la seva gran resistència a esforços de compressió i poc a tracció. Aquest comportament, aplicable al formigó, roques i sòls, es caracteritza també per les seves propietats friccional i de cohesió, que fa que el criteri de trencament més adequat en la seva modelització de la superfície de fluència sigui la de "Mohr-Coulomb" (veure figura 3).

El formigó convencional (o de baixa resistència) es caracteritza perquè el fenomen elastoplàstic hi és més acusat des d'un inici de carregament, i la interfase àrid-pasta és la més dèbil



Fotografia núm.1: Trencament en una proveta de formigó convencional on es pot observar el fenomen "d'engranament" dels àrids al voltant de la superfície de fractura.



Fotografia núm. 2: Trencament en una proveta de formigó d'alta resistència on es pot observar la "planeïtat" de la superfície de fractura amb el trencament dels àrids com a part dèbil del conglomerat.

i per on es produeix la fractura. A causa de l'heterogeneïtat dels àrids, la superfície de fractura no és llisa i ressegueix els contorns dels àrids, cosa que produeix el conegut "engranament" en la fractura. Aquest "engranament" provoca un allargament del trencament final a causa de la resistència addicional que provoca la fricció entre els àrids situats en la fractura. Aquesta fricció pot quantificar-se en l'energia dissipada en la formació de la fractura i és estudiada en aquesta nova ciència de mecànica de fractura (veure fotografia núm.1 adjunta).

En el formigó d'alta resistència (més de 50 N/mm^2) la corba tensió-deformació té un creixement molt lineal en els seus inicis amb una deformació menor que fa que assoleixi comportaments de trencament més fràgils i menys dúctils. Aquest comportament és degut sobretot a fractures molt llises (veure fotografia núm. 2 adjunta) provocades per la debilitat de l'àrid enfront de la zona de transició àrid-pasta, que en el cas de formigons d'alta resistència perd la seva condició de fase crítica de menor resistència. És per això que en formigons d'alta resistència és important escollir un àrid molt resistent (granític, per exemple) i reduir la seva mida màxima (10 a 12mm, i augmentar així la seva superfície específica de major resistència que el nucli).

EDUARD BONMATÍ I LLADÓ

Arquitecte Tècnic

Consultor d'estructures

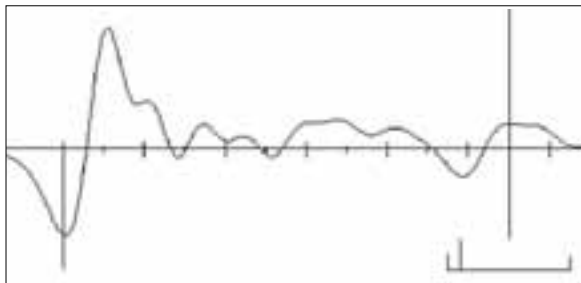
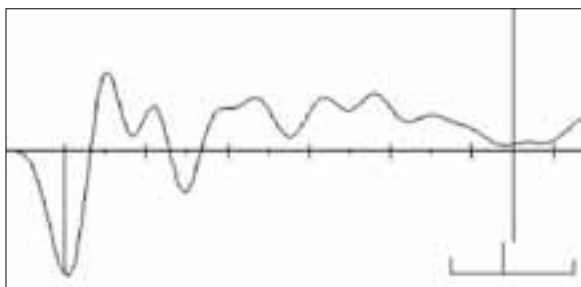


CASUÍSTIQUES EN L'ASSAIG SÒNIC D'INTEGRITAT ESTRUCTURAL DE PILOTS

En un número anterior d'aquesta revista vam redactar un article que tractava sobre l'assaig d'integritat estructural de pilots en el qual s'especificava el què, perquè, com de tot el que fa referència a aquest assaig i la necessitat que sigui aplicat a totes les obres que es fonamentin amb el sistema de pilotatge.

Avui volem exposar un parell de situacions conflictives, esdevingudes a les obres, a través de les quals pretenem demostrar perquè és tan necessària la informació addicional que es demana per a l'assaig i la dificultat en la interpretació de les gràfiques o reflectogrames.

Durant els més de cinc anys d'experiència en aquest assaig hem tingut diferents experiències dignes de significació, detectant pilots que podrien presentar problemes. Els tècnics de les obres en qüestió han aplicat diferents solucions per minorar els problemes. En la majoria dels casos el laboratori l'ha encertat i en uns altres no tant.



Reflectogrames dels pilots informats com: Pilots amb imperfecció estructural entre 3 i 4 metres del cap, amb possible discontinuïtat.

Entrem a les dues casuístiques que hem comentat. En el primer cas el laboratori va informar d'uns pilots que podien presentar discontinuïtats, perquè es detectaven unes inflexions molt importants en el reflectograma de dos pilots, a uns 3 - 4 metres del cap.

Un cop descoberts els pilots es va poder comprovar, visualment, que els pilots no presentaven cap discontinuïtat ni estretament a les zones conflictives (Al laboratori no se li va notificar).

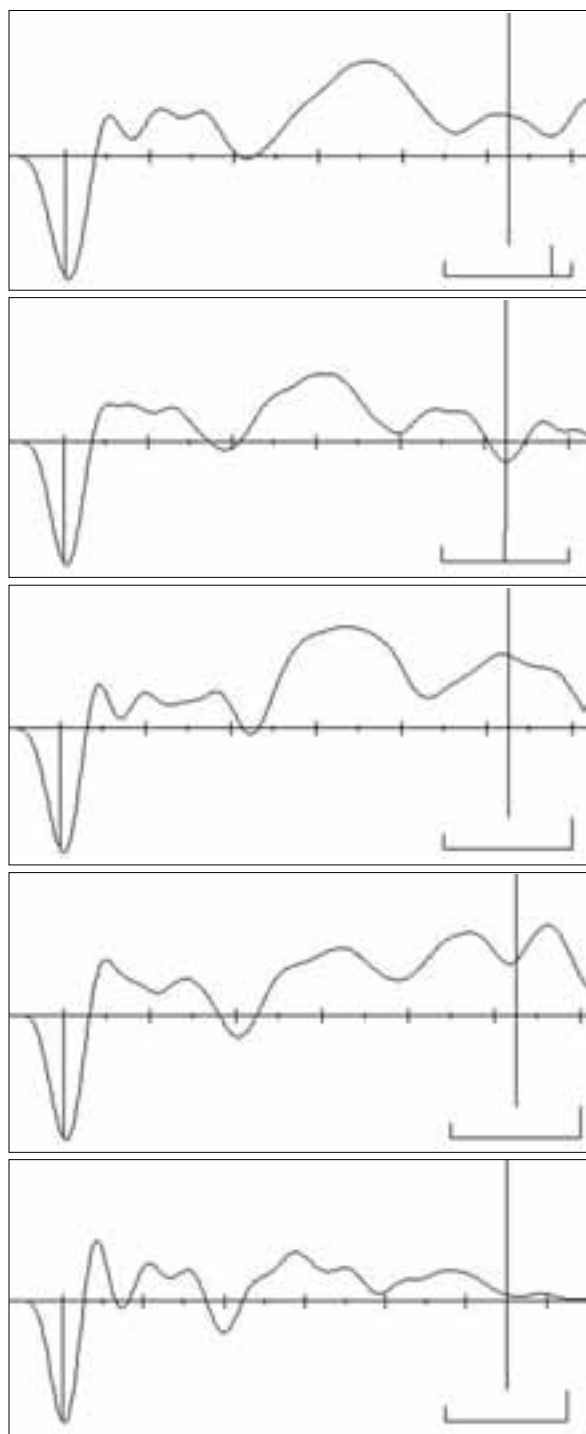
Entenem que les principals causes que van portar el laboratori a fer una interpretació no correcta de l'assaig van ser dues. La primera és que l'estudi geotècnic, com desgraciadament sol passar sovint, no era molt acurat, era mancat d'informació i no definia cap canvi de material en aquella zona. Posteriorment, es va saber que l'estudi geotècnic s'havia fet, abans de l'enderroc, al solar on hi havia els pilots executats però en un lloc distant de l'emplaçament de l'edificació, fet que hauria ajudat a no detectar un important canvi de terreny.

L'altra causa que va portar el laboratori a interpretar erròniament els reflectogrames va ser l'estat del cap del pilot. El descapçat dels pilots era deficient i amb gran quantitat de lletada que no es va treure en el moment de repicar el pilot.

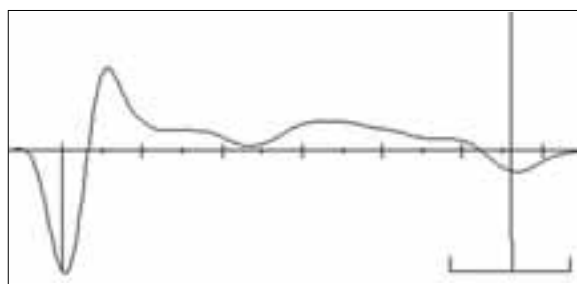
Aquests dos factors són de cabdal importància per a una correcta interpretació de l'assaig i el fet que cap dels dos estigués dins els criteris acceptables per poder realitzar l'assaig va conduir a un error d'interpretació.

En l'altre cas, al laboratori se li va encarregar l'assaig d'integritat d'un 30% dels pilots d'una obra executada en dues parcel·les.

Durant la realització de la primera visita a l'obra es van detectar anomalies en algun pilot. Es va notificar a la direcció d'obra, que en el mateix moment va prendre la decisió de



Reflectogrames dels pilots informats per CECAM com: Pilots amb imperfecció estructural entre 3,5 i 5 metres del cap del pilot.



Reflectograma d'un pilot en el qual es veu una inflexió que indica que el pilot travessa un canvi de terreny: Aquest pilot correspon al mateix encepats que un dels que presenten defectes i es poden apreciar en el quadre anterior.

realitzar el control d'integritat sobre el 100% dels pilots de la primera parcel·la. Aquest fet va suposar haver de desmuntar l'armat d'alguns encepats que ja estaven preparats per formigonar.

En el control total es van poder detectar fins a 5 pilots amb defectes estructurals, dels 44 executats (un 11%). Tots els pilots tenien qüestions en comú:

- Es van trobar a la mateixa zona de l'obra.
- El diàmetre dels pilots era el menor dels que coincidien en l'obra.
- La profunditat on es detectava el defecte coincidia amb un canvi litològic del terreny, on s'atravesava una capa d'argiles llimoses molt toves.

Davant d'aquest fet la Direcció Facultativa de l'Obra i el promotor van sol·licitar a l'empresa que va executar els pilotatges que es manifestés sobre aquestes anomalies. L'empresa es va presentar a l'obra i va argumentar que en l'execució dels pilots CPI-8 és molt difícil una interrupció del pilot i va proposar la realització de l'assaig d'integritat per part d'un altre laboratori, que van aportar ells mateixos.

Promotor i Direcció d'obres hi van accedir i un altre laboratori va realitzar assaigs d'integritat sobre tots els pilots sobre els



quals CECAM va informar com a pilots amb defectes estructurals, i altres escollits aleatòriament en la parcel·la. El resultat que va donar aquest laboratori dels pilots sobre els quals CECAM havia informat com a pilots amb imperfecció estructural va ser *“les anomalies detectades a les corbes podrien correspondre a un canvi litològic, entre el nivell d'argiles toves i el de les sorres subjacents”*.

Amb l'informe del segon laboratori es va demanar a CECAM que es pronunciés definitivament. CECAM va tornar a pronunciar-se desfavorablement perquè els motius que apuntaven a un defecte estructural en els pilots eren diversos:

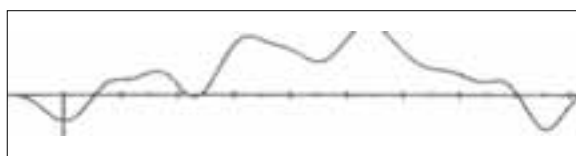
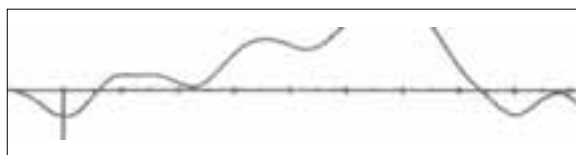
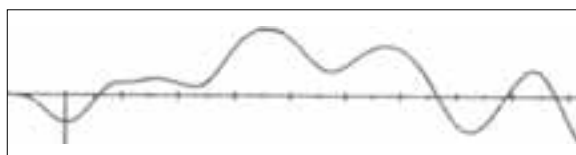
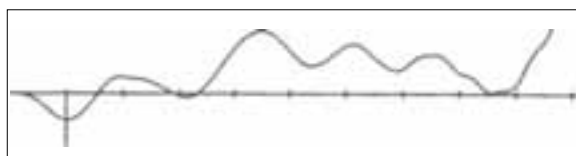
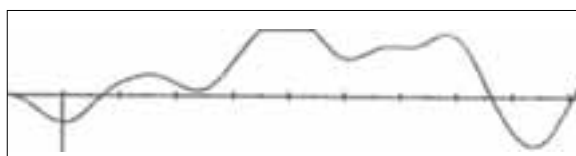
- Els defectes no es veien a tots els pilots de la zona
- La inflexió del reflectograma es repetia al doble de la distància inicial
- En l'informe de l'altre laboratori es detectava el final del pilot a 16 metres, quan en realitat no feien més d'11 metres.
- ...

Donada la diferència d'interpretació, la direcció d'obra i la propietat van consultar CECAM si existia algun sistema amb què es pogués demostrar de manera fefaent l'encert o no del nostre informe.

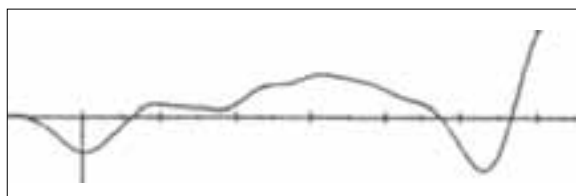
Es van suggerir dos mètodes per poder determinar si els pilots presentaven o no defectes.

El primer mètode consisteix a fer l'excavació al voltant del pilot i comprovar visualment si el pilot es troba afectat o no. Aquest mètode es va descartar perquè s'havia d'anar a una profunditat d'uns 5 metres, amb nivell freàtic a partir del primer metre.

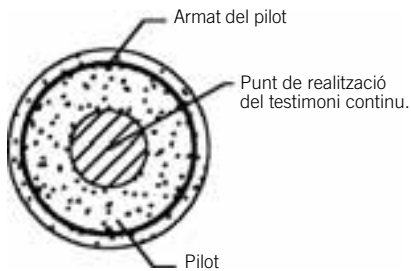
El segon mètode que es va comentar va ser el de la realització d'un o diversos testimonis continus amb extracció de la mostra a l'interior del pilot per comprovar si es podia detectar alguna contaminació del formigó del pilot en l'interior o el perímetre d'aquest, que pogués generar el defecte estructural.



Reflectogrames dels pilots sobre els quals ha informat el laboratori proposat per l'empresa de pilotatges: canvi litològic, entre el nivell d'argiles toves i el de les sorres subjacents.



Reflectograma d'un pilot realitzat pel laboratori proposat per l'empresa de pilotatges que no presenta defectes estructurals i es veu una inflexió que indica que el pilot travessa un canvi de terreny.



Esquema de realització de la verificació del pilot mitjançant un sol testimoni continu.

Aquesta solució podia presentar un problema perquè l'assaig d'integritat pel mètode sònic (martell en mà) serveix per determinar si existeix o no defecte però no ens marca la seva magnitud, de manera que es podria realitzar la perforació per l'interior del pilot i no detectar la zona que estava afectada. Finalment es va optar per la realització de la perforació al centre dels pilots per comprovar si existia contaminació o no.

Es van realitzar dues perforacions als pilots que presentaven un reflectograma que indicava una afectació aparentment més important. La Direcció de l'obra i el promotor van decidir la realització d'una sola perforació a la part central del pilot. (Veure fotografies 1 i 2)

Al primer pilot on es va realitzar la perforació es va detectar una contaminació localitzada a la zona on el laboratori havia indicat. Tot i que les dimensions del defecte no eren exagerades, uns deu centímetres de longitud, hem de suposar que a la part més externa del pilot aquesta afectació seria major, tenint en compte que el testimoni continu es va realitzar a la zona central del pilot (veure fotografies 3, 4, 5 i 6). En la realització de la perforació al segon pilot no es va detectar contaminació a la part central del pilot.

Donades aquestes condicions i després d'una reunió entre l'empresa de pilotatges, la direcció d'obres i el promotor es va procedir a la reparació dels pilots que presentaven problemes mitjançant la realització de micropilots en l'interior dels pilots afectats, amb la intenció de fer un "cosit" d'aquests. Abans de realitzar aquesta operació es va fer un càlcul per comprovar que la secció dels micropilots a executar suportessin les càrregues transmeses als pilots.

Un cop solucionats els problemes que hi havia hagut a la primera parcel·la es va procedir a l'execució dels encepats i riostres de la segona parcel·la, situada a pocs metres de l'altra.



Fotografies 1 i 2: Extracció del testimoni continu a l'obra.

