



ESTRUCTURES AMB FORMIGONS ESPECIALS

LA REGULACIÓ DELS ESTUDIS GEOTÈCNICS
SEGONS EL CODI TÈCNIC DE L'EDIFICACIÓ

L'ASSAIG TRIAXIAL EN SÒLS I LA SEVA APLICACIÓ
EN LA CARACTERITZACIÓ HIDRO-MECÀNICA

INDICADORS BIOLÒGICS,
UNA BONA EINA PER AVALUAR LA QUALITAT
DELS SISTEMES AQUÀTICS

EDITORIAL

Portem una llarga temporada amb molta calor i manca de pluges, la monotonia del temps no té res a veure amb l'activitat política, legislativa i immobiliària.

En la legislativa vull destacar l'aprovació de l'Estatut d'Autonomia de Catalunya i també, en un altre àmbit, la publicació del Codi Tècnic de l'Edificació, que no comentaré en aquesta editorial perquè es mereix un número sencer.

També s'ha publicat el Nou Real Decret en el que s'aprova el reglament dels serveis de prevenció de riscos laborals, i d'aquí pocs dies entrarà en vigor la nova llei d'eficiència energètica així com part del nou Codi Tècnic abans mencionat.

En tràmit hi ha diverses lleis, d'entre elles la Llei del dret a l'habitatge, la nova Llei de les societats professionals o la Llei del sòl i valoracions.

En quant a l'activitat immobiliària, aquesta segueix creixent, però a un ritme més moderat que contrasta amb l'increment de preus dels habitatges.

Com podeu veure l'activitat és alta i també ho és la de la nostra Institució, el CECAM.

Entre les moltes del CECAM, voldria destacar la Jornada tècnica que vam organitzar el passat 29 de març, conjuntament amb la Universitat de Girona, dins el binomi Universitat-Empresa.

La jornada, que tractava sobre estructures amb formigons especials, va tenir una assistència d'unes 150 persones entre professionals, empresaris i estudiants de

la UdG. Els ponents van ser de primera línia i els temes van tractar sobre els diferents tipus de formigons com són els autocompactables, els d'altres prestacions, els que contenen àrids reciclats i fibres i les bases de càlcul pels formigons especials. Aquesta jornada es va cloure amb una interessant taula rodona sobre les aplicacions actuals i de futur d'aquests tipus de formigons.

Una altra activitat interessant fou la conferència que es va celebrar el passat 25 de maig, dins del marc d'activitats paral·leles en motiu del III Congrés nacional d'enginyeria sísmica. Ponents d'alt nivell com el Director de l'Institut Geològic de Catalunya, Sr. Antoni Roca, el responsable de sismologia de l'Institut Cartogràfic, Sr. Xavier Goula i el catedràtic d'estructures de la UPC, Sr. Alex Barbat, varen tractar el tema "Els terratrèmols i com reduir els seus efectes".

He de manifestar que continuarem en aquesta línia d'actuació per la bona acollida que ha tingut.

En aquest número que avui presento tractem temes d'actualitat com són:

- La regulació dels estudis geotècnics en el nou codi tècnic
- La corrosió metàl·lica i els diferents processos
- Els indicadors biològics com una bona eina per avaluar la qualitat dels sistemes aquàtics, ja siguin rius, embassaments, estanys o zones humides.

També es tracten dos temes de la jornada de formigons especials i un resum de la conferència sobre els terratrèmols.

Esperant que els continguts us siguin d'interès, us desitjo un bon estiu.

MIQUEL MATAS I NOGUERA
President Consell d'Administració del CECAM

Edita: CECAM

Assessorament lingüístic: Montse Peiris

Traducció al castellà: Marc Barrobés

Coordinació i disseny: Masgrau-Yani, SL

Impressió: Norprint

Dipòsit legal: GI-1549/2002



- 2 EDITORIAL
- 4 ESTRUCTURES AMB FORMIGONS ESPECIALS
- 6 ELS TERRATRÈMOLS I COM REDUIR EL SEUS EFECTES
- 8 CORROSIÓ METÀL·LICA
- 14 CONSTRUCCIÓ: ELS PROGRAMES DE CONTROL DE QUALITAT
- 16 L'ASSAIG TRIAXIAL EN SÒLS I LA SEVA APLICACIÓ EN LA CARACTERITZACIÓ HIDO-MECÀNICA
- 22 EL FORMIGÓ AUTOCOMPACTANT I LA REALITAT PROJECTE-EXECUCIÓ: REPERCUSIÓ DE LA CONSISTÈNCIA EN L'ÈXIT FINAL D'UNA CONSTRUCCIÓ. EL PAPER DECISIU DELS PRESCRIPTORS
- 26 CONSIDERACIONS PRÀCTIQUES SOBRE FORMIGÓ AUTOCOMPACTANT
- 31 LA REGULACIÓ DELS ESTUDIS GEOTÈCNICS SEGONS EL CODI TÈCNIC DE L'EDIFICACIÓ (CTE)
- 34 INDICADORS BIOLÒGICS, UNA BONA EINA PER AVALUAR LA QUALITAT DELS SISTEMES AQUÀTICS
- 38 TRADUCCIÓ AL CASTELLÀ

ESTRUCTURES AMB FORMIGONS ESPECIALS

El passat 29 de març va tenir lloc a la Sala d'Actes de l'Escola Politècnica Superior de la Universitat de Girona una Jornada Tècnica sobre Estructures amb Formigons Especials. Més de 130 inscrits varen assistir a aquest acte organitzat conjuntament pel CECAM i per la Universitat a través del Departament d'Arquitectura i Enginyeria de la Construcció i del Departament d'Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial, amb la col·laboració de col·legis professionals i empreses del sector.

L'acte va ser presentat pel Sr. Joaquim Velayos, director de l'EPS, i pel Sr. Miquel Matas, president del CECAM, i es va estructurar en tres sessions, dues al matí i una a la tarda, amb 5 ponències i una taula rodona final. La proposta va ser molt ben rebuda per l'entorn professional i empresarial lligat al món del formigó.

Existeix una àmplia gamma de tipus de formigons que al llarg del temps han tingut la consideració de no convencionals, amb els quals es pretén obtenir unes propietats específiques que requereixen estudis especials i que per produir-los s'han d'enfocar d'una manera peculiar. El gran desenvolupament de la indústria del formigó, tant en els aspectes productius

com en els d'aplicacions, ha fet que aquests productes inicialment no convencionals s'utilitzin cada vegada amb més freqüència, de manera que s'hagin anat estandarditzant els paràmetres de definició, producció i posada en obra.

Com a exemples d'aquests materials que, en una primera aproximació, poden haver estat qualificats com a especials es poden esmentar diversos tipus de formigons, com poden ser: els d'alta resistència, els autocompactables, els formigons amb fibres, els lleugers, els d'alta densitat, els líquids, els projectats, els blancs o de color, els impresos, els refractaris, etc.

A l'hora de triar els temes que han de tractar les ponències de la Jornada es va posar un especial èmfasi en el fet que cobrissin aquells aspectes més aplicables dels anomenats formigons especials per a utilitzacions estructurals i que, a la vegada, poguessin aportar informació novedosa per a una majoria dels assistents. Amb aquest objectiu, es van convidar com a ponents persones de reconeguda solvència en el camp professional i de la recerca i la innovació.

Els temes tractats i els conferenciants que els van presentar van ser els següents:



El Sr. Joaquim Velayos, director de l'EPS de Girona i el Sr. Miquel Matas, president del CECAM, en el moment de la obertura de la jornada.



- *Formigons autocompactables* a càrrec del Sr. Pere Borralleras, llicenciat en Ciències Químiques, cap del Departament Tècnic, Divisió Additius de DEGUSSA CC. Vocal del Subcomitè 2 "Additius per a formigó" del CTN-83 i vocal del Comitè Tècnic d'ANFAH (Associació Nacional de Fabricants d'Additius).
- *Formigons d'Altes Prestacions* a càrrec del Sr. Antonio Aguado, Dr. enginyer de Camins, catedràtic de la Universitat Politècnica de Catalunya, coordinador del Programa nacional de construcció.
- *Formigons amb àrids reciclats* a càrrec del Sr. Enric Vázquez, Dr. en Ciències, Catedràtic de la Universitat Politècnica de Catalunya.
- *Formigons amb fibres* a càrrec del Sr. Marc Vandewalle, Ms Civil Engineering, director tècnic de NV Bekaert S.A. Bèlgica.
- *Bases de càlcul per als formigons especials* a càrrec del Sr. Antonio R. Marí, Dr. enginyer de Camins, catedràtic de la Universitat Politècnica de Catalunya, membre de la Comisión Permanente del Hormigón.
- Taula rodona sobre el tema *Aplicacions actuals i de futur dels formigons especials*, amb diversos ponents de la jornada i els Srs. Ramon Ceide, arquitecte tècnic i professor de la UdG, i Antoni Blázquez, arquitecte i professor de la UdG. Va actuar com a moderador el Sr. Lluís Torres, Dr. enginyer industrial i professor de la UdG.