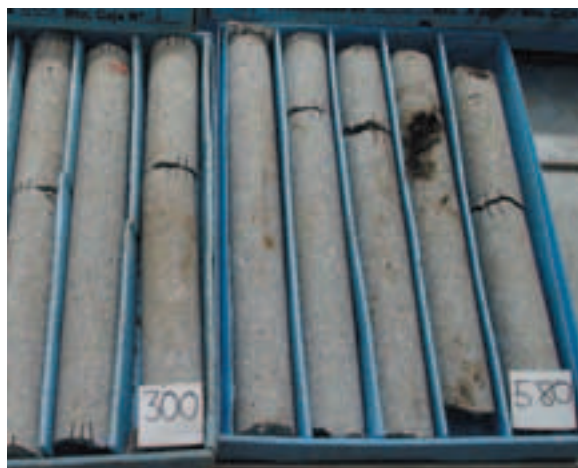
Abans de l'inici del control d'integritat dels pilotatges, el promotor i la direcció d'obres ja van indicar que es fes el control del 100% dels pilots.

En la següent parcel·la es van tornar a detectar defectes en els pilots. Aquest cop els pilots afectats es trobaven localitzats en una zona més ampla, estaven més disseminats, els diàmetres eren diferents i no eren els de menys secció. Dels 69 pilots executats es van detectar anomalies també en 5 pilots (un 7%).

En aquest cas no es va demanar l'opinió d'un segon laboratori ni la realització de mostres amb testimoni continu perquè algun dels pilots sobre els quals s'havia informat "desfavorablement" van presentar evidències molt clares que tenien defectes.

Un dels pilots es va haver de descapçar dos metres per sota de la cota de l'encepat perquè el formigó que hi sortia estava ple de cavitats, i tot i així no es va arribar a trobar formigó en bones condicions.

L'altre pilot, que presentava clares evidències dels seus defectes estructurals, era un que presentava un desplaçament d'alguns centímetres al cap quan la màquina retroexcavadora el tocava realitzant l'excavació de l'encepat del pilot. (Veure gràfics 1 i 2)



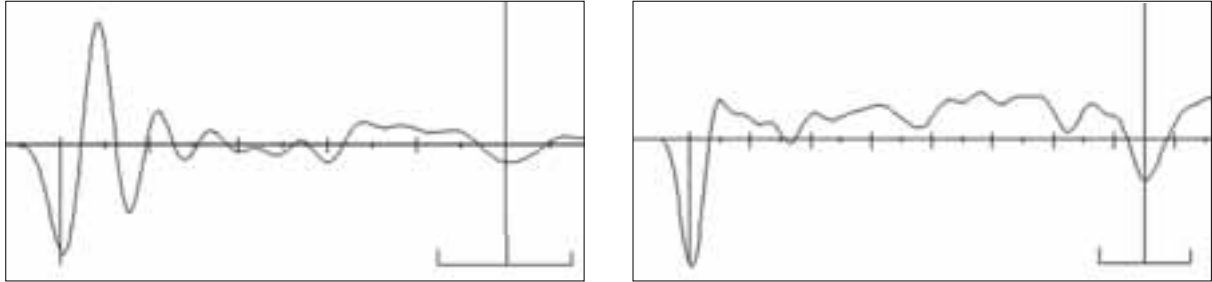
Fotografia 3: Mostra de tot el testimoni continu extret en el pilot verificat amb defecte estructural.

En aquest cas, donades les evidències de defectes molt més greus, es va optar per un mètode més tradicional de reparació. No es va actuar sobre els pilots existents, sinó que es van desestimar a efectes resistents i es va micropilotar al voltant dels pilots executats per fer el repartiment de càrregues.

No pretenem res més que intentar transmetre a les direccions facultatives, ja sigui d'edificació o d'obra civil, que l'assaig d'integritat estructural és una eina fiable, això sí, sempre que



Fotografies 4, 5 i 6: Detall de la magnitud del defecte a la zona central del testimoni des de diferents angles.



Gràfics 1 i 2: Gràfiques dels dos pilots que presentaven símptomes molt clars dels seus defectes en la segona parcel·la.

El primer gràfic és el del pilot que presentava cavitats importants al cap.

El segon és el del pilot que es desplaçava durant l'execució de l'excavació de l'encepat.

es disposi d'una bona informació, del geotècnic, els pilots estiguin ben descapçats i es faci una correcta interpretació de les gràfiques.

Les experiències viscudes també ens demostren que el percentatge de pilots a assajar en una obra no ha de dependre només d'allò que ens dictamini un organisme o una norma; aquests només donen criteris de mínims, però si tenim dubtes per l'execució, per canvis litològics del terreny, no coincidència de l'estudi geotècnic amb el que s'obté en la mostra que surt durant l'execució, etc. hem de tenir clar que la nostra obligació com a tècnics és la d'exigir la realització de l'assaig sobre un percentatge més alt dels pilots o concentrar la presa de mostres al punt més conflictiu segons el nostre criteri.

JOAQUIM PETIT I BOYERO

Arquitecte Tècnic

Cap d'Àrea de la Unitat Tècnica de Construcció



L'ESTUDI GEOTÈCNIC I LA DIRECCIÓ DE L'EXECUCIÓ MATERIAL

L'estudi geotècnic és una eina imprescindible per tal d'escollir, calcular i dimensionar la fonamentació idònia d'una construcció. Per tant, és el projectista, en fase de projecte, el primer que el necessita. Així mateix, no cal oblidar que a la direcció d'execució material li són necessàries moltes de les dades de l'estudi geotècnic per tal desenvolupar correctament el treball. En aquest article se'n tractaran els aspectes següents:

NIVELL FREÀTIC

A la direcció d'execució, tant des del vessant de director d'execució material com el de coordinador de seguretat, li cal saber la presència, fondària i oscil·lació del nivell freàtic per tal de preveure la planificació d'obra convenient i per adoptar les mesures de seguretat adients.

La presència d'aigua en l'interior del sòl/subsòl té una doble afectació en qualsevol projecte constructiu. D'una banda, canvia les característiques dels materials implicats; generalment en sol reduir les seves prestacions, i de l'altra, condiciona la manera en què s'han d'executar els treballs a l'obra.

Pel que fa al primer aspecte, el del canvi en el comportament del terreny, les variacions afecten sobretot els sòls no consolidats. En el cas dels materials granulars, com les sorres i graves, l'aigua lubrica la matriu de l'agregat i redueix la pressió efectiva, la derivada exclusivament del pes de les partícules. Això es tradueix en una davallada de l'angle de fregament intern i, en el seu cas, de la cohesió. En l'estat dels sòls cohesius, com les argiles i llims, la influència de l'aigua és determinant. A mesura que s'incrementa la humitat, el sòl perd viscositat i resistència al tall (cohesió i angle de fregament més reduïts) i es fa més compressible. Això és degut al fet que les molècules d'aigua s'intercalen entre les partícules i dificulten els enllaços que proporcionen els cations. A més del comportament descrit, que és genèric per als sòls cohesius, n'hi ha alguns de particulars que cal ressaltar. És el cas de les argiles de plasticitat elevada, que tendeixen a absorbir l'aigua a partir dels seus minerals constituents i això motiva que s'inflin i exerceixin subpressions no desitjables. També ho és el dels llims d'escassa



compacitat i que estan lleugerament cimentats. En aquest cas l'aigua dissol les sals del ciment i, si el sòl està sotmès a una càrrega, l'absència o elevada feblesa dels punts d'unió motiva que el sòl es col·lapsi. Aquest fenomen es tradueix per assentaments d'elevada magnitud. En definitiva, els efectes descrits que l'aigua té en sòls no consolidats fa que aquests disposin de menys capacitat portant i siguin més susceptibles de deformar-se i, en situació de desconfinament, trencar-se. En sòls ben consolidats i/o terrenys rocallosos, la presència d'aigua se sol limitar a les discontinuïtats que hi puguin haver. El seu efecte es limita principalment a reduir l'angle de fregament intern al llarg d'aquests plans i la pressió efectiva. Les prestacions d'aquest tipus de terreny resten a la baixa, sobretot, pel que fa a l'estabilitat de talussos.

Quant a l'execució de l'obra, l'existència d'aigua condiciona com fer l'excavació del terreny, tant a nivell de contenció com d'accessibilitat. Qualsevol excavació que es faci, es tracti d'una rasa, pou, perforació o un calaix profund, provocarà una depressió momentània del nivell de l'aigua, que es tendirà a restituir a partir de fluxos poc inclinats des de les parets i verticals des del fons. La circulació generada cara a recuperar l'equilibri tendirà a desconfinar el terreny, amb els consegüents problemes d'estabilitat de les parets i l'aixecament del fons, i farà impracticable l'avanç. Que aquesta problemàtica sigui més o menys acusada dependrà de la natura i distribució dels



materials implicats i de la pressió de l'aigua. Així, fer un rebaix en un terreny saturat, com el que se sol trobar a les planes al·luvials i maresmes, se sol resoldre amb unes pantalles convenientment encastades i una llosa, i no amb uns murs i sabates clàssics en un terreny eixut. La justificació de la pantalla rau en el fet que la major longitud d'aquest element de contenció fa que el flux d'aigua, que tendeix a equilibrar el nivell dins i de fora del recinte, sigui sensiblement més llarg i això li faci perdre pressió. Aquest fet motiva que el cabal que entra pel fons resti minorat i la menor pressió fa que el nivell interior es mantingui deprimat, la qual cosa permet avançar el rebaix. En el cas freqüent que, a més, es bombegi aigua del fons del rebaix es pot generar una situació de sifonament. Aquesta sol afectar terrenys poc permeables i es manifesta per l'aparició progressiva d'una capa fangosa que cal sanejar prèviament a la construcció de la llosa. Constitueixen exemples propers del que s'ha indicat, les excavacions per a dos i tres soterranis en diversos sectors del centre de la ciutat de Girona. En el cas concret de fonamentacions profundes, també l'aigua representa un altre factor que condiciona la tipologia de l'element encastat. Per als pilons, la sostenibilitat i el formigonatge en terrenys submergits es poden garantir en aquells que incorporen una camisa metàl·lica (CPI-2, CPI-3, CPI-4 i CPI-5) però no sempre a la resta. En el clàssic CPI-8 sí que s'assegura que la perforació no es desplomi però l'existència de fluxos d'aigua intensos poden afectar el formigonatge i generar punts estrangulats.

En definitiva, l'aigua en el terreny fa que aquest tingui menys prestacions i sigui més costós de sostenir. Això condiciona el tipus i les dimensions dels elements de fonamentació i sostenibilitat i la seva execució a l'obra. En conseqüència, resulta molt important disposar d'un coneixement previ del comportament hidrogeològic del terreny. En cas contrari la presència no esperada d'aigua pot obligar a aturar l'obra per tal de recalcular i/o refer el projecte i el sistema constructiu, amb el consegüent cost que això suposa. En alguns casos no s'arriba a modificar res però s'han d'aplicar mesures complementàries, que sens dubte també incrementen el cost de l'obra.

L'existència d'aigua és coneguda àmpliament i popular en algunes zones, com planes costaneres on el terreny es troba submergit



fins prop de la superfície, però, per contra, és molt més limitat en altres on hi ha fluctuacions importants. Aquest darrer cas es dona a la població de Palafrugell, on, per sota d'uns 2 a 4 m de sediments, hi sol haver un substrat rocallós relativament impermeable que limita la percolació. D'aquesta manera, l'aigua tendeix a circular a la zona de contacte entre la cobertora i el substrat i el seu nivell oscil·la sensiblement en relació directa amb els aportaments. Aquesta situació ha comportat que en alguns solars la fonamentació és modificués, de les sabates inicialment previstes a la solució definitiva amb llosa.

El coneixement del comportament hidrogeològic del terreny és indispensable i aquest no s'ha de limitar només a detectar aigua. Cal també tenir dades de possibles fluctuacions, a partir de piezòmetres de control o antecedents documentats, i del caràcter confinat o lliure de la formació saturada.

AGRESSIVITAT DE L'AIGUA

L'aparellador responsable del control de qualitat ha de tenir informació de l'aigua que es pot trobar en una execució. L'anàlisi de laboratori determinarà si aquesta és agressiva per al formigó i, per tant, si cal escollir un ciment diferent o si cal adoptar mesures complementàries.

L'anàlisi a què es fa referència es porta a terme en una mostra que se sol agafar d'un sondatge. La mostra ha de ser no inferior a 2 litres, s'ha de prendre amb un recipient hermètic



Paràmetre	Agressivitat feble	Agressivitat mitjana	Agressivitat forta
Valor de pH	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Residu sec (mg/l)	75-150	50-75	>50
CO ₂ (mg/l)	15-40	40-100	>100
Amoni NH ⁴⁺ (mg/l)	15-30	30-60	>60
Magnesi Mg ²⁺ (mg/l)	300-1.000	1.000-3.000	>3000
Sulfats (SO ₄ ²⁻) (mg/l)	200-600	600-3.000	>3.000

i ha d'estar al laboratori abans de 24 hores. La disposició normativa vigent de l'anàlisi la marca la *Instrucció de Hormigón Estructural* (EHE-98) i preveu la determinació del pH i la concentració de residu sec, diòxid de carboni CO₂, amoni NH⁴⁺, magnesi Mg²⁺ i sulfats SO²⁻. L'agressivitat de l'aigua ve donada pels processos de lixiviació dels components, la intensitat dels quals es valora a partir dels quatre primeres paràmetres, i per l'atac químic i formació de compostos, aquests darrers expressats amb els dos restants. En funció dels valors obtinguts i els intervals especificats en la taula següent, l'aigua és qualificada com a no agressiva o bé d'agressivitat dèbil, mitjana o forta. (veure quadre superior)

Determinada l'agressivitat, la mateixa instrucció EHE-98 designa una classe específica d'exposició a partir de la qual recomana el tipus de ciment, la dosificació i el recobriments de les armadures.

A les comarques gironines, les aigües se solen qualificar com a no agressives o d'agressivitat dèbil. En són una excepció les zones a tocar de la costa i riques en sulfats, les àrees amb formacions guixoses infrajacentes (Ripollès, Garrotxa i Pla de l'Estany) i franges properes a falles de salt important en què hi ha una concentració anòmala de diòxid de carboni (zona del barri de Pedret i Campdorà de Girona, entre altres).

ESTABILITAT DE TALUSSOS

Tant a la direcció i execució com al coordinador de seguretat els cal conèixer quin és l'angle a què cal abatere els talussos d'excavació per tal d'assegurar la seva estabilitat o, en cas contrari, si cal prendre mesures provisionals de contenció.

L'estabilitat del terreny enfront d'una excavació depèn de l'angle de fregament intern, la cohesió i densitat, pel que fa als materials, i de l'alçada i inclinació, pel que fa al talús. Pel que fa als paràmetres i propietats del terreny és molt important de quantificar-los amb precisió a l'efecte de limitar la incertesa de resultats i haver d'aplicar factors de seguretat excessius.

Quan es fa referència a l'estabilitat, cal discriminar entre la situació a curt termini, el període en què es perllonguen els moviments convencionals de terres, i a llarg termini, que s'estendria com a mínim al llarg de la vida de la construcció. Aquesta diferenciació té bàsicament sentit en els sòls no consolidats i especialment en aquells en què hi ha abundància de fins, ja que aquesta rau en el drenatge de la fracció fina. En aquest tipus de terrenys poc permeables el drenatge és lent, i durant un cert període de temps el material disposa d'una cohesió aparent $-c_u$ associada a l'efecte de l'aigua que li permet suportar talussos verticals d'alçada concreta. En aquesta situació i per a sòls fins s'ha establert una relació matemàtica que lliga l'alçada crítica d'un talús vertical H_{crit} en funció de la cohesió aparent ($H_{crit} = 4 \times c_u / \text{densitat}$). A llarg termini el mateix material pot haver drenat completament i en aquesta situació extrema es comportarà com un sòl granular net. En aquest darrer terreny el drenatge és sempre efectiu, la qual cosa fa que no es pugui comptar amb la cohesió i que la inclinació estable dels fronts d'excavació es correspongui amb l'angle de repòs del material. Aquest és d'uns 30 a 50 graus per a sorres i graves i de 15 a 30 per als sòls fins. Els sòls consolidats solen disposar de cohesió efectiva i fregament intern i això garanteix l'estabilitat de talussos més inclinats que els de sòls recents. En el cas d'un substrat rocallós la matriu sol tenir, excepte quan la roca està alterada, una cohesió important que



a priori li permetria suportar talussos verticals. Tanmateix, és la disposició de les discontinuïtats que gairebé sempre presenta la roca la que condicionarà l'estabilitat del talús. En funció de la seva orientació respecte al pla de talús i la resistència al tall aquestes superfícies permetran o no una ruptura.

L'informe geotècnic ha de pronunciar-se correctament de l'angle estable de les excavacions i per això cal la realització de sondatges amb obtenció de mostres inalterades. Les prospeccions al camp s'han d'acompanyar d'assaigs de laboratori, com el tall directe i la compressió a la premsa triaxial, que proporcionin valors de cohesió i angle de fregament intern, amb i sense drenatge si és necessari. Amb aquests paràmetres quantificats i després d'haver seleccionat el model de càlcul adient, cal determinar el factor de seguretat dels talussos i en el seu cas valorar l'aplicació de mesures de contenció per incrementar-lo.

CONCLUSIONS

- Com es pot veure, aquests tres aspectes són temes prou importants per a un bon procés constructiu i que depenen tots ells de l'estudi geotècnic.
- És per això que, a més del projectista, seria interessant que la Direcció de l'Execució de l'Obra intervingués a l'hora d'encarregar l'estudi geotècnic perquè aquest sigui complet i d'utilitat per al seu treball.