Les presentacions van fer un repàs general de la situació actual de desenvolupament i aplicacions dels materials sobre els quals versaven, es van exposar diferents experiències en què havien participat els ponents, tant des del punt de vista de professionals com del de la participació en projectes de recerca, innovació i desenvolupament, i van plantejar l'enfocament de futur en cadascun dels camps. Totes les ponències van anar seguides d'un col·loqui entre els assistents i els ponents, que generalment van centrar-se en problemàtiques amb què s'havien trobat les persones que intervenien o en aspectes normatius referents a la utilització d'aquests materials.

Com a conclusions generals es podria dir que, quan es parla d'aquests materials, i així va ser en cadascun dels casos tractats, s'ha de pensar en les propietats rellevants que ofe-

reixen respecte dels formigons convencionals o de les altres alternatives, així com en la incidència dels components en el resultat final, en les seves proporcions i en el disseny de la mescla. Un altre aspecte no menys important és el del control de les propietats esperades i l'establiment de procediments d'assaig adequats, senzills i amb possibilitat de ser reproduïts en la indústria. Un tema que va aparèixer de manera reiterada en les intervencions va ser el de la incorporació dels avenços tecnològics a les normes i en aquest cas a la necessitat que la Instrucció EHE vagi incorporant pautes que puguin ser seguides pels tècnics i empreses (p.e. annexos sobre formigons d'alta resistència o formigons amb àrids reciclats). Els aspectes de càlcul van ser tractats en una de les xerrades de manera específica. Cal tenir en compte les possibles modificacions de les propietats que poden tenir més incidència en el comportament últim i en servei, com poden ser les resistències últimes i les corresponents deformacions, el mòdul elàstic, la resistència a tracció, la fluència i la retracció o la combinació del formigó amb l'acer (p.e. per obtenir l'adequada ductilitat en formigons que com a materials són més fràgils que els convencionals, les quantitats mínimes que seran diferents, etc.). La utilització d'àrids reciclats va ser un tema en què els assistents van mostrar molt d'interès. Per a aplicacions estructurals, sembla que la utilització d'un percentatge de fins a un 20 % i l'exclusió de la fracció fina donarien propietats similars a les habituals. Per a altres aplicacions no s'ha de ser tan limitatiu, però es va posar de manifest que encara hi ha dificultats d'acceptació per a usos que en principi no haurien de presentar problemes.

També es van tractar extensament tots els aspectes, condicionants i requeriments lligats a la posada en obra i als avantatges o inconvenients que en relació amb aquest aspecte poden presentar aquests formigons especials.

LLUÍS TORRES LLINÀS

Professor de la Universitat de Girona
Comitè organitzador de la Jornada

ELS TERRATRÈMOLS I COM REDUIR ELS SEUS EFECTES

El passat 25 de maig es va dur a terme la conferència “*Els terratrèmols i com reduir els seus efectes*”. Aquesta activitat forma part del 3r Congrés Nacional d’Enginyeria Sísmica que tindrà lloc a Girona del 8 a l’11 de maig del 2007.

La conferència pretenia donar una primera idea de quines són les estructures que tenen millor comportament davant d’un terratrèmol i de quines mesures d’informació i prevenció tenim avui en dia per tal de reduir els efectes dels terratrèmols a l’edificació.

Actualment, el mercat de la construcció es troba en el seu millor moment, fet que provoca que no sempre se segueixin les millors tècniques constructives. Sembla que entrem en una època en què l’estètica dels nous edificis deixa de banda la seguretat que haurien de proporcionar-nos.

Catalunya es troba en una zona on l’activitat sísmica es cataloga de moderada. L’Institut Cartogràfic de Catalunya i el Servei Geològic de Catalunya han elaborat un *Atlas Sísmic de Catalunya*, amb el *1r volum: Catàleg de Sísmicitat*. En aquest es fa un primer escenari de Risc Sísmic per a cada municipi de Catalunya. Cal dir que el risc es calcula a partir del producte:

$RISC = PERILLOSITAT \times VULNERABILITAT$

El factor perillositat fa una estimació de la intensitat del moviment sísmic que es pot esperar per a cada municipi, i dóna lloc al mapa de zones sísmiques.

El factor vulnerabilitat indica la vulnerabilitat sísmica de les construccions de tot el territori català, i valora els danys que el moviment sísmic considerat pot causar sobre els municipis.

En la conferència es van poder veure nombrosos exemples de construccions recents que serien fàcilment destruïdes per un terratrèmol de grau no gaire alt a l’escala de Richter. Si els edificis de nova construcció seguissin unes tècniques bàsiques de construcció, com ara lligar les piles amb els encofrats, evitar voladissos exageradament grans, ser generosos amb el nombre d’acer que es posa en el formigó armat, etc. i si, a més a més, es tinguessin en compte les zones sísmiques de l’àrea on s’està construint i el grau de vulnerabilitat d’un edifici enfront d’un terratrèmol, disminuiria notablement, i es reduiria el risc.



D’esquerra a dreta: els senyors Xavier Goula, responsable de Sismologia de l’Institut Geològic de Catalunya, Alex Barbat, catedràtic d’Estructures de la UPC i Antoni Roca, director de l’Institut Geològic de Catalunya, en un moment de la conferència.



El Sr. Alex Barbat, catedràtic d'Estructures de la UPC, en un moment de la seva intervenció.

En aquesta avaluació de risc també s'ha de tenir en compte l'amplificació del moviment sísmic a causa dels sòls tous. Per exemple, si ens trobem a una certa distància de l'epicentre d'un sisme, l'efecte d'aquest sobre la població es pot veure amplificat per la geologia del terreny i no ésser atenuat per la distància que separa la població de l'epicentre, com teòricament hauria de passar. Per això, s'ha estudiat la geologia de cada municipi i s'ha realitzat una classificació geotècnica.

Aquest 1r volum de l'*Atlas Sísmic de Catalunya* ha estat utilitzat per la Conselleria d'Interior per tal d'elaborar el Pla

d'emergència sísmica de Catalunya (SISMICAT). En aquest recull d'informació s'observa que no tots els municipis de Catalunya tindrien la mateixa resposta davant un mateix grau de terratrèmol, per tant, en aquest pla es determinen quins municipis han de realitzar el Pla d'emergència municipal en front de terratrèmols.

Finalment, tenir una bona informació de base i saber-la utilitzar a l'hora de planificar nous edificis, és essencial per tal de reduir el risc sísmic a Catalunya.

CRISTINA PRATS PUIG
Geòloga del CECAM



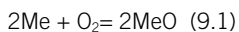
CORROSIÓ METÀL·LICA

La corrosió es defineix com la reacció d'un material amb el medi ambient que origina un atac destructiu del material de partida esmentat. En termes econòmics, el problema de la corrosió és de grans dimensions: s'estima que aproximadament el 5% del producte interior brut d'un país industrialitzat es gasta per prevenir la corrosió i per mantenir o reemplaçar els productes afectats per les reaccions de corrosió. Les conseqüències de la corrosió són de tots conegudes: capes de rovell del objectes d'acer al carboni, inflament dels plàstics, eflorescències en las parets...fins a la ruptura de materials que poden causar greus accidents. Amb aquest article ens referirem a la corrosió experimentada pels metalls.

La corrosió metàl·lica és un fenomen que es pot visualitzar com una reacció química entre reactius: un metall i l'oxigen del medi ambient. Segons el tipus de reacció, la corrosió pot ser: química (o seca) i electroquímica (o humida). També experimenten corrosió els plàstics i els ceràmics, que ara no comentarem.

1. CORROSIÓ QUÍMICA

La corrosió química té lloc escalfant els metalls a temperatura superior a la d'ebullició de l'aigua. En aquestes condicions l'aigua s'evapora i la majoria dels metalls reaccionen amb el medi ambient.



Un tipus de corrosió seca és l'oxidació d'un metall introduït en un forn d'aire. També té lloc corrosió seca (oxidació) en els processos metal·lúrgics de mecanitzat en absència de taladrines, on les friccions originen augment de la temperatura i en els processos de soldadura, on s'arriben a temperatures suficients per fondre el metall. La corrosió seca té lloc de manera espontània en els casos esmentats i en moltes més ocasions pel fet que l'energia lliure de la reacció química de formació de la majoria d'òxids és negativa, amb l'excepció de l'òxid d'or.

Per què uns metalls s'oxiden més que altres?