- Un estudi com cal no només ha de parlar de la resistència del terreny sinó que ha d'aportar moltes altres dades, moltes de les quals estan fonamentades amb assaigs de camp i de laboratori.
- Un treball geotècnic basat només amb cales o exclusivament amb assaigs de penetració dinàmica contínua no donarà mai les dades i la fiabilitat que es necessita. Per disposar d'informació garantida cal una prospecció de camp amb sondeigs de testimoni continu i un complet treball d'un laboratori acreditat.

ERNEST OLIVERES

President del Col·legi d'Aparelladors
i Arquitectes Tècnics de Girona

IGNASI CAPELLÀ

Geòleg de l'Àrea de Geotècnia del CECAM

LA DIRECTIVA DE PRODUCTES DE LA CONSTRUCCIÓ I LA MARCA CE

La Directiva de Productes de la Construcció (DPC) 89/106/CEE neix de la voluntat d'alliberar el mercat de la Unió Europea de les barreres tècniques que tradicionalment han dificultat el comerç de productes de la construcció entre els estats.

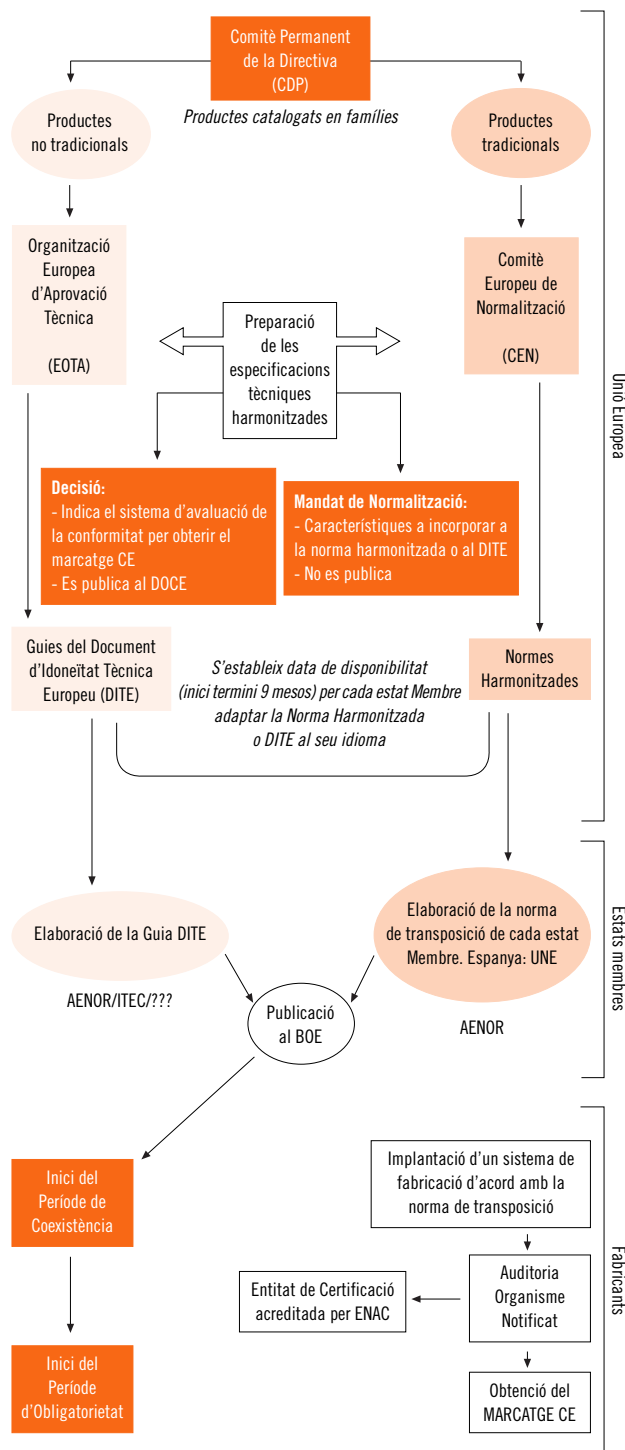
La particularitat d'aquesta normativa és que afecta un gran nombre de productes. Concretament, i segons es defineix en la Directiva, s'aplicarà a tots els productes de la construcció entenent com a producte de construcció tot aquell fabricat per a la seva incorporació amb caràcter permanent a les obres de construcció incloent tant les obres d'edificació com d'enginyeria civil.

El procés d'implantació de la DPC està essent llarg i lent. La directiva es va aprovar l'any 1989 i no ha estat fins a l'any 2001 que ha aparegut la primera norma harmonitzada i s'ha començat a posar en pràctica de manera més o menys regular. Això és degut al fet que per a cada producte cal elaborar una norma europea harmonitzada, transposar-la als diferents estats membres, adaptar els processos de fabricació als requisits de la norma per a l'obtenció final, per part del producte, de la marca CE, a més del gran nombre de sectors industrials que afecta. *(veure gràfic)*

Es calcula que al voltant de l'any 2009 s'acabarà el procés d'implantació de la DPC amb l'harmonització de més de 500 normes.

Aquesta Directiva pretén definir els requisits essencials sobre la seguretat i altres aspectes que són importants per al benestar general, sense reduir els nivells existents i justificats de protecció dels estats membre, per constituir així les bases per a la preparació de les normes harmonitzades a nivell europeu.

Les normes harmonitzades són establertes per organismes europeus de normalització d'acord amb els procediments de la Directiva que es transposa. Són un patró de referència on es detallen els requisits essencials que afecten els productes per poder ser utilitzats a tots els estats membres.



La marca CE és, doncs, la marca final que s'atorga a un producte i que certifica que compleix amb els requisits que s'estableixen en les normes harmonitzades.

De la marca CE ja se n'ha parlat amb anterioritat en aquesta revista (*El marcatge CE pels àrids, Nivell núm 4, Joaquim Romans i Ramió Cap de Qualitat del Cecam*) per aquest motiu ara només recordarem els 5 punts clau:

- El marcatge CE és un passaport pel qual un determinat producte es pot comercialitzar a qualsevol estat membre de la Unió Europea.
- No és una marca de qualitat, per tant no exigeix el tècnic de realitzar el control del producte.
- És responsabilitat del fabricant.
- Cal que figuri en el producte, en una etiqueta adherida a l'embalatge o en els documents comercials segons el cas. Aquesta marca anirà seguida del número d'identificació de l'organisme encarregat de la fase de control de la producció, i hi constarà també el nom o la marca distintiva del fabricant, les dues últimes xifres de l'any de col·locació del marcatge CE i, quan calgui, el número de Certificat CE de conformitat.
- S'estableixen dues dates per a cada producte, l'inici del període de coexistència (marca CE voluntària) i el final del període de coexistència (marca CE obligatòria).

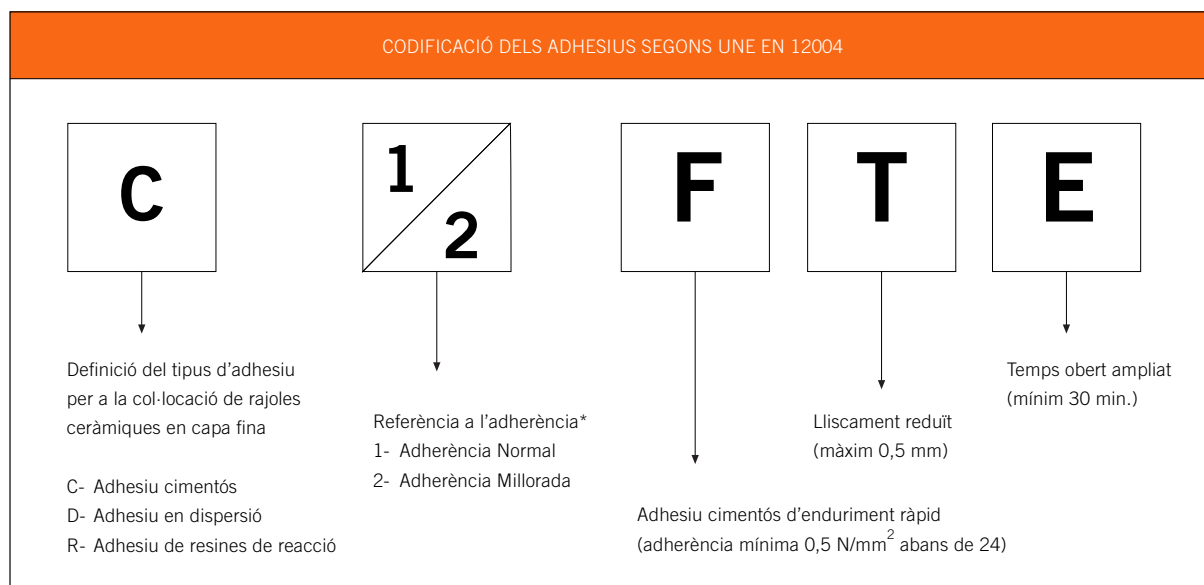
LA MARCA CE A L'OBRA

La recepció de productes de construcció a obra és competència del director de l'execució material d'aquesta, i és responsabilitat seva l'acceptació o rebuig d'aquests productes. Per tant, és obligació del director de l'execució verificar que tots els productes afectats pel marcatge CE porten correctament aquest marcatge i que s'aporta la documentació addicional necessària en cada cas. Cal que aquesta documentació estigui escrita almenys en l'idioma oficial de l'estat.

No obstant això, en alguns casos el compliment de les normes harmonitzades o les normes de transposició pot implicar canvis en la designació o definició de les característiques del producte, canvis que cal conèixer a l'hora de rebre el producte a obra. Tot seguit us descrivim dos casos concrets d'aquest fet.

Marcatge CE per als adhesius cimentosos

Des de l'1 d'abril de 2004 en compliment del RD 93/68/CE (transposició de la Directiva Europea 89/106/CEE) és obligatori el marcatge CE dels adhesius cimentosos. Tots els adhesius hauran de complir amb la norma harmonitzada UNE-EN-12004 i, segons aquesta, caldrà definir les seves característiques segons el següent quadre:



	C1	C2
Adherència*	superior o igual a: (N/mm ²)	
inicial	0,5	1
aigua	0,5	1
calor	0,5	1
gel-desgel	0,5	1
Temps obert 20 minuts	0,5	0,5

Marcatge CE per als morters d'obra de paleta i d'arrebossat

Des de l'1 de febrer de 2005 és obligatori el marcatge CE per comercialitzar morters per a obra de paleta i arrebossats interiors i exteriors. Les designacions d'aquests morters s'unifiquen en la "Instrucció sobre criterios para la puesta en práctica del marcado CE de los morteros para albañilería" de la Direcció General de Desenvolupament Industrial del Ministeri d'Indústria i, són les següents:

- Designacions homologades per identificar els morters de paleta en funció de la seva resistència a compressió en N/mm²

Resistència compressió N/mm ²	1,0	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	d*

Classe	M1	M2,5	M5	M7,5	M10	M15	M20	Md

d* resistència a compressió superior a 25 N/mm²

- Identificació homologada per als morters d'arrebossat interior i exterior en funció de les següents categories:

PROPIETATS	CATEGORIES	VALORS
Interval de resistència a compressió a 28 dies	CS I	0,4 a 2,5 N/mm ²
	CS II	1,5 a 5,0 N/mm ²
	CS III	3,5 a 7,5 N/mm ²
	CS IV	≥ 6 N/mm ²
Absorció d'aigua per capilaritat	W 0	No especificat
	W 1	c ≤ 0,40 kg/m ² min ^{0,5}
	W 2	c ≤ 0,20 kg/m ² min ^{0,5}
Conductivitat tèrmica	T 1	≤ 0,1 W/mk
	T 2	≤ 0,2 W/mk

Podeu consultar el llistat complet de materials amb marcatge CE obligatori i voluntari a l'apartat d'Informació Tècnica del web del Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Girona www.aparellador.org

ANNA FERRER I ROBERT
GEMMA SOLER I PUJOL
Arquitectes Tècniques
Gabinet Tècnic de CECAM



CECAM ASSOLEIX LA CERTIFICACIÓ ISO 14001 DE GESTIÓ MEDIAMBIENTAL



A partir de l'any 1996 CECAM va endegar una política d'actuació amb l'objectiu d'assolir els més alts nivells de qualitat, en tots els àmbits de la seva actuació.

Actualment disposem d'un sistema integrat de gestió que permet tractar totes les nostres activitats amb els requisits de qualitat, de prevenció de riscos laborals i de respecte pel medi ambient.

En aquest camí s'han assolit diverses fites referides als serveis d'assaigs i a les inspeccions. D'aquests, cal destacar les acreditacions per als assaigs segons ISO 17025 concedides per diversos departaments de la Generalitat i per ENAC, les acreditacions per a les inspeccions segons ISO 17020, concedides pel Departament de Medi Ambient que ens permet

actuar com a Entitat Ambiental de Control i, per últim, també disposem d'altres acreditacions concedides per diversos departaments relacionats amb aspectes de Sanitat, Agricultura i Medi Ambient.

Totes aquestes acreditacions són un reconeixement extern de la capacitat tècnica de CECAM per poder realitzar aquests assaigs i inspeccions. Ens calia, però, a més, el reconeixement que les nostres actuacions són respectuoses amb el medi ambient. Per assolir aquest nou objectiu, vàrem començar a treballar en aquesta tasca a partir de l'any 2003.

El treball s'ha dividit en tres fases: La primera ha consistit a establir una sistemàtica per tenir sota control totes les actuacions i els indicadors que puguin afectar el medi ambient. La segona s'ha dedicat a verificar i corregir totes les variables fins a assegurar el compliment de tota la normativa que ens afectava. Per últim, s'han establert els mecanismes per al manteniment del sistema amb l'objectiu de millora permanent.

Una vegada completades les tres fases esmentades, i amb data 7 de setembre de 2005, hem obtingut el certificat d'aprovació conforme amb la norma UNE-EN-ISO 14001/04, la qual cosa vol dir que una entitat externa degudament acreditada per ENAC ha verificat que el sistema de gestió mediambiental que CECAM ha implantat i aplica, compleix els requisits d'aquesta norma. O, el que és el mateix, es reconeix el compromís de CECAM vers el respecte pel medi ambient, l'eficàcia del sistema que hem establert per a la prevenció d'agressions mediambientals i la recerca de millora permanent.

L'aprovació obtinguda abasta les instal·lacions de Celrà, Olot, Lloret i Vilamalla.

JOAQUIM ROMANS
Cap de Qualitat de CECAM



OBTENIR LA LLICÈNCIA D'ACTIVITATS... ÚLTIMA OPORTUNITAT!

Des de l'entrada en vigor de la Llei 3/1998, de la Intervenció Integral de l'Administració Ambiental (IIAA), el sistema per obtenir la llicència d'activitats ha estat en constant canvi: modificacions de les classificacions d'activitats, pròrrogues dels terminis, ...

Les empreses tenien de termini fins l'1 de gener de 2004 per tramitar la sol·licitud de la llicència ambiental, però un cop passada aquesta data, s'estima que només un 30% de les activitats havien complert la llei.

Ara, amb l'entrada en vigor del Decret 50/2005, s'estableix un procés escalonat d'adequació en tres terminis successius (un cada semestre fins a l'1 de gener de 2007). Segons diversos criteris de prioritat l'administració requerirà a les activitats que s'adeqüin a un d'aquests tres terminis.

Actualment, més de 34.000 empreses han de realitzar l'avaluació ambiental i la verificació de la seva activitat per tal d'obtenir la llicència ambiental.

L'objectiu del Departament de Medi Ambient és substituir les antigues llicències d'activitats, sectorials i estàtiques, per les modernes llicències ambientals, que reuneixen en un únic document que l'activitat compleix la legislació sectorial que li és d'aplicació. L'avaluació ambiental reflecteix el funcionament de l'activitat en referència a les aigües, residus, sorolls, emissions atmosfèriques i prevenció d'incendis.

Aquest informe d'avaluació ambiental, l'ha d'elaborar un tècnic competent o una enginyeria i ha d'estar verificat per una Unitat Tècnica de Verificació Ambiental (UTVA), entitat formada per una Entitat Ambiental de Control (EAC).

Les empreses que no presentin a temps l'avaluació ambiental degudament verificada podran ser sancionades amb més de 6.000 euros i amb el tancament de la seva activitat.

Estan afectades per aquesta legislació totes les activitats de diversos sectors:

- Indústries minerals i de la construcció
- Indústries químiques
- Indústries tèxtils
- Indústries alimentàries
- Indústries de la fusta, el suro i els mobles
- Indústries del paper
- Activitats de gestió de residus

- Activitats agroindustrials i ramaderes
- Activitats comercials
- Establiments dedicats als serveis
- Establiments recreatius, d'espectacles i oci

Tot això ve regulat pel **Decret 50/2005**, que es pot sintetitzar de la manera següent:

QUIN ÉS L'OBJECTIU?

Aquest decret desplega la Llei 4/2004, d'1 de juliol, reguladora del procés d'adequació a la Llei 3/1998 de les activitats amb incidència ambiental.

Alhora, amb aquest decret es modifiquen determinats preceptes del Decret 220/2001, d'1 d'agost, de la gestió de les dejeccions ramaderes.

QUAN VA ENTRAR EN VIGOR?

El Decret 50/2005, de 29 de març va ser publicat al DOGC núm. 4353 de 31 de març de 2005 i va entrar en vigor l'endemà de ser publicat, és a dir, el dia 1 d'abril.

A QUINES ACTIVITATS S'APLICA?

És d'aplicació a les activitats existents, classificades en els annexos I i II de la Llei 3/1998, que encara no han iniciat els tràmits d'adequació a l'administració corresponent i que han de sol·licitar l'autorització o llicència ambiental.