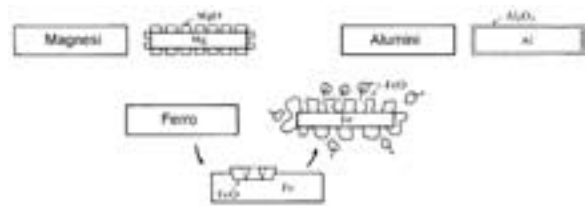


Fig. 1: Magnesi, alumini i ferro, sense i amb productes d'oxidació.

Per dos motius. En primer lloc, hi ha òxids més estables que altres, com és el cas de l'alumini. En segon lloc, els productes de la corrosió (fig. 1) poden aïllar o no el substrat del medi exterior. Si el producte de corrosió no protegeix, la velocitat de corrosió $dy/dt = k/y$ és inversament proporcional al gruix de la capa de productes de la corrosió: fig. 2.

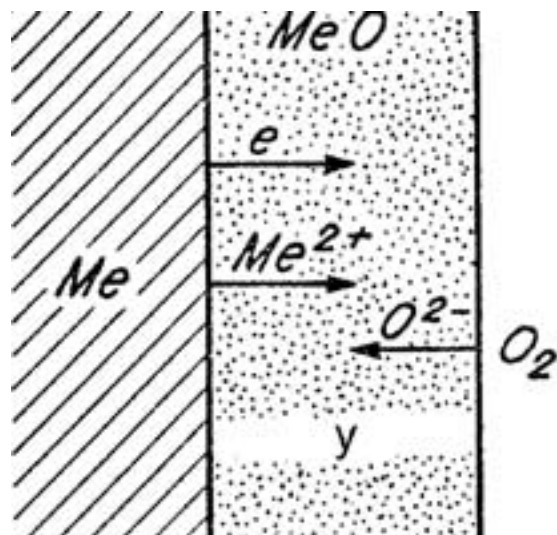


Fig. 2: Capa d'òxid, de gruix y, sobre una superfície metàl·lica.

És a dir, $y^2 = at$, on a és una constant i t el temps d'exposició. La velocitat de corrosió, en funció del temps, es representa mitjançant una paràbola: figura 3. Si es forma paràbola la capa d'òxid protegeix. La capa d'òxid que millor protegeix és quan es forma una gràfica logarítmica, que és el cas de l'alumini, l'acer inoxidable i altres.

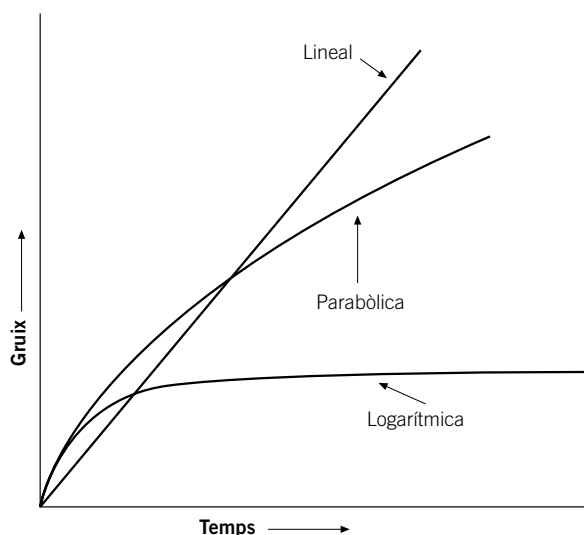


Fig. 3: Lles de la corrosió seca. Variació de massa en funció del temps d'experimentació.

Els òxids de crom, d'alumini (colmatat), de titani...i l'òxid ferrós-fèrric són compactes, sense gaires porus i elèctricament neutres. Per aquest motiu són molt protectors. En canvi els que són semiconductors dels tipus p (òxid níquelós) i tipus n (òxid de zinc), es caracteritzen per l'existència de vacants catióniques i de cations en posicions intersticials, que "faciliten" la corrosió del metall.

2. CORROSIÓ ELECTROQUÍMICA O HUMIDA

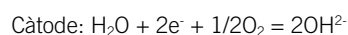
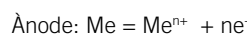
En els materials metàl·lics, el procés de corrosió més generalitzat és l'electroquímica; és a dir, una reacció que transfereix electrons d'una espècie a una altra. Una característica dels àtoms metàl·lics és la pèrdua o guany d'electrons en una reacció anomenada oxidació-reducció. La zona on té lloc l'oxidació es s'anomena ànode i l'oxidació de vegades es diu reacció anòdica. A la zona anòdica se li assigna el símbol més (+).