QUINS TERMINIS ESTABLEIX EL PROGRAMA D'ADEQUACIÓ?

L'objectiu del programa és ordenar el procés d'adequació de les activitats existents. Amb aquesta finalitat estableix tres períodes d'adequació de durada semestral.

Cada activitat individualment serà inclosa en un d'aquests tres terminis i caldrà que presenti la sol·licitud d'autorització o llicència ambiental abans de les dates corresponents:

- 1er període abans de l'1 de gener de 2006
- 2n període abans de l'1 de juliol de 2006
- 3er període abans de l'1 de gener de 2007



Els titulars de les activitats rebran un requeriment d'adequació per part de l'administració competent on s'informarà de manera personalitzada en quin d'aquests tres períodes s'ha d'adequar l'activitat. En el cas que en data 1 d'octubre de 2005 no s'hagi rebut el requeriment administratiu s'entén que el termini d'adequació de l'activitat és abans de l'1 de Juliol de 2006.

QUIN PROCEDIMENT S'HA DE SEGUIR?

El titular de l'activitat ha de presentar a l'administració corresponent la sol·licitud d'adequació acompanyada d'una avaluació ambiental degudament verificada per una UTVA.

QUÈ ÉS L'AVALUACIÓ AMBIENTAL?

L'avaluació ambiental la pot realitzar la mateixa empresa, una empresa externa, una enginyeria, una consultoria... També pot realitzar l'avaluació ambiental una Entitat Ambiental de Control (EAC), però després no podrà ser verificada per la UTVA d'aquesta mateixa entitat.

QUÈ ÉS LA VERIFICACIÓ?

L'informe de verificació de l'avaluació ambiental, l'ha de realitzar una UTVA. L'activitat ha de contractar la verificació a una UTVA amb una antelació mínima de 3 mesos abans que finalitzi el termini màxim fixat en el requeriment d'adequació. La UTVA no pot formalitzar un contracte d'una verificació si no garanteix que s'haurà realitzat abans que finalitzi el termini màxim fixat en el requeriment d'adequació.

En cas que l'informe de verificació demostrï que l'activitat presenta incompliments respecte la legislació ambiental exigible i que consideri que són esmenables, el titular de l'activitat ha de presentar un programa de correcció.

QUÈ SÓN LES UTVA?

Les UTVA són Unitats Tècniques de Verificació Ambiental degudament acreditades pel Departament de Medi Ambient. Només poden ser acreditats com a UTVA les Entitats Ambientals de Control (EAC) i els verificadors ambiental EMAS.

ON S'HA DE PRESENTAR LA SOL·LICITUD D'ADEQUACIÓ? (Veure Taula 1)

QUAN ES RESOL L'EXPEDIENT?

Les activitats, classificades en l'annex II, que hagin presentat la sol·licitud d'adequació abans de l'entrada en vigor d'aquest decret i que estan pendents de resolució, hauran de ser resoltes, per part de l'administració, abans de l'1 de novembre de 2004. En el cas de les activitats que tramitin l'adequació segons aquest nou sistema, l'administració competent ha de dictar i notificar la resolució de l'expedient en el termini màxim de 6 mesos, a comptar des de l'entrada de la sol·licitud a l'administració corresponent. Si transcorregut aquest termini no s'ha notificat la resolució s'entén que l'autorització o llicència està atorgada, per silenci administratiu.

MARIONA GARRIDO I VALENTÍ
Directora de l'Entitat Ambiental de Control
CECAM

Taula 1: On s'ha de presentar la sol·licitud d'adequació?

Classificació activitat	Règim	Administració competent
Annex I	Autorització ambiental	OGAU Oficina de Gestió Ambiental Unificada del Departament de Medi Ambient
Annex II.1	Llicència ambiental	OGAU Oficina de Gestió Ambiental Unificada del Departament de Medi Ambient
Annex II.2	Llicència ambiental	Ajuntament

EDITORIAL (ver pág. 2)

En este número querríamos destacar, entre otros artículos, el que describe el muy emotivo acto en que se otorgó a nuestro Auditorio de las instalaciones de Celrà el nombre del compañero Joan Maria Gelada, miembro hasta su fallecimiento del Consejo de Administración de CECAM. Y también el que se refiere a la inauguración del Vivero de Empresas que nace del convenio firmado entre el CECAM, el Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Gerona, el Ayuntamiento de Celrà y el Parque Científico y Tecnológico de la Universidad de Gerona.

Ambos actos fueron muy emotivos, uno por el recuerdo del compañero Joan Maria Gelada, que impulsó el inicio de este Centro, hace ya 29 años, como una apuesta por la calidad en el mundo de la construcción y en un tiempo en que ese tema era tabú y estaba descuidado por la iniciativa privada.

Y el otro acto fue la nueva apuesta de futuro, la inauguración del Vivero de Empresas, como ramificación del Parque Científico Tecnológico de la UdG, que tiene como objetivo dar un servicio a la sociedad consistente en ayudar a crear empresas a jóvenes emprendedores para que puedan ver realizados sus objetivos, y a la vez potenciar la investigación y la innovación básicamente en los sectores de la construcción y el medio ambiente.

Estos dos actos fueron presididos por los señores Joaquim Nadal, consejero de Política Territorial y Obras Públicas de la Generalitat de Cataluña; Francesc Camps, alcalde de Celrà; Joan Batlle, rector de la UdG que asistía también como presidente del Parque Científico y Tecnológico, y la sra. Pía Bosch, delegada del Gobierno entre muchas otras autoridades y representantes del mundo empresarial. Este hecho nos llena de alegría y nos anima a continuar con este espíritu de colaboración entre nuestro centro, las administraciones, el mundo empresarial y la universidad.

Tenemos que comunicar también que ya hemos tenido las primeras solicitudes de jóvenes emprendedores para ocupar el Vivero y que ya son tres las propuestas seleccionadas, que cumplen los requisitos que se piden y que próximamente iniciarán su actividad.

Dentro de los muchos objetivos que tenemos en el CECAM, es bueno mencionar que nuestra empresa ha alcanzado la certificación ISO 14001 en gestión ambiental en todas nuestras instalaciones que tenemos en Celrà, Lloret de Mar, Olot y Vilamallà. Éste es un reto que teníamos y que amplía el compromiso y apuesta por el control y la mejora del medio ambiente de nuestro país; por eso le dedicamos un artículo.

Otros artículos de esta revista tratan temas que son y han sido de actualidad, como son:

- El uso de tuneladoras en las grandes obras civiles en Cataluña, donde se da la visión de cómo son y cómo trabajan.

- Los efectos del fuego sobre el hormigón armado, porque por desgracia los siniestros de este tipo son frecuentes. Es por ello que el artículo nos habla de varios puntos a tener en cuenta.

- Verificación de patologías detectadas en el ensayo sónico de integridad estructural de los pilotes.

- El sello CE y otros artículos que no citamos, pero que, al leerlos, veremos que tienen mucha calidad y nos ofrecen puntos de vista muy interesantes.

Finalmente, deseo y es casi seguro que en la próxima editorial hablaremos del esperado Código Técnico de la Edificación, porque ya habrá sido publicado en el BOE. Si no es así, no hay que desesperar, ya que estamos muy acostumbrados a las esperas. La LOE (Ley de Ordenación para la Edificación, para no confundir con otras LOE) tardó más de 13 años en salir, respecto a aquel único año que indicaba la ley 12/1986. La ley 38/1999 decía que el Código Técnico de la Edificación se publicaría dos años después de entrar en vigencia; ahora llevamos más de tres años de retraso, no hacen falta comentarios... Os deseamos un feliz año nuevo!

MIQUEL MATAS NOGUERA

Presidente del Consejo de Administración del CECAM

INAUGURACIÓN DEL VIVERO DE EMPRESAS Y EL AUDITORIO JOAN M. GELADA EN EL CECAM DE CELRÀ (ver pág. 4)

El día 13 de junio del presente año inauguramos, en las instalaciones del CECAM de Celrà, el Vivero de Empresas y el Auditorio.

El Auditorio se dedicó a la memoria de nuestro compañero y amigo Joan M. Gelada, desgraciadamente desaparecido ahora hace un año, ex presidente del Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Gerona, ex concejal de urbanismo y teniente de alcalde del Ayuntamiento de Gerona, que ahora participaba activamente en nuestra empresa como consejero delegado.

El vivero de empresas es una realidad que ha sido posible gracias a la colaboración de tres instituciones: la Universidad de Gerona, el Ayuntamiento de Celrà y el Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Gerona, con la implicación añadida del CECAM.

El acto empezó al descubrirse la placa que da el nombre de Joan M. Gelada al Auditorio, por parte de su hijo, el arquitecto técnico Xavier Gelada, en presencia de las autoridades y asistentes al acto. A continuación, en el Auditorio, las autoridades asistentes al acto, el sr. Miquel Matas, presidente del Consejo de Administración del CECAM; el sr. Ernest Oliveras, presidente del Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Gerona; el sr. Francesc Camps, alcalde de Celrà; el sr. Joan Batlle, rector de la UdG, y el sr. Joaquim Nadal, consejero de Política Territorial y Obras Públicas de la Generalitat de Cataluña y portavoz del Govern, realizaron sus respectivos parlamentos para explicar los orígenes del CECAM y su evolución hasta llegar al estado actual, los motivos que han movido a las tres instituciones para crear el Vivero de Empresas de Celrà, que a su vez forma parte del Parque Tecnológico de la UdG, el problema de las deslocalizaciones de empresas, y glosar la tarea que a lo largo de su vida llevó a cabo nuestro compañero Joan M. Gelada, tanto en su vertiente de presidente del Colegio, etapa en que fundó el primer laboratorio de ensayo de las comarcas gerundenses, que es el origen del actual CECAM, como en la de concejal de Urbanismo y de la vía pública del Ayuntamiento de Gerona, como en la de profesor de la UdG. El Sr. consejero tuvo palabras de elogio tanto para el compañero Joan M. Gelada como para el Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Gerona. Este emotivo y entrañable acto se cerró con una visita al Vivero de Empresas.

Queremos hacer llegar nuestro agradecimiento a las distintas personalidades y cargos significativos de nuestras comarcas y a todos quienes nos acompañaron, entre ellos la delegada del Gobierno en Gerona, la sra. Pía Bosch; la alcaldesa de Gerona, la sra. Anna Pagans; el subdelegado del Gobierno Central, sr. Francesc Francisco Busquets, y el coordinador de los servicios técnicos de Agricultura, Ganadería y Pesca, sr. Josep Guix.

EL VIVERO DE EMPRESAS

El Vivero de Empresas es un espacio donde se han habilitado una serie de despachos completamente equipados, con mobiliario y equipamiento informático, a disposición de los jóvenes emprendedores que quieran crear una empresa en los ámbitos de la construcción y del medio ambiente, aunque también se pueden aceptar otros campos. Hay que presentar un proyecto empresarial a la Fundación del Parque Científico y Tecnológico de la Universidad de Gerona. En la comisión encargada de elegir los proyectos están representados la UdG, el Ayuntamiento de Celrà, el CECAM, el Parque Científico y Tecnológico de la UdG y el Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Gerona.

Los despachos se pondrán a disposición de los jóvenes emprendedores a los que la comisión haya aceptado el proyecto empresarial, de forma gratuita los primeros 3 meses de la actividad, y con un alquiler de 50 / m² durante el primer año y de 80 / m² durante el segundo ejercicio.

Pueden presentar proyectos para su evaluación los titulados o estudiantes universitarios que quieran crear una empresa en los ámbitos de la construcción y del medio ambiente. Podéis encontrar la convocatoria y los requisitos para presentar el proyecto en la página Web del Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Girona, www.aparellador.org

LOS EFECTOS DEL FUEGO SOBRE EL HORMIGÓN ARMADO (ver pág. 6)

El reciente incendio de la Torre Windsor en Madrid volvió a poner de actualidad el debate sobre cuáles son las estructuras que tienen mejor comportamiento ante el fuego y sobre qué medidas de protección contra incendios hay que adoptar. La conclusión, según la mayoría de expertos, es que no hay un material mejor o peor por sí mismo, sino que se trata de la respuesta del edificio en conjunto, y que hay tres puntos de especial incidencia: la detección, la evacuación y la reducción del impacto del fuego en el edificio. Estos dos estudios del edificio en conjunto se denominan ISAI (ingeniería de seguridad ante incendio) y se basan en unos modelos de cálculo complejos.

Una vez declarado un incendio, su gravedad recae en dos aspectos; por un lado, en los gases tóxicos que se generan y que afectan a las personas y, por otro lado, en el calor que se alcanza y que afecta a la estructura. En este artículo nos centraremos en los cambios que producen las elevadas temperaturas en el hormigón armado.

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL ANTE EL FUEGO DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

La respuesta de una estructura de hormigón ante un fuego es compleja porque se trata de un material mixto (hormigón y acero) que a partir de los 200°C cada uno de ellos tiene un comportamiento diferente. Analizaremos primero el comportamiento de cada material por separado y después el del conjunto.

El hormigón

La conductividad térmica del hormigón es baja y, por tanto, la penetración del calor en el interior de la pieza se puede considerar lenta. Aun así, dependiendo de la geometría de la pieza y de las características del hormigón (tipo de árido, porosidad, etc.), la velocidad de propagación puede variar. No es lo mismo un elemento de sección cuadrada que uno de circular, ni un árido silíceo que uno calcáreo que tiene un coeficiente de conductividad más bajo. A modo de ejemplo, en uno de los casos más habituales como son los pilares de sección cuadrada, las esquinas son las zonas más débiles ante un incendio, ya que el calor incide en ellas por dos lados y además suele ser en estas zonas donde el hormigón se encuentra menos compactado.

La pérdida de resistencia del hormigón con el aumento de la temperatura se muestra gráficamente en la fig. 1 (ver pág. 6—Coeficiente $k_s(\theta)$ de disminución de la resistencia característica a compresión (f_{ck}) del hormigón de áridos silíceos a altas temperaturas—) extraída del eurocódigo 2 parte 1-2, donde se observa que para temperaturas inferiores a 100°C no hay una pérdida de resistencia significativa. Para el rango de temperaturas comprendidas entre los 100 y los 400°C hay una pérdida de resistencia a compresión progresiva hasta llegar al 80% de la resistencia inicial, y la pérdida más acusada de resistencia se produce a partir de los 400°C, llegando al 50% de la resistencia inicial en temperaturas próximas a los 600°C y a la destrucción del hormigón alrededor de los 900°C.

Esta pérdida de resistencia causada por las altas temperaturas va acompañada de una transformación del aspecto externo del hormigón, que se puede apreciar con una inspección ocular.

0-100°C- Prácticamente no hay pérdida de resistencia a compresión y el elemento presenta un color negro (enmascarado). (Ver foto 1 pág. 7)

100-300°C- Se empiezan a marcar las primeras fisuras, principalmente en la zona de los estribos, y el hormigón adquiere un color gris claro; el agua de composición sale fuera, se arrastra la portlandita y se crea una capa externa de cal. Las pérdidas de resistencia a compresión oscilan alrededor del 15%. (Ver fotos 2 y 3 pág. 7)

300-600°C- El hormigón adquiere una tonalidad rosa, por la alteración de los compuestos de hierro. Las pérdidas de resistencia a compresión oscilan alrededor del 50%. (Ver fotos 4 y 5 pág. 7)

600-900°C- El hormigón adquiere una segunda tonalidad de color gris claro con partículas rojas que indican una alta succión de agua. A partir de los 600°C se puede considerar que el hormigón no tiene resistencia residual. (Ver foto 6 pág. 7)

> 900°C- Se produce la destrucción total del conglomerante, el hormigón adquiere un color blanco/amarillo y se vuelve blando.

El acero

A la hora de analizar el comportamiento del acero sometido a elevadas temperaturas hay que diferenciar ante todo si se trata de barras de armar o de acero pretensado. Tal como se puede observar en las figuras 2 y 3 (ver pág. 7—Coeficiente $k_s(\theta)$ de disminución de la resistencia característica (f_{yk}) del acero de armar a altas temperaturas: Curva 1: $k_s(\theta)$ aplicable por elongaciones $\epsilon_{s,fi} \geq 2.0\%$, Curva 2: $k_s(\theta)$ aplicable por elongaciones $\epsilon_{s,fi} < 2.0\%$ — y pág. 8—Coeficiente $k_s(\theta)$ de disminución de la resistencia característica (f_{yk}) del acero de pretensar a altas temperaturas: Curva 1: barras, Curva 2: alambres y cordones—) del Eurocódigo 2 parte 1-2, la pérdida de resistencia del acero es mucho mayor en acero de pretensar que en acero de armar. A modo de ejemplo podemos decir que a una pérdida de resistencia del 50% en el armado se llega con temperaturas próximas a los 500-600°C, mientras que en el pretensado se llega con temperaturas de 400°C.

Este hecho es especialmente importante si tenemos en cuenta que la mayoría del acero pretensado utilizado en edificios se localiza en viguetas de forjado, elementos especialmente sensibles al efecto de las altas temperaturas por el poco recubrimiento que suelen tener.

El acero, al enfriarse, recupera parte de su capacidad inicial. Se considera que para temperaturas inferiores a 500°C prácticamente puede recuperar el 100% de su capacidad, excepto los aceros deformados en frío (utilizados entre los años 1960 y 1975) y los aceros de pretensar que tienen comportamientos diferentes.

El hormigón armado

El principal problema que afecta a una estructura de hormigón armado expuesta a temperaturas elevadas es la pérdida de adherencia que se produce entre el acero y el hormigón. A pesar de tener un coeficiente de dilatación parecido, el acero es mucho mejor conductor y puede alcanzar elevadas temperaturas en zonas donde incluso el hormigón se encuentra relativamente frío. Al coger más temperatura, se dilata y se producen unas tensiones importantes en el perímetro de la barra (zona de unión del hormigón-acero) con la consiguiente fisuración del hormigón y la pérdida de adherencia entre ambos materiales. Esta pérdida es mayor después del incendio, cuando se enfría el material y se originan nuevos movimientos que llegan, en muchos casos, al desprendimiento del hormigón de recubrimiento. (Ver foto pág. 8—Desprendimiento del hormigón de recubrimiento—)

Otra consecuencia importante es la pérdida de durabilidad del elemento, ya que se aumenta la fisuración, se reducen los recubrimientos al evaporarse de forma brusca el agua contenida en los poros, lo que provoca unas tensiones importantes que originan el desprendimiento explosivo de parte del hormigón (efecto *spalling*) y, además, el hormigón sufre un proceso de carbonatación que provoca el aumento de la profundidad del frente de carbonatación. (Ver foto pág. 8—Efecto *spalling*—)

SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE UNA ESTRUCTURA AFECTADA POR EL FUEGO

Para la correcta evaluación de una estructura afectada por el fuego hay que combinar la información que se puede obtener con ensayos de laboratorio con una precisa inspección visual.

Se inicia la evaluación con una inspección ocular para, basándose en el aspecto que presentan los distintos elementos, el estado en que se encuentran los materiales confrontantes y la información que pueden facilitar los agentes implicados (propietarios, bomberos, vecinos...) de las características del incendio (origen, evolución, distribución de las cargas de fuego, etc.), realizar una primera clasificación de los elementos según su grado de afectación.

El paso siguiente es determinar para cada grado de afectación la capacidad residual del hormigón que, comparándola con la de un elemento del mismo edificio que no haya sido afectado, nos permitirá hacernos una idea aproximada de las temperaturas que se han alcanzado en la zona. También resulta útil la observación de los demás materiales próximos al elemento de hormigón armado, ya que su estado (fundido, deformado o no afectado) ayudará a conocer las temperaturas alcanzadas. (Ver cuadro —Puntos de fusión— pág. 9) La determinación de la capacidad residual del hormigón se realiza mediante un estudio por ultrasonidos. Esta técnica se considera la más fiable para este tipo de estudio por dos motivos principales:

- Al tratarse de un ensayo no destructivo se puede realizar en la totalidad de los elementos afectados y en diversos puntos de cada elemento en función de la distribución del fuego.
- Hay una coincidencia entre la temperatura a la que se produce la pérdida de adherencia hormigón-acero y la caída residual de la velocidad de propagación de las ondas. Parámetro muy importante a la hora de evaluar la estructura.

El estudio por ultrasonidos se completa con la extracción de testimonios en puntos donde se hayan obtenido valores de propagación característicos para determinar la resistencia real del hormigón en este punto. El testimonio que se extrae también permite determinar fácilmente el frente de carbonatación aplicando en él una disolución de fenolftaleína al 1%. Si en esta primera fase se considera la viabilidad del elemento hay que realizar un ensayo complementario para garantizar el correcto comportamiento del elemento en conjunto. Los ensayos que se realizan con más frecuencia son las pruebas de carga o la ruptura de un elemento en laboratorio.

Aspectos a tener en cuenta en la inspección de pilares

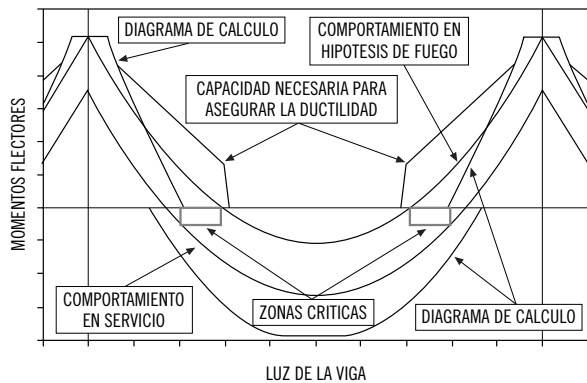
- El calor tiene tendencia a subir, por tanto, la parte más afectada suele ser la parte superior del pilar, donde las temperaturas que se alcanzan son mayores.
- Los pilares centrales suelen quedar más afectados, ya que no disponen de cierres en alguno de sus laterales que los puedan proteger.
- Cuanto mayor sea la cuantía de acero del pilar, más sensible será al efecto del fuego.
- Hay que andar con cuidado con pilares sometidos a excentricidades, ya que el deterioro más acusado de las esquinas puede provocar que la pérdida de la capacidad a flexión sea superior que a compresión. Se puede dar el caso de que pilares que sometidos a compresión centrada quedarían por el lado de la seguridad, sometidos a pequeñas excentricidades queden por el de la inseguridad.

Aspectos a tener en cuenta en la inspección de forjados

- Las vigas de canto quedan más afectadas que las planas, ya que tienen más superficie expuesta.
- Las viguetas son el elemento que queda más afectado debido al pequeño diámetro de las barras y a los recubrimientos menores.
- En viguetas armadas, la ruptura se produce tras el incendio, al enfriarse la armadura y perder la adherencia con el hormigón.
- En viguetas pretensadas, al calentarse se dilatan y pierden el pretensado colapsando durante el incendio.

- Hay que inspeccionar siempre la cara superior de un forjado que ha sufrido un incendio en el piso inferior, aunque pueda parecer que no se encuentra afectado. Al calentarse más la parte inferior, los materiales dilatan más en esa zona, aumentando la apariencia de flecha, estos cambios provocan un aumento de momentos negativos, haciendo que el punto de cortante máximo se desplace hacia el centro del elemento, generándose unas tensiones en la cara superior donde la armadura puede ser insuficiente para absorberlas.

**FLEXION SIMPLE EN SITUACION DE FUEGO
CONDICIONES DE DUCTILIDAD**



BIBLIOGRAFÍA

- Eurocódigo 2. *Proyectos de estructuras de hormigón. Parte 1-2 Reglas generales proyecto de estructuras ante el fuego.*
- *Cálculo de estructuras de hormigón ante el fuego. Cuadernos Intemac núm 23.*
- *Problemas, dudas y soluciones durante el proyecto y ejecución de la edificación. Manuel Muñoz Hidalgo.*
- *Protección al fuego. Revista Constructiva núm 26.*
- *Propiedades de los materiales y elementos de construcción. Ramon Sastre Sastre*

GEMMA SOLER PUJOL
Arquitecta Técnica
Gabinete técnico de CECAM

LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS, PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN. EL USO DE TUNELADORAS EN LAS GRANDES OBRAS CIVILES DE CATALUÑA
(ver pág. 11)

1. INTRODUCCIÓN

A raíz del desastre producido el 27 de enero del presente año al hundirse la cola de maniobras dentro de los trabajos de ampliación de la Línea 5 de metro, en el barrio del Carmelo de Barcelona, las obras subterráneas ejecutadas en entorno urbano de todo el mundo se encuentran en fase de revisión. Los proyectos y los procedimientos constructivos se están revisando y modificando para evitar que vuelva a producirse un desastre como aquél.

Todos recordamos la pelea política que se generó y el desastre social que supuso para los vecinos aquel desdichado accidente. Tras el accidente, aparecieron en los medios de comunicación numerosas afirmaciones "técnicas", muchas de ellas sin demasiado criterio de ingeniería, de los distintos mecanismos de excavación empleados en la ingeniería civil; sobre cuáles eran más seguros. Recordemos que se llegó a prohibir en Cataluña el nuevo método austriaco (NATM), por

si mismo un sistema constructivo aceptado y reconocido en la práctica habitual de la ingeniería. Este método no es bueno ni malo, puede resultar apropiado en unas condiciones concretas o no recomendable en otras, y se puede llevar a la práctica de forma correcta o incorrecta. Después de aquel accidente era inevitable no dedicar unas páginas a los diferentes métodos constructivos de túneles. De esta forma hemos querido escribir un mínimo de dos artículos que nos permiten profundizar en el complejo mundo de los túneles de obra civil. Desde un punto de vista general existen dos métodos de excavación de túneles:

1. Método convencional o manual de perforación y voladura de avance y destrozo con secciones multipartidas, como por ejemplo el método belga, alemán o el NATM, entre otros.

2. Métodos mecánicos de excavación mediante tuneladoras, también conocidas como TBM (Tunnel Boring Machines), o más popularmente llamadas "topos".

En este artículo revisaremos el uso de tuneladoras y su tipología en detalle, en función, principalmente, de la longitud del túnel y de la geología que atraviesa el trazado. Hemos decidido hablar en este artículo de las tuneladoras por su espectacularidad técnica y por el importante incremento del número de túneles construidos con esta maquinaria tan sofisticada en los últimos veinte años. Este espectacular incremento se debe al avance de la tecnología, que nos ha permitido realizar proyectos de ingeniería más ambiciosos y complejos, que hace solo tres o cuatro décadas no podrían haber sido ejecutados; es un ejemplo de ello el túnel bajo el canal de la Mancha.

Primeramente hablaremos de los tipos y aplicaciones de las tuneladoras y describiremos algunas ventajas e inconvenientes que tiene el uso de esta técnica en la ingeniería de túneles. Seguidamente describiremos dos de las aplicaciones más notables de tuneladoras que hay actualmente en Cataluña: el Túnel de Le Perthus dentro de los trabajos de construcción de la Línea de Alta Velocidad Madrid – Barcelona – Frontera Francesa y la construcción de la Línea 9 de la red de transporte metropolitano de Barcelona.

2. TIPOS DE TUNELADORAS EN LA ACTUALIDAD

Hoy en día, el número de proyectos de obras subterráneas que se ejecutan con tuneladoras no deja de crecer, a causa, sobre todo, de su seguridad de ejecución, a pesar de su complejidad técnica y claro sobre coste económico, que puede estar justificado en obras de gran envergadura o dificultad. Fue a partir de la década de los 70 cuando se incrementó notablemente el número de máquinas y de proyectos. Se calcula que en 1999 el 40% de los proyectos de excavación en roca dura con alternancia con otros materiales más blandos o complicados se llevaban a cabo con TBM.

Hace relativamente pocos años, la longitud de una obra subterránea a realizar era el factor más importante a la hora de elegir un método de excavación manual o un método mecánico, a causa del bajo rendimiento de los topes. Con la notable mejora de la potencia instalada en estas máquinas, hoy día esto ya no es así y pueden llegar a ser más importantes los posibles impactos en el entorno y el método de sostenimiento elegido. Por ejemplo, la construcción en la ciudad de Lérida de un colector de dos metros de diámetro y 600 metros de longitud se está llevando a cabo con una tuneladora de pequeño diámetro y no con excavación entibada para evitar, así, la afección a la ciudad, tránsito, incomodidades a los vecinos, etc.

Existen dos tipos principales de *topos* en el mercado, los que se utilizan para formaciones rocosas duras y los que se utilizan en formaciones rocosas blandas o en suelos y por debajo del nivel freático. En la figura 1 (ver *pág. 12—Esquema de los distintos sistemas de excavación con tuneladoras en función del material que deben excavar y su operatividad—*) se muestra una clasificación muy general de las distintas variedades de tuneladoras existentes hoy en día. Aunque la división está clara en el croquis, las máquinas del tipo doble escudo son válidas para condiciones geológicas variables y se las llama mixtas o duales.

Las principales ventajas de las TBM en la construcción de túneles son variadas y dependen en gran medida de la mejora constante de la maquinaria y la tecnología. La principal ventaja es la producción casi industrial del metro lineal de túnel a causa de un incremento notable de las condiciones de seguridad y la calidad de las condiciones de trabajo dentro del túnel. Las máquinas disponen de un centro de control automatizado en el que se controlan todas las variables como, por ejemplo, la presión en los gatos que permiten el movimiento y guiado de la máquina, etc. con el trabajo en turnos se puede tener una producción continua las 24 horas con una mejora notable de los rendimientos obtenidos. Dentro del procedimiento constructivo, la misma máquina retira las ruinas generadas durante la excavación y, por tanto, es necesaria una ventilación más simple. Finalmente, el acabado del túnel con una sección muy precisa y con una rugosidad mínima amortigua notablemente los daños provocados en la roca de la formación. En función de las condiciones de contorno y geología del trazado hay que decidir cuál es la máquina más adecuada a nuestras necesidades. El proceso de selección de una de estas máquinas es difícil y requiere de un perfecto conocimiento del proyecto y sus características, de las tecnologías disponibles en el mercado y de sus prestaciones y posibilidades reales. En general, se puede comenzar a considerar el uso de tuneladoras en túneles de más de 1.500 metros de longitud.

A pesar de que el diseño de los topes tiende a mejorar su flexibilidad para adaptarse a las diferentes condiciones geológicas de un proyecto, el principal inconveniente de este sistema constructivo sigue siendo su falta de flexibilidad, la gran dificultad y el elevado riesgo en su elección.

Como se observa en el croquis, existen dos tipos principales de tuneladoras para roca dura, las que trabajan con escudos y las que trabajan sin o en abierto. Las máquinas que trabajan en abierto son las tuneladoras clásicas para excavar túneles, de las que hay dos tipos, las que excavan en sección completa y las del tipo ensanchador. Son en general máquinas que se pueden orientar y guiar con facilidad y precisión, pero tienen el inconveniente del riesgo que comporta ir sin ningún tipo de protección tras el frente. La principal diferencia entre las máquinas de sección completa y las de tipo ensanchador radica en que en las segundas el empuje sobre el terreno se realiza en el túnel piloto central y no en el túnel final.

Las máquinas que durante la excavación funcionan con escudos para sostener el terreno suelen ser las más empleadas, ya que la excavación y el sostenimiento se pueden llevar a cabo dentro de la estructura del escudo. El sostenimiento del túnel se consigue con anillos formados por dovelas de hormigón armado. Son, por tanto, adecuadas para grandes secciones y con condiciones geológicas variables. Hay dos tipos, las de escudo y las de doble escudo o con un escudo telescópico. Existen dos tipos de tuneladoras para suelos y rocas blandas, los escudos que trabajan en abierto, que son los que se utilizan en condiciones geológicas que no hacen necesaria la estabilización mecánica del frente de excavación, y los escudos con el frente presurizado, ya sea con lodos o hidroescudos o con presión de tierras (EPB), que lo que hacen es coger los materiales excavados y mezclarlos con productos de adición, para obtener de ellos una mezcla viscoplástica que se inyecta a presión en el frente para garantizar su estabilidad.

Para acabar esta parte de descripción de los diferentes tipos de tuneladoras diremos que las partes más importantes de una tuneladora con escudo son las siguientes:

- Cabeza de la tuneladora o rueda de corte donde se colocan los discos de corte y las picas.
- Sistema de propulsión del escudo que está formado por los diferentes sistemas hidráulicos que permiten aplicar los empujes para mover la máquina, la cabeza de corte y sus partes accesorias.
- Back-up o tren posterior de la máquina donde se colocan todos los componentes accesorios y los servicios como pueden ser la cinta de transporte de las ruinas, el transporte sobre vía de los materiales, recambios, etc., almacenes, sistemas de inyección de mortero y grasa,

bulonaje, comedores, centro de control, sistema de suministro y colocación de anillos de hormigón armado para el sostenimiento, etc. Los radios de la cabeza de corte pueden ir de los pocos centímetros hasta los 15 metros, récord que se ha establecido para las tuneladoras que se utilizarán en el soterramiento del cinturón M-30 en Madrid. La longitud del back-up en las máquinas de gran diámetro puede llegar a 150 metros, lo que da una idea de la complejidad del diseño, construcción, transporte y puesta en funcionamiento de esta maquinaria.

3. DOS GRANDES PROYECTOS CON TUNELADORAS EN CATALUÑA: LA LÍNEA 9 Y EL TÚNEL DEL PERTHUS

Actualmente existen en Cataluña dos grandes proyectos en los que se están utilizando tuneladoras: uno de ellos es la construcción de la nueva Línea 9 de la red de metro de Barcelona y el otro es la construcción del tramo Figueras – Perpiñán dentro de los trabajos de la Línea de Alta Velocidad Madrid – Barcelona – Frontera Francesa. Ambos proyectos tienen peculiaridades que serían imposibles de explicar en este artículo; no obstante, detallaremos las características principales de los proyectos y de las diferentes tuneladoras.

3.1 Línea 9

La obra empezó a mediados del 2003. El proyecto es impresionante: 43 kilómetros de línea y 46 estaciones a lo largo del trazado, de las que 14 serán intercambiadores. De los 43 kilómetros de la nueva línea, más de 32 se construirán con tuneladoras y el resto serán tramos en mina, en viaducto o entre pantallas. El presupuesto actual es de más de 3.000 millones de euros y el plazo de ejecución, previsto inicialmente para julio del 2007, se ha visto modificado hasta finales del 2008. En la figura 2 (ver pág. 14 —*Trazado de la línea 9 en el entramado de metro en la ciudad de Barcelona*—) se ve el recorrido de la línea 9 tal y como está concebido actualmente. Obviamente, la crisis del Carmelo ha provocado que el proyecto inicial esté en fase de revisión respecto a la solución prevista y ha ocasionado la retardación generalizada de la obra.

En estos momentos, dos máquinas de 11,95 metros de diámetro trabajan perforando el subsuelo de Barcelona, la *Besi* y la *Llobri*. Una tercera máquina, de diámetro inferior (9,40 metros), está siendo montada para afrontar la parte correspondiente al ramal del aeropuerto y está previsto que empiece a perforar a lo largo del año 2006.

La *Besi* hace el tramo 4A (Can Zam – Bon Pastor) del que se ha producido el “cale” hace apenas dos semanas. En la figura 3 (ver pág. 15 —*La tuneladora “Besi” empleada en la construcción del tramo 4A de la línea 9 de Barcelona*—) se puede ver esta máquina atravesando el muro de hormigón en masa que forma el pozo de salida de Bon Pastor en Santa Coloma de Gramenet tras perforar 4.269 metros de túnel y haber colocado más de 2.300 anillos de hormigón armado que forman el sostenimiento/revestimiento del túnel. Esta máquina es un doble escudo que puede trabajar en abierto en roca dura y en cerrado como una EPB para materiales mucho más meteorizados y fracturados que no tienen la resistencia de la roca dura. La longitud del escudo es de 12,5 metros, la longitud total (escudo más back-up) es de 120 metros y la potencia instalada es de 7.335 kW.

La otra máquina, la *Llobri*, ha recorrido más de 2.750 metros durante el mismo periodo y aún le faltan como mínimo 1.300 metros hasta llegar al recinto estanco de Sagrera donde se está construyendo uno de los intercambiadores más complejos con 3 líneas de metro, RENFE y LAV (cuando llegue a Sagrera – TAV). Sin embargo, y a diferencia de la *Besi*, esta máquina es una EPB, ya que la geología de este tramo es más uniforme y formada principalmente por suelos con niveles freáticos altos. El diámetro es de 12,06 metros, 2.300 toneladas de peso y una longitud total de 100 metros.

Para acabar la descripción de este proyecto, diremos que la geología de Barcelona no facilita la tarea de estas máquinas ya que la alternancia de materiales es muy frecuente con niveles freáticos altos, aguas termales o zonas con muy poca cobertura que, como consecuencia, exigen una gran cantidad de tratamientos del terreno o el uso elevado

de cimentaciones especiales, así como el uso intenso y continuado de avanzadas técnicas de auscultación geotécnica y estructural.

3.2 LAV Madrid – Barcelona – Frontera Francesa: Tramo Figueras – Perpiñán

La otra obra que actualmente involucra en Cataluña el uso de tuneladoras es el tramo de Figueras – Perpiñán de la Línea de Alta Velocidad hasta la frontera francesa. Este tramo de 44 km. totales tiene un túnel de 8,3 kilómetros de longitud de los que casi un kilómetro se encuentra en España y el resto en Francia.

Las obras las ejecuta TP Ferro, concesionaria de la construcción, financiación y explotación del tramo, integrada por ACS Dragados y Eiffage. Se construyen actualmente dos túneles paralelos mediante dos tuneladoras del tipo doble escudo para roca dura y de diámetro 9,9 metros, ya que la geología está formada principalmente por granitos, gneisos y dioritas, aunque también zonas de milonitas muy fracturadas y meteorizadas. El peso total de las máquinas “Tramuntana” y “Mistral” es de unas 1.500 toneladas; tienen una longitud total de 140 metros y la potencia instalada es de unos 4.900 kW por máquina.

En estos momentos, se está acabando el proceso de montaje de la máquina *Mistral* y la otra máquina ha perforado más de 150 metros. Al ejecutar dos túneles en paralelo siempre se deja un decalaje en el tiempo de inicio para que no haya interferencias entre ellos durante el proceso de excavación.

En la figura 4 (ver pág. 15 —*La tuneladora “Tramuntana” empleada en la construcción de uno de los túneles del tramo Figueras – Perpiñán de la LAV*—) se observa la cabeza de corte de la tuneladora *Tramuntana* en el momento de su introducción dentro del túnel y en la figura 5 (ver pág. 16 —*Vista de la introducción de las dos máquinas que llevarán un decalaje para garantizar la estabilidad del proceso de excavación*—) se ven ambas máquinas durante su introducción en las emboquillas. Obviamente, esta obra tiene una complejidad de ejecución y un impacto menor en la sociedad, ya que los túneles atraviesan los Pirineos y no existen riesgos en núcleos urbanos. Aun así, esta obra sigue siendo un reto tecnológico y organizativo de primera magnitud.

4. CONCLUSIONES

La experiencia demuestra, día tras día, que el uso de las tuneladoras es ya una realidad y que cada vez tendrán un papel más relevante en la construcción de todo tipo de túneles de obra civil. El incremento de seguridad durante el proceso de excavación que se experimenta con esta tecnología, sobre todo en un entorno urbano, se ha convertido en un aspecto caudal que los proyectistas, contratistas y administraciones deben tener en cuenta.

De todos modos, la elección de una tuneladora es un proceso delicado y muy complicado que exige una excelente caracterización geológica y geotécnica de la traza del túnel, entre otros aspectos. En este sentido, creemos que las obras de alta velocidad que están por llegar a Gerona ciudad en un futuro próximo podrían ser ejecutadas claramente con esta tecnología; habrá que tener en cuenta, sin embargo, la complejidad geotécnica e hidrogeológica de la ciudad, por la poca cobertura del túnel en algunas partes del proyecto y, sobre todo, por la existencia de edificios viejos en la parte antigua de la ciudad con cimentaciones superficiales que los harán muy sensibles a asentamientos diferenciales y a movimientos del terreno.

AGRADECIMIENTOS

Desde aquí queremos agradecer la información técnica y gráfica suministrada por TP Ferro y por AUSCUL9 UTE de las diferentes máquinas empleadas en ambos proyectos.

EVA CAMPMOL AYMERICH

Directora de Obra Civil del CECAM

Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos

Ingeniera Geóloga

APROVECHAMIENTO RESISTENTE DE LOS MATERIALES Y LIMITACIONES ACTUALES: “MECÁNICA DE FRACTURA” (ver pág. 17)

Hace 20-30 años se analizaban los materiales en régimen elástico donde había linealidad entre tensiones y deformaciones. Estas situaciones eran casos en que no se aprovechaba la capacidad resistente de los materiales, y las tensiones máximas estaban por debajo del límite elástico propio de cada material. Hoy en día, se impone como condicionante último de tensión máxima la correspondiente a la tensión de rotura del material, entendida como una situación fuera del dominio elástico y dentro del dominio plástico con deformaciones no recuperables en la descarga del material. El modelo matemático que modela este comportamiento elastoplástico es la “teoría incremental de la plasticidad”, como modelo más válido y aceptado de todas las teorías plásticas.

1. TEORÍA INCREMENTAL DE LA PLASTICIDAD

Se trata de la teoría más válida y aceptada de todas las teorías plásticas. Se basa en una aproximación de los modelos matemáticos que modelan el fenómeno elastoplástico de un material analizando ciclos de carga-descarga-recarga. Para el caso sencillo de una dimensión, se aproxima a un comportamiento tensión-deformación como el de la figura 1 adjunta —*Curva tensión-deformación para un modelo elastoplástico, mediante ramas elásticas e inelásticas*— (ver pág. 17).

2. EFECTO “BAUSCHINGER” E HISTORIA DE CARGAS-DESCARGAS-RECARGAS DEL MATERIAL

El efecto “Bauschinger” o “endurecimiento cinemático” es el efecto provocado en un material isorresistente cuando, al estirar el material a tracción, pierde resistencia a compresión. Así, la curva tensión-deformación del material no es simétrica a la curva tracción-compresión. Podemos observar este fenómeno en el estiramiento en frío de una probeta de acero virgen, y con una compresión posterior del material traccionado (ver figura 2 —*Efecto “Bauschinger”, como un inconveniente del acero en su estiramiento en frío y posterior compresión con pérdida de resistencia. Las historias carga-descarga-recarga son la causa de este fenómeno*— pág. 17). En la industria metalúrgica, al fabricar barras de acero vírgenes, hay una eliminación de la historia de deformaciones del material al regenerar tensiones con la temperatura.

3. MECÁNICA DE FRACTURA Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS

La mecánica de fractura es una nueva ciencia que estudia la distribución de tensiones y deformaciones en un material fisurado cuando está sometido a una cierta acción exterior. Desde un punto de vista teórico, en la punta de una grieta las tensiones tienden a infinito, independientemente de la carga aplicada. Pero el análisis no se hace en un único punto, sino en una pequeña área a su alrededor, denominada “zona plástica”, donde las tensiones dejan de ser infinitas porque parte de la energía elástica se consume en la deformación plástica del material próximo a la punta. A diferencia de la teoría clásica de resistencia de materiales, donde la resistencia o tensión de rotura es independiente del tamaño de la estructura, en la mecánica de fractura hay una relación directa que se denomina “efecto de tamaño”.

Se puede producir la fractura por la existencia de una grieta y su crecimiento, originada por el funcionamiento del elemento resistente, o bien por un defecto de fabricación en su geometría y cambios repentinos de sección, y corresponde a la mecánica de fractura cuantificar las condiciones por las que se produce la rotura.

Actualmente, los métodos de cálculo y las técnicas experimentales de análisis de fractura se utilizan en el cálculo de componentes de máquinas, estructuras de ingeniería civil y estructuras aeronáuticas y navales. Su campo de aplicación directa son las estructuras sometidas

a esfuerzos dinámicos variables en el tiempo. Estos esfuerzos modifican la estructura interna de los materiales utilizados, donde disminuyen su resistencia dinámica y producen fracturas y la rotura por agotamiento.

4. LA FRACTURA EN EL HORMIGÓN

A diferencia del acero (y de los metales en general), el hormigón (y los materiales “pétreos” en general) tiene en la relación tensión-deformación un comportamiento no lineal desde el inicio de carga, y destaca por su gran resistencia a esfuerzos de compresión y su poca resistencia a la tracción. Este comportamiento, aplicable al hormigón, rocas y suelos, se caracteriza también por sus propiedades de fricción y de cohesión, lo que hace que el criterio de rotura más adecuado en su modelización de la superficie de fluencia sea la de “Mohr-Coulomb” (ver figura 3 —*Criterio de rotura de Mohr-Coulomb aplicable al hormigón, rocas y suelos*— pág. 18).

El hormigón convencional (o de baja resistencia) se caracteriza porque el fenómeno elastoplástico es más acusado en él desde un inicio de carga, y la interfase árido-pasta es la más débil y por donde se produce la fractura. A causa de la heterogeneidad de los áridos, la superficie de fractura no es lisa y resigue los contornos de los áridos, lo que produce el conocido “engranamiento” en la fractura. Este “engranamiento” provoca un alargamiento de la rotura final a causa de la resistencia adicional que provoca la fricción entre los áridos situados en la fractura. Esta fricción puede cuantificarse en la energía disipada en la formación de la fractura y se estudia en esta nueva ciencia de mecánica de fractura (ver fotografía núm. 1 adjunta —*Rotura en una probeta de hormigón convencional donde se puede observar el fenómeno de “engranamiento” de los áridos alrededor de la superficie de fractura*— pág. 18).

En el hormigón de alta resistencia (más de 50 N/mm²) la curva tensión-deformación tiene un crecimiento muy lineal en sus inicios, con una deformación menor que hace que alcance comportamientos de rotura más frágiles y menos dúctiles. Este comportamiento se debe sobre todo a fracturas muy lisas (ver fotografía núm. 2 adjunta —*Rotura en una probeta de hormigón de alta resistencia donde se puede observar la “planeidad” de la superficie de fractura con la rotura de los áridos como parte débil del conglomerado*— pág. 19) provocadas por la debilidad del árido frente a la zona de transición árido-pasta, que en el caso de hormigones de alta resistencia pierde su condición de fase crítica de menor resistencia. Es por ello que en hormigones de alta resistencia es importante elegir un árido muy resistente (granítico, por ejemplo) y reducir su tamaño máximo (10 a 12 mm., y aumentar así su superficie específica de mayor resistencia que el núcleo).

EDUARD BONMATÍ LLADÓ

Arquitecto técnico

Consultor de estructuras

CASUÍSTICAS EN EL ENSAYO SÓNICO DE INTEGRIDAD ESTRUCTURAL DE PILOTES (ver pág. 20)

En un número anterior de esta revista redactamos un artículo que trataba sobre el ensayo de integridad estructural de pilotes en el que se especificaba el qué, por qué y cómo de todo lo referente a este ensayo y la necesidad de que se aplique a todas las obras que se fundamentan en el sistema de pilotaje.

Hoy queremos exponer un par de situaciones conflictivas, acaecidas en las obras, mediante las que pretendemos demostrar por qué es tan necesaria la información adicional que se pide para el ensayo y la dificultad en la interpretación de las gráficas o reflectogramas.

Durante los más de cinco años de experiencia en este ensayo hemos tenido distintas experiencias dignas de significación, detectando pilotes que podrían presentar problemas. Los técnicos de las obras en cuestión

han aplicado distintas soluciones para minimizar los problemas. En la mayoría de los casos, el laboratorio ha acertado, aunque en otros no tanto.

Entremos en las dos casuísticas que hemos comentado. En el primer caso, el laboratorio informó de unos pilotes que podían presentar discontinuidades, porque se detectaban unas inflexiones muy importantes en el reflectograma de dos pilotes, a unos 3-4 metros de la cabeza (ver gráficos pág. 20—*Reflectogramas de los pilotes informados como: Pilotes con imperfección estructural entre 3 y 4 metros de la cabeza, con posible discontinuidad*—).

Una vez descubiertos los pilotes se pudo comprobar, visualmente, que los pilotes no presentaban ninguna discontinuidad ni estrechamiento en las zonas conflictivas (al laboratorio no se le notificó).

Entendemos que las principales causas que llevaron al laboratorio a realizar una interpretación no correcta del ensayo fueron dos. La primera fue que el estudio geotécnico, como por desgracia suele pasar a menudo, no era muy preciso, estaba falto de información y no definía ningún cambio de material en aquella zona. Posteriormente, se supo que el estudio geotécnico se había hecho, antes del derribo, en el solar donde estaban los pilotes ejecutados pero en un lugar distante del emplazamiento de la edificación, lo que habría ayudado a no detectar un importante cambio de terreno.

La otra causa que llevó al laboratorio a interpretar erróneamente los reflectogramas fue el estado de la cabeza del pilote. El descabezado de los pilotes era deficiente y con gran cantidad de lechada que no se sacó en el momento de repicar el pilote.

Estos dos factores son de vital importancia para una correcta interpretación del ensayo y el hecho que ninguno de ambos estuviera dentro de los criterios aceptables para poder realizar el ensayo condujo a un error de interpretación.

En el otro caso, al laboratorio se le encargó el ensayo de integridad de un 30% de los pilotes de una obra ejecutada en dos parcelas.

Durante la realización de la primera vista a la obra, se detectaron anomalías en algún pilote. Se notificó a la dirección de obra, que en el mismo momento tomó la decisión de realizar el control de integridad sobre el 100% de los pilotes de la primera parcela. Este hecho supuso tener que desmontar el armado de algunos encepados que ya estaban preparados para hormigonar.

En el control total se pudieron detectar hasta 5 pilotes con defectos estructurales, de los 44 ejecutados (un 11%). Todos los pilotes tenían cuestiones en común:

- Se encontraron en la misma zona de la obra.
- El diámetro de los pilotes era el menor de los que coincidían en la obra.
- La profundidad donde se detectaba el defecto coincidía con un cambio litológico del terreno, donde se atravesaba una capa de arcillas limosas muy blandas.

(ver gráficos pág. 21—*Reflectogramas de los pilotes informados por CECAM como: Pilotes con imperfección estructural entre 3,5 y 5 metros de la cabeza del pilote*— y —*Reflectograma de un pilote en el que se ve una inflexión que indica que el pilote atraviesa un cambio del terreno. Este pilote corresponde al mismo encepado que uno de los que presentan defectos y se pueden ver en el cuadro anterior*—).

Ante este hecho, la Dirección Facultativa de la Obra y el promotor solicitaron a la empresa que ejecutó los pilotajes que se manifestara sobre estas anomalías. La empresa se presentó en la obra y argumentó que en la ejecución de los pilotes CPI-8 es muy difícil una interrupción del pilote y propuso la realización del ensayo de integridad por parte de otro laboratorio, que aportaran ellos mismos.

Promotor y Dirección de obras accedieron y otro laboratorio realizó ensayos de integridad sobre todos los pilotes de los que había informado CECAM como pilotes con defectos estructurales, y otros elegidos aleatoriamente en la parcela. El resultado que dio este laboratorio de los pilotes citados fue: "las anomalías detectadas en las curvas podrían corresponder a un cambio litológico entre el nivel de arcillas blandas

y el de las arenas subyacentes".

Con el informe del segundo laboratorio se pidió a CECAM que se pronunciara definitivamente. CECAM volvió a pronunciarse desfavorablemente porque los motivos que apuntaban a un defecto estructural en los pilotes eran diversos:

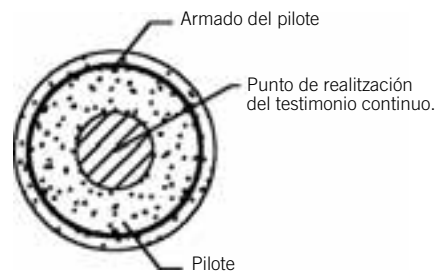
- Los defectos no se observaban en todos los pilotes de la zona.
- La inflexión del reflectograma se repetía al doble de la distancia inicial.
- En el informe del otro laboratorio se detectaba el final del pilote a 16 metros, cuando en realidad no medían más de 11 metros.
- ...

(ver gráficos pág. 22—*Reflectogramas de los pilotes sobre los que ha informado el laboratorio propuesto por la empresa de pilotajes: Cambio litológico, entre el nivel de arcillas blandas y el de las arenas subyacentes*— y —*Reflectograma de un pilote realizado por el laboratorio propuesto por la empresa de pilotajes que no presenta defectos estructurales y se observa una inflexión que indica que el pilote atraviesa un cambio de terreno*—).

Dada la diferencia de interpretación, la dirección de obra y la propiedad consultaron a CECAM si existía algún sistema con el que se pudiera demostrar de manera fehaciente el acierto o no de nuestro informe. Se sugirieron dos métodos para poder determinar si los pilotes presentaban o no defectos.

El primer método consiste en realizar la excavación alrededor del pilote y comprobar visualmente si éste se encuentra afectado o no. Este método se descartó porque se tenía que ir a una profundidad de unos 5 metros, con nivel freático a partir del primer metro.

El segundo método que se comentó fue el de la realización de uno o diversos testimonios continuos con extracción de la muestra en el interior del pilote para comprobar si se podía detectar alguna contaminación del hormigón del pilote en el interior o el perímetro de éste, que pudiera generar el defecto estructural.



Esquema de realización de la verificación del pilote mediante un único testimonio continuo.

Esta solución podía presentar un problema porque el ensayo de integridad por el método sónico (martillo en mano) sirve para determinar si existe o no defecto, aunque no nos marca su magnitud, de forma que se podría realizar la perforación por el interior del pilote y no detectar la zona que estaba afectada. Finalmente, se optó por la realización de la perforación en el centro de los pilotes para comprobar si existía contaminación o no.

Se realizaron dos perforaciones en los pilotes que presentaban un reflectograma que indicaba una afectación aparentemente más importante. La dirección de la obra y el promotor decidieron la realización de una única perforación en la parte central del pilote. (Ver fotos 1 y 2 pág. 23—*Extracción del testimonio continuo en la obra*—)

En el primer pilote donde se realizó la perforación se detectó una contaminación localizada en la zona donde había indicado el laboratorio. Aunque las dimensiones del defecto no eran exageradas, unos diez centímetros de longitud, tenemos que suponer que en la parte más externa del pilote esta afectación sería mayor, teniendo en cuenta que

el testimonio continuo se realizó en la zona central del pilote. En la realización de la perforación en el segundo pilote no se detectó contaminación en la parte central del pilote. (Ver foto 3 —*Muestra de todo el testimonio continuo extraído en el pilote verificado con defecto estructural*—, y fotos 4, 5 y 6 —*Detalle de la magnitud del defecto en la zona central del testimonio desde distintos ángulos*— pág. 24).

Dadas estas condiciones y tras una reunión entre la empresa de pilotajes, la dirección de obras y el promotor, se procedió a la reparación de los pilotes que presentaban problemas mediante la realización de micropilotes en el interior de los pilotes afectados, con la intención de hacer un “cosido” de éstos. Antes de realizar esta operación, se realizó un cálculo para comprobar que la sección de los micropilotes a ejecutar soportase las cargas transmitidas a los pilotes.

Una vez solucionados los problemas que había habido en la primera parcela se procedió a la ejecución de los encepados y riostras de la segunda parcela, situada a pocos metros de la otra.

Antes del inicio del control de integridad de los pilotajes, el promotor y la dirección de obras ya indicaron que se hiciera el control del 100% de los pilotes.

En la siguiente parcela se volvieron a detectar defectos en los pilotes. Esta vez, los pilotes afectados se encontraban localizados en una zona más amplia, estaban más diseminados, los diámetros eran diferentes y no eran los de menor sección. De los 69 pilotes ejecutados se detectaron anomalías también en 5 pilotes (un 7%).

En este caso, no se pidió la opinión de un segundo laboratorio ni la realización de muestras con testimonio continuo porque alguno de los pilotes sobre los que se había informado “desfavorablemente” presentaron evidencias muy claras de tener defectos.

Uno de los pilotes se tuvo que descabezar dos metros por debajo de la cota del encepado porque el hormigón que salía estaba lleno de cavidades, y aun así, no se llegó a encontrar hormigón en buenas condiciones.

El otro pilote, que presentaba claras evidencias de sus defectos estructurales, era uno que presentaba un desplazamiento de algunos centímetros en la cabeza cuando la máquina retroexcavadora lo tocaba realizando la excavación del encepado del pilote. (Ver gráficos 1 y 2 pág. 25 —*Gráficas de los dos pilotes que presentaban síntomas muy claros de defectos en la segunda parcela. El primer gráfico es el del pilote que presentaba cavidades importantes en la cabeza. El segundo es el del pilote que se desplazaba durante la ejecución de la excavación del encepado*—)

En este caso, dadas las evidencias de defectos mucho más graves, se optó por un método más tradicional de reparación. No se actuó sobre los pilotes existentes, sino que se desestimaron a efectos resistentes y se micropilotó alrededor de los pilotes ejecutados para hacer el reparto de cargas.

No pretendemos nada más que intentar transmitir a las direcciones facultativas, ya sea de edificación o de obra civil, que el ensayo de integridad estructural es una herramienta fiable, eso sí, siempre que se disponga de una buena información del geotécnico, los pilotes estén bien descabezados y se haga una correcta interpretación de las gráficas. Las experiencias vividas también nos demuestran que el porcentaje de pilotes a ensayar en una obra no debe depender sólo de lo que nos dictamine un organismo o una norma; éstos sólo dan criterios de mínimos, pero si tenemos dudas por la ejecución, por cambios litológicos del terreno, por no coincidencia del estudio geotécnico con el que se obtiene en la muestra que sale durante la ejecución, etc., debemos tener claro que nuestra obligación como técnicos es la de exigir la realización del ensayo sobre un porcentaje mayor de los pilotes o concentrar la toma de muestras en el punto más conflictivo según nuestro criterio.

JOAQUIM PETIT BOYERO

Arquitecto técnico

Jefe de Área de la Unidad Técnica de Construcción

EL ESTUDIO GEOTÉCNICO Y LA DIRECCIÓN DE LA EJECUCIÓN MATERIAL (ver pág. 26)

El estudio geotécnico es una herramienta imprescindible a fin de elegir, calcular y dimensionar la cimentación idónea de una construcción. Por tanto, es el proyectista, en fase de proyecto, el primero que lo necesita. Del mismo modo, no hay que olvidar que para la dirección de ejecución material son necesarios muchos de los datos del estudio geotécnico con el objeto de desarrollar correctamente el trabajo. En este artículo se tratarán los siguientes aspectos:

NIVEL FREÁTICO

A la dirección de ejecución, tanto desde la vertiente de director de ejecución material como la de coordinador de seguridad, le resulta necesario conocer la presencia, profundidad y oscilación del nivel freático para prever la planificación de obra conveniente y para adoptar las medidas de seguridad adecuadas.

La presencia de agua en el interior del suelo/subsuelo tiene una doble afectación en cualquier proyecto de construcción. Por un lado, cambia las características de los materiales implicados, generalmente suele reducir sus prestaciones; y por el otro, condiciona la manera en que deben ejecutarse los trabajos en la obra.

En lo relativo al primer aspecto, el del cambio en el comportamiento del terreno, las variaciones afectan sobre todo a los suelos no consolidados. En el caso de los materiales granulares, como las arenas y gravas, el agua lubrica la matriz del agregado y reduce la presión efectiva, la derivada exclusivamente del peso de las partículas. Esto se traduce en un descenso del ángulo de fregamiento interno y, en su caso, de la cohesión. En el estado de los suelos cohesivos, como las arcillas y limos, la influencia del agua es determinante. A medida que incrementa la humedad, el suelo pierde viscosidad y resistencia al corte (cohesión y ángulo de fregamiento más reducidos) y se hace más compresible. Esto se debe a que las moléculas de agua se intercalan entre las partículas y dificultan los enlaces que proporcionan los cationes. Además del comportamiento descrito, que es genérico para los suelos cohesivos, hay algunos comportamientos particulares que cabe destacar. Es el caso de las arcillas de plasticidad elevada, que tienden a absorber el agua a partir de sus minerales constituyentes y esto motiva que se hinchen y ejerzan subpresiones no deseadas. También es el caso de los limos de escasa compacidad y que están ligeramente cimentados. En este caso, el agua disuelve las sales del cemento y, si el suelo está sometido a una carga, la ausencia o elevada debilidad de los puentes de unión motiva que el suelo se colapse. Este fenómeno se traduce por asentamientos de elevada magnitud. En definitiva, los efectos descritos del agua en suelos no consolidados hacen que éstos dispongan de menor capacidad portante y sean más susceptibles a deformarse y, en situación de desconfinamiento, romperse. En suelos bien consolidados y/o terrenos rocosos, la presencia de agua se suele limitar a las discontinuidades que pueda haber. Su efecto se limita principalmente a reducir el ángulo de fregamiento interno a lo largo de estos planos y la presión efectiva. Las prestaciones de este tipo de terreno restan a la baja, sobre todo en lo referente a la estabilidad de los taludes.

En cuanto a la ejecución de la obra, la existencia de agua condiciona cómo hacer la excavación del terreno, tanto a nivel de contención como de accesibilidad. Cualquier excavación que se haga, se trate de una zanja, pozo, perforación o cajón profundo, provocará una depresión momentánea del nivel del agua, que tenderá a restituirse a partir de flujos poco inclinados desde las paredes y verticales desde el fondo. La circulación generada de cara a recuperar el equilibrio tenderá a desconfinar el terreno, con los consiguientes problemas de estabilidad de las paredes y el levantamiento del fondo, y hará impracticable el avance. Que esta problemática sea más o menos acusada dependerá de la naturaleza y distribución de los materiales implicados y de la

presión del agua. Así, hacer un rebaje en un terreno saturado, como el que suele encontrarse en las llanuras aluviales y marismas, suele resolverse con unas pantallas convenientemente encastradas y una losa, y no con los muros y zapatas clásicos en un terreno seco. La justificación de la pantalla estriba en el hecho que la mayor longitud de este elemento de contención hace que el flujo de agua, que tiende a equilibrar el nivel dentro y fuera del recinto, sea sensiblemente más largo y eso le haga perder presión. Este hecho motiva que el caudal que entra por el fondo quede aminorado y la menor presión hace que el nivel interior se mantenga deprimido, lo que permite avanzar el rebaje. En el caso frecuente en que, además, se bombee agua del fondo del rebaje, se puede generar una situación de sifonamiento, que suele afectar a terrenos poco permeables y se manifiesta por la aparición progresiva de una capa fangosa que hay que sanear previamente a la construcción de la losa. Constituyen ejemplos próximos de lo que se ha indicado, las excavaciones para dos y tres sótanos en varios sectores del centro de la ciudad de Girona. En el caso concreto de cimentación profunda, también el agua representa otro factor que condiciona la tipología del elemento encastrado. Para los pilones, la sostenibilidad y el hormigonado en terrenos sumergidos se pueden garantizar en aquellos que incorporan una camisa metálica (CPI-2, CPI-3, CPI-4 y CPI-5) pero no siempre en el resto. En el clásico CPI-8 sí que se asegura que la perforación no se desplome, aunque la existencia de flujos intensos de agua puede afectar al hormigonado y generar puntos estrangulados.

En definitiva, el agua en el terreno hace que éste tenga menos prestaciones y sea más costoso de sostener, lo que condiciona el tipo y las dimensiones de los elementos de cimentación y sostenibilidad y su ejecución en la obra. En consecuencia, resulta muy importante disponer de un conocimiento previo del comportamiento hidrogeológico del terreno. En caso contrario, la presencia no esperada de agua puede obligar a parar la obra con el fin de recalcular y/o rehacer el proyecto y el sistema de construcción, con el consiguiente coste que ello comporta. En algunos casos no se llega a modificar nada, pero hay que aplicar medidas complementarias que sin duda incrementan también el coste de la obra.

La existencia de agua es ampliamente conocida y popular en algunas zonas, como llanuras costeras donde el terreno se encuentra sumergido hasta cerca de la superficie, aunque, por el contrario, es mucho más limitado en otras donde hay fluctuaciones importantes. Este último caso se da en la población de Palafrugell, donde, por debajo de unos 2 a 4 metros de sedimentos, suele haber un sustrato rocoso relativamente impermeable que limita la percolación. De esta forma, el agua tiende a circular en la zona de contacto entre la cobertura y el sustrato y su nivel oscila sensiblemente en relación directa con los aportes. Esta situación ha comportado que en algunos solares la cimentación se modificara de las zapatas inicialmente previstas a la solución definitiva con losa.

El conocimiento del comportamiento hidrogeológico del terreno es indispensable, y éste no debe limitarse únicamente a detectar agua. Hay que tener también datos de posibles fluctuaciones, a partir de piezómetros de control o antecedentes documentados, y del carácter confinado o libre de la formación saturada.

AGRESIVIDAD DEL AGUA

El aparejador responsable del control de calidad debe tener la información del agua que se puede encontrar en una ejecución. El análisis de laboratorio determinará si ésta es agresiva para el hormigón y, por tanto, si se debe elegir un cemento diferente o si se deben adoptar medidas complementarias.

La analítica a la que se hace referencia se lleva a cabo en una muestra que se suele tomar de un sondeo. La muestra no ha de ser inferior a 2 litros, se tiene que tomar con un recipiente hermético y tiene que estar en el laboratorio antes de 24 horas. La disposición normativa vigente de la analítica la marca la *Instrucción de Hormigón Estructural*

(EHE-98) y prevé la determinación del pH y la concentración de residuo seco, dióxido de carbono CO₂, amonio NH₄⁺, magnesio Mg²⁺ y sulfatos SO₄²⁻. La agresividad del agua viene dada por los procesos de lixiviación de los componentes, cuya intensidad se valora a partir de los cuatro primeros parámetros, y por el ataque químico y formación de compuestos, estos últimos expresados con los dos parámetros restantes. En función de los valores obtenidos y los intervalos especificados en la tabla siguiente, el agua se califica como no agresiva o bien de agresividad débil, mediana o fuerte. (Ver cuadro *pág. 28*)

Determinada la agresividad, la misma instrucción EHE-98 designa una clase específica de exposición a partir de la cual recomienda el tipo de cemento, la dosificación y el recubrimiento de los armazones. En las comarcas gerundenses, las aguas se suelen calificar como no agresivas o de agresividad débil. Son una excepción las zonas a tocar de la costa y ricas en sulfatos, las áreas con formaciones yesosas infrayacentes (Ripollès, Garrotxa y Pla de l'Estany) y franjas cercanas a fallas de salto importante en que hay una concentración anómala de dióxido de carbono (zona del barrio de Pedret y Campdorà de Girona, entre otras).

ESTABILIDAD DE TALUDES

Tanto a la dirección y ejecución como al coordinador de seguridad les hace falta conocer cuál es el ángulo al que hay que abatir los taludes de excavación con el fin de asegurar su estabilidad o, en caso contrario, si hay que tomar medidas provisionales de contención.

La estabilidad del terreno frente a una excavación depende del ángulo de fregamiento interno, la cohesión y densidad, en lo referente a los materiales, y de la altura e inclinación, en lo referente al talud. En cuanto a los parámetros y propiedades del terreno es muy importante cuantificarlos con precisión al efecto de limitar la incertidumbre de resultados y tener que aplicar factores de seguridad excesivos.

Cuando nos referimos a estabilidad, hay que discriminar entre la situación a corto plazo, el periodo en que se prolongan los movimientos convencionales de tierras, y a largo plazo, que se extendería como mínimo a lo largo de la vida de la construcción. Esta diferenciación tiene básicamente sentido en los suelos no consolidados y especialmente en aquellos en que hay abundancia de finos, ya que ésta reside en el drenaje de la fracción fina. En este tipo de terrenos poco permeables el drenaje es lento, y durante un cierto periodo de tiempo el material dispone de una cohesión aparente c_u asociada al efecto del agua que le permite soportar taludes verticales de altura concreta. En esta situación, y para suelos finos, se ha establecido una relación matemática que define la altura crítica de un talud vertical H_{crit} en función de la cohesión aparente ($H_{crit} = 4 \times c_u / \text{densidad}$). A largo plazo, el mismo material puede haber drenado completamente, y en esta situación extrema se comportará como un suelo granular limpio. En este último terreno el drenaje será siempre efectivo, lo que hace que no se pueda contar con la cohesión y que la inclinación estable de los frentes de excavación se corresponda con el ángulo de reposo del material. Éste es de unos 30 a 50 grados para arenas o gravas y de 15 a 30 para los suelos finos. Los suelos consolidados suelen disponer de cohesión efectiva y fregamiento interno, lo que garantiza la estabilidad de los taludes más inclinados que los de suelos recientes. En el caso de un sustrato rocoso, la matriz suele tener, excepto si la roca está alterada, una cohesión importante que *a priori* le permitiría soportar taludes verticales. Así y todo, la disposición de las discontinuidades que casi siempre presenta la roca es la que condicionará la estabilidad del talud. En función de su orientación respecto al plano de talud y la resistencia al corte, éstas superficies permitirán o no una ruptura.

El informe geotécnico debe pronunciarse correctamente sobre el ángulo estable de las excavaciones, y para ello hay que realizar sondeos con obtención de muestras inalteradas. Las prospecciones de campo deben acompañarse con ensayos de laboratorios, como el corte directo y la compresión en la prensa triaxial, que proporcionen valores de cohesión y ángulo de fregamiento interno, con y sin drenaje si es

necesario. Con estos parámetros cuantificados y tras haber seleccionado el modelo de cálculo adecuado, hay que determinar el factor de seguridad de los taludes y, en su caso, valorar la aplicación de medidas de contención para incrementarlo.

CONCLUSIONES

- Como puede verse, estos tres aspectos son temas bastante importantes para un buen proceso constructivo y todos ellos dependen del estudio geotécnico.
- Es por ello que, además del proyectista, sería interesante que la Dirección de la Ejecución de la Obra interviniera a la hora de encargar el estudio geotécnico para que éste sea completo y de utilidad para su trabajo.
- Un estudio como es debido no sólo debe hablar de la resistencia del terreno, sino que debe aportar muchos otros datos, muchos de los cuales están fundamentados en ensayos de campo y de laboratorio.
- Un trabajo geotécnico basado únicamente en calas o exclusivamente en ensayos de penetración dinámica continua no dará nunca los datos y la fiabilidad necesarios. Para disponer de una información con garantías hace falta una prospección de campo con sondeos de testimonio continuo y un trabajo completo de un laboratorio acreditado.

ERNEST OLIVERES

Presidente del Colegio de Aparejadores
y Arquitectos Técnicos de Girona
IGNASI CAPELLÀ
Geólogo del Área de Geotecnia del Cecam

LA DIRECTIVA DE PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y LA MARCA CE (ver pág. 30)

La Directiva de Productos de la Construcción (DPC) 89/106/CEE nace de la voluntad de liberar el mercado de la Unión Europea de las barreras técnicas que tradicionalmente han dificultado el comercio de productos de la construcción entre los estados.

La particularidad de esta normativa es que afecta a un gran número de productos. Concretamente, y según se define en la Directiva, se aplicará a todos los productos de la construcción entendiéndose como producto de construcción todo aquél fabricado para su incorporación con carácter permanente en las obras de construcción, incluyendo tanto las obras de edificación como las de ingeniería civil.

El proceso de implantación de la DPC está siendo largo y lento. La directiva se aprobó el año 1989 y no ha sido hasta el año 2001 cuando ha aparecido la primera norma armonizada y se ha empezado a poner en práctica de forma más o menos regular. Esto se debe a que para cada producto hay que elaborar una norma europea armonizada, transponerla a los distintos estados miembros, adaptar los procesos de fabricación a los requisitos de la norma para la obtención final, por parte del producto, de la marca CE, además del gran número de sectores industriales que afecta. (Ver gráfico pág. 30)

Se calcula que alrededor del año 2009 se acabará el proceso de implantación de la DPC con la armonización de más de 500 normas. Esta Directiva pretende definir los requisitos esenciales sobre seguridad y otros aspectos que son importantes para el bienestar general, sin reducir los niveles existentes y justificados de protección de los estados miembros, para constituir así las bases para la preparación de las normas armonizadas a nivel europeo.

Las normas armonizadas son establecidas por organismos europeos de normalización de acuerdo con los procedimientos de la Directiva que se transpone. Son un patrón de referencia donde se detallan los requisitos esenciales que afectan a los productos para poder ser utilizados en todos los estados miembros.

La marca CE es, pues, la marca final que se otorga a un producto y

que certifica que cumple con los requisitos que se establecen en las normas armonizadas.

De la marca CE ya se ha hablado con anterioridad en esta revista (*El marcaje CE para los áridos, Nivell núm 4, Joaquim Romans Ramió, Jefe de Calidad del Cecam*) por lo que ahora sólo recordaremos los 5 puntos clave:

- El marcaje CE es un pasaporte por el que un determinado producto se puede comercializar en cualquier estado miembro de la Unión Europea.
- No es una marca de calidad, por tanto no exime al técnico de realizar el control del producto.
- Es responsabilidad del fabricante.
- Tiene que figurar en el producto, en una etiqueta adherida al embalaje o en los documentos comerciales según el caso. Esta marca irá seguida del número de identificación del organismo encargado de la fase de control de la producción, y también constará el nombre o la marca distintiva del fabricante, las dos últimas cifras del año de colocación del marcaje CE y, cuando haga falta, el número de Certificado CE de conformidad.
- Se establecen dos fechas para cada producto, el inicio del periodo de coexistencia (marca CE voluntaria) y el final del periodo de coexistencia (marca CE obligatoria).

LA MARCA CE EN LA OBRA

La recepción de productos de construcción en obra es competencia del director de la ejecución material de ésta, y es de su responsabilidad la aceptación o rechazo de estos productos. Por tanto, es obligación del director de la ejecución verificar que todos los productos afectados por el marcaje CE llevan correctamente este marcaje y que se aporta la documentación adicional necesaria en cada caso. Es necesario que esta documentación esté escrita al menos en el idioma oficial del estado. No obstante, en algunos casos el cumplimiento de las normas armonizadas o las normas de transposición puede implicar cambios en la designación o definición de las características del producto, cambios que hay que conocer a la hora de recibir el producto en obra. A continuación os describimos dos casos concretos de este hecho.

Markado CE para los adhesivos cementosos

Desde el 1 de abril de 2004 en cumplimiento del RD 93/68/CE (transposición de la Directiva Europea 89/106/CEE) es obligatorio el marcaje CE de los adhesivos cementosos. Todos los adhesivos deberán cumplir con la norma armonizada UNE-EN-12004 y, según ésta, habrá que definir sus características según el cuadro de la pág. 31.

Marcaje CE para los morteros de obra de paleta y de enlucido

Desde el 1 de febrero de 2005 es obligatorio el marcaje CE para comercializar morteros para obra de paleta y enlucidos interiores y exteriores. Las designaciones de estos morteros se unifican en la "Instrucción sobre criterios para la puesta en práctica del mercado CE de los morteros para albañilería" de la Dirección General de Desarrollo Industrial del Ministerio de Industria, y son las siguientes:

- Designaciones homologadas para identificar los morteros de paleta en función de su resistencia a compresión en N/mm² (ver cuadros pág. 32, donde d* resistencia a compresión superior a 25 N/mm²).
- Identificación homologada para los morteros de enlucido interior y exterior en función de las siguientes categorías. (Ver cuadro pág. 32). Podéis consultar el listado completo de materiales con marcaje CE obligatorio y voluntario en el apartado de "Informació Tècnica" de la página web del Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Girona, www.aparellador.org

ANNA FERRER ROBERT
GEMMA SOLER PUJOL
Arquitectas Técnicas
Gabinete Técnico de CECAM

CECAM LOGRA LA CERTIFICACIÓN ISO 14001 DE GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL (ver pág. 33)

A partir del año 1996, CECAM puso en marcha una política de actuación con el objetivo de lograr los más altos niveles de calidad en todos los ámbitos de su actuación.

Actualmente disponemos de un sistema integrado de gestión que permite tratar todas nuestras actividades con los requisitos de calidad, de prevención de riesgos laborales y de respeto al medio ambiente.

En este camino se han logrado varios hitos referidos a los servicios de ensayos y a las inspecciones. De éstos, hay que destacar las acreditaciones para los ensayos según ISO 17025 concedidas por diversos departamentos de la Generalitat y por ENAC, las acreditaciones para las inspecciones según ISO 17020, concedidas por el Departamento de Medio Ambiente, que nos permiten actuar como Entidad Ambiental de Control y, por último, también disponemos de otras acreditaciones concedidas por diversos departamentos relacionados con aspectos de Salud, Agricultura y Medio Ambiente.

Todas estas acreditaciones son un reconocimiento externo de la capacidad técnica de CECAM para poder realizar estos ensayos e inspecciones. Nos hacía falta, sin embargo, además, el reconocimiento de que nuestras actuaciones son respetuosas con el medio ambiente. Para alcanzar este nuevo objetivo, empezamos a trabajar en esta tarea a partir del año 2003. El trabajo se ha dividido en tres fases: La primera ha consistido en establecer una sistemática para tener bajo control todas las actuaciones e indicadores que puedan afectar al medio ambiente. La segunda se ha dedicado a verificar y corregir todas las variables hasta asegurar el cumplimiento de toda la normativa que nos afectaba. Por último, se han establecido los mecanismos para el mantenimiento del sistema con el objetivo de mejora permanente.

Una vez completadas las tres fases citadas, y con fecha de 7 de septiembre de 2005, hemos obtenido el certificado de aprobación conforme a la norma UNE-EN-ISO 14001/04, lo que significa que una entidad externa debidamente acreditada por ENAC ha verificado que el sistema de gestión medioambiental que CECAM ha implantado y aplica cumple los requisitos de esta norma. O, lo que es lo mismo, se reconoce el compromiso de CECAM por el respeto al medio ambiente, la eficacia del sistema que hemos establecido para la prevención de agresiones medioambientales y la investigación de mejora permanente. La aprobación obtenida comprende las instalaciones de Celrà, Olot, Lloret y Vilamallà.

JOAQUIM ROMANS
Jefe de Calidad de CECAM

OBTENER LA LICENCIA DE ACTIVIDADES... ¡ÚLTIMA OPORTUNIDAD! (ver pág. 34)

Desde la entrada en vigor de la Ley 3/1998, de la Intervención Integral de la Administración Ambiental (IIAA), el sistema para obtener la licencia de actividades ha sufrido constantes cambios: modificaciones de las clasificaciones de actividades, prórrogas de los plazos, ...

Las empresas tenían de plazo hasta el 1 de enero de 2004 para tramitar la solicitud de la licencia ambiental, pero una vez superada esta fecha, se estima que sólo un 30% de las actividades habían cumplido la ley. Ahora, con la entrada en vigor del Decreto 50/2005, se establece un proceso escalonado de adecuación con tres plazos sucesivos (uno cada semestre hasta el 1 de enero de 2007). Según varios criterios de prioridad, la administración requerirá a las actividades que se adecuen a uno de estos tres plazos.

Actualmente, más de 34.000 empresas tienen que realizar la evaluación ambiental y la verificación de su actividad con el fin de obtener la licencia ambiental.

El objetivo del Departamento de Medio Ambiente es sustituir las

antiguas licencias de actividades, sectoriales y estáticas, por las modernas licencias ambientales, que reúnen en un único documento que la actividad cumple la legislación sectorial que le es de aplicación. La evaluación ambiental refleja el funcionamiento de la actividad en referencia a las aguas, residuos, ruidos, emisiones atmosféricas y prevención de incendios.

Este informe de evaluación ambiental lo tiene que elaborar un técnico competente o una ingeniería y tiene que ser verificado por una Unidad Técnica de Verificación Ambiental (UTVA), entidad formada por una Entidad Ambiental de Control (EAC).

Las empresas que no presenten a tiempo la evaluación ambiental debidamente verificada podrán ser sancionadas con más de 6.000 euros y con el cierre de su actividad.

Están afectadas por esta legislación todas las actividades de diversos sectores:

- Industrias minerales y de la construcción
- Industrias químicas
- Industrias textiles
- Industrias de alimentación
- Industrias de la madera, el corcho y los muebles
- Industrias del papel
- Actividades de gestión de residuos
- Actividades agroindustriales y ganaderas
- Actividades comerciales
- Establecimientos dedicados a los servicios
- Establecimientos recreativos, de espectáculos y ocio

Todo ellos viene regulado por el **Decreto 50/2005**, que se puede sintetizar de la siguiente manera:

¿CUÁL ES EL OBJETIVO?

Este decreto despliega la Ley 4/2004, de 1 de julio, reguladora del proceso de adecuación a la Ley 3/1998 de las actividades con incidencia ambiental.

Al mismo tiempo, con este decreto se modifican determinados preceptos del Decreto 220/2001, de 1 de agosto, sobre la gestión de las deyecciones ganaderas.

¿CUÁNDO ENTRÓ EN VIGOR?

El Decreto 50/2005, de 29 de marzo, se publicó en el DOGC núm. 4353 de 31 de marzo de 2005 y entró en vigor al día siguiente de su publicación, es decir, el día 1 de abril.

¿A QUÉ ACTIVIDADES SE APLICA?

Es de aplicación a las actividades existentes, clasificadas en los anexos I y II de la Ley 3/1998, que todavía no han iniciado los trámites de adecuación a la administración correspondiente y que tienen que solicitar la autorización o licencia ambiental.

¿QUÉ PLAZOS ESTABLECE EL PROGRAMA DE ADECUACIÓN?

El objetivo del programa es ordenar el proceso de adecuación de las actividades existentes. Con este fin establece tres periodos de adecuación de duración semestral.

Cada actividad será incluida individualmente en uno de estos tres plazos y deberá presentar la solicitud de autorización o licencia ambiental antes de las fechas correspondientes:

- 1º periodo antes del 1 de enero de 2006
- 2º periodo antes del 1 de julio de 2006
- 3º periodo antes del 1 de enero de 2007

Los titulares de las actividades recibirán un requerimiento de adecuación por parte de la administración competente donde se informará de manera personalizada en cuál de estos tres periodos se tiene que adecuar la actividad.

En el caso que en fecha de 1 de octubre de 2005 no se haya recibido el requerimiento administrativo se entiende que el plazo de adecuación de la actividad es antes del 1 de julio de 2006.

¿QUÉ PROCEDIMIENTO HAY QUE SEGUIR?

El titular de la actividad debe presentar a la administración correspondiente la solicitud de adecuación acompañada de una evaluación ambiental debidamente verificada por una UTVA.

¿QUÉ ES LA EVALUACIÓN AMBIENTAL?

La evaluación ambiental la puede realizar la misma empresa, una empresa externa, una ingeniería, una consultoría... También puede realizar la evaluación ambiental una Entidad Ambiental de Control (EAC), pero después no podrá ser verificada por la UTVA de esta misma entidad.

¿QUÉ ES LA VERIFICACIÓN?

El informe de verificación de la evaluación ambiental, lo tiene que realizar una UTVA.

La actividad tiene que contratar la verificación a una UTVA con una antelación mínima de 3 meses antes de que finalice el plazo máximo fijado en el requerimiento de adecuación.

La UTVA no puede formalizar un contrato de una verificación si no garantiza que se habrá realizado antes que finalice el plazo máximo fijado en el requerimiento de adecuación.

En caso de que el informe de verificación demuestre que la actividad presenta incumplimientos respecto a la legislación ambiental exigible y considere que son enmendables, el titular de la actividad tiene que presentar un programa de corrección.

¿QUÉ SON LAS UTVA?

Las UTVA son Unidades Técnicas de Verificación Ambiental debidamente acreditadas por el Departamento de Medio Ambiente. Sólo pueden ser acreditadas como UTVA las Entidades Ambientales de Control (EAC) y los verificadores ambientales EMAS.

¿DÓNDE HAY QUE PRESENTAR LA SOLICITUD DE ADECUACIÓN?

Clasificación actividad	Régimen	Administración competente
Anexo I	Autorización ambiental	OGAU Oficina de Gestión Ambiental Unificada del Departamento de Medio Ambiente
Anexo II.1	Licencia ambiental	OGAU Oficina de Gestión Ambiental Unificada del Departamento de Medio Ambiente
Anexo II.2	Licencia ambiental	Ayuntamiento

¿CUÁNDO SE RESUELVE EL EXPEDIENTE?

Las actividades, clasificadas en el anexo II, que hayan presentado la solicitud de adecuación antes de la entrada en vigor de este decreto y que estén pendientes de resolución, tendrán que ser resueltas, por parte de la administración, antes del 1 de noviembre de 2004.

En el caso de las actividades que tramiten la adecuación según este nuevo sistema, la administración competente debe dictar y notificar la resolución del expediente en el plazo máximo de 6 meses, a contar desde la entrada de la solicitud en la administración correspondiente. Si transcurrido este plazo no se ha notificado la resolución, se entiende que la autorización o licencia está otorgada por silencio administrativo.

MARIONA GARRIDO VALENTÍ
Directora Entidad Ambiental de Control
CECAM

- acustica@cecamlab.com
- aigues@cecamlab.com
- assessoria.professional@cecamlab.com
- atmosfera@cecamlab.com
- cecam@cecamlab.com
- celra@cecamlab.com
- ceramiques@cecamlab.com
- comercial@cecamlab.com
- comercial.quimica@cecamlab.com
- comptabilitat@cecamlab.com
- cursos@cecamlab.com
- eac@cecamlab.com
- formigons@cecamlab.com
- gabinet.tecnic@cecamlab.com
- geotecnia@cecamlab.com
- gerencia@cecamlab.com
- gestio@cecamlab.com
- informatica@cecamlab.com
- inspeccions@cecamlab.com
- instal.lacions@cecamlab.com
- lloret@cecamlab.com
- microbiologia@cecamlab.com
- obra.civil@cecamlab.com
- olot@cecamlab.com
- qualitat@cecamlab.com
- quimica@cecamlab.com
- quimica.construccio@cecamlab.com
- residus@cecamlab.com
- seguretat@cecamlab.com
- terres.agricoles@cecamlab.com
- vilamalla@cecamlab.com

www.cecamlab.com



cecama 
*centre d'estudis de la construcció
i anàlisi de materials, slr*

www.cecamlab.com
e-mail: cecama@cecamlab.com

Celrà

Pol. Industrial - C. Pirineus
17460 Celrà
T 972 492 014 / F 972 494 117

Lloret de Mar

Ctra. antiga de Vidreres,
sect. ind.Q, nau D-18
17310 Lloret de Mar
T 972 371 223 / F 972 371 015

Vilamalla

Pol. Ind. Pont del Príncep,
sect. I, parc. 28
17469 Vilamalla
T 972 526 139 / F 972 526 140

Olot

Urb. Pla de Baix II - Av. d'Europa
17800 Olot
T 972 260 071 / F 972 261 247