Els electrons generats en cada àtom del metall que s'oxida es transfereixen a altra espècie química i el procés s'anomena reacció de reducció. La zona on té lloc la reducció es s'anomena càtode. A la zona catòdica se li assigna el símbol menys (-).

La reacció electroquímica total consisteix en la suma de la reacció d'oxidació i de la reacció de reducció; sovint l'oxidació i la reducció s'anomenen semireaccions.

Per exemple, alguns metalls experimenten corrosió en dissolució àcida, que conté elevada concentració d'ions hidrogen.

En medi aquós neutre la principal reacció és la següent:



La velocitat total d'oxidació deu ser igual a la velocitat total de reducció o els electrons generats en l'oxidació es deuen consumir en la reducció.

En el contacte coure-zinc, els pocs ions Cu^{2+} que hi puguin haver es dipositen com coure metàl·lic en l'elèctrode de coure i el zinc es dissol (corroeix) en l'altra semipila i s'incorpora a la dissolució com ions Zn^{2+} .

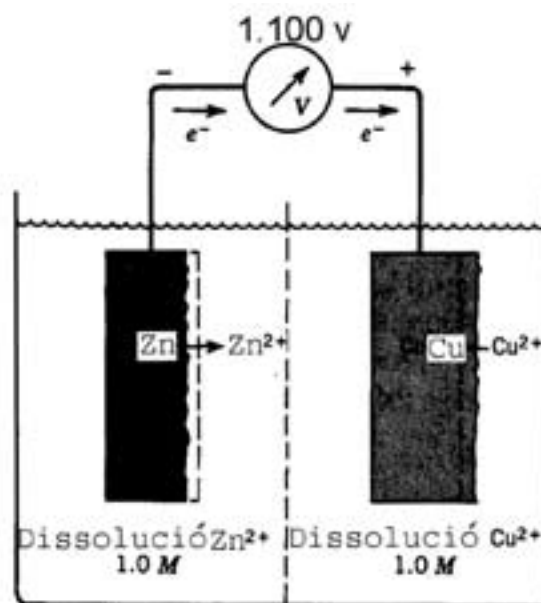


Fig. 4: Pila Zn/Cu.

Les reaccions de les dues semipiles estan representades per les reaccions següents:



Oxidació: $Zn = Zn^{2+} + 2e^-$
Reducció: $Cu^{2+} + 2e^- = Cu$

Els electrons generats en l'oxidació del zinc passen a través del circuit extern i flueixen a l'elèctrode de coure per reduir el Cu^{2+} . A més, existeix un moviment iònic a través de la membrana. Aquest dispositiu s'anomena un parell galvànic: dos metalls connectats elèctricament i submergits en un líquid electrolític, mentre un es converteix en ànode i s'oxida, l'altre actua com a càtode. Entre les dues semipiles existeix un potencial elèctric o voltatge, la magnitud del qual es determina connectant un voltímetre en el circuit extern. La pila galvànica coure-zinc genera un potencial de 1.100V a 25°C de temperatura.

3. CORROSIÓ ATMOSFÈRICA

S'anomena corrosió atmosfèrica la degradació experimentada pels metalls exposats en l'atmosfera convencional: a l'aire lliure. Es tracta d'una corrosió electroquímica. Els materials exposats en l'atmosfera experimenten corrosió, principalment en funció de tres factors: humitat relativa, contaminació atmosfèrica i temps d'exposició.

Perquè l'acer al carboni es corroeixi és necessari un valor lliandar d'humitat relativa, que se situa entorn del 70%. Una mostra d'acer al carboni conservada en un dessecador, on hi ha una humitat relativa (HR) molt baixa, no experimenta corrosió al llarg del temps.

Quant als agents contaminants més eficaços per accelerar la corrosió cal citar els nivells de diòxid de sofre i de clorurs. El diòxid de sofre sol procedir de la combustió, per exemple dels motors d'explosió. El diòxid de sofre en contacte amb la humitat ambiental i en presència d'un catalitzador, que pot ser la mateixa superfície metàl·lica de l'acer al carboni, genera àcid sulfúric, que dissol l'acer al carboni.

La presència de clorurs en l'ambient denota la proximitat de l'aigua de mar. Els clorurs es dissolen en l'aigua i augmenten considerablement la conductivitat del medi i, per tant, la possibilitat de tancar el circuit ànode-metall conductor-càtode-medi ambient.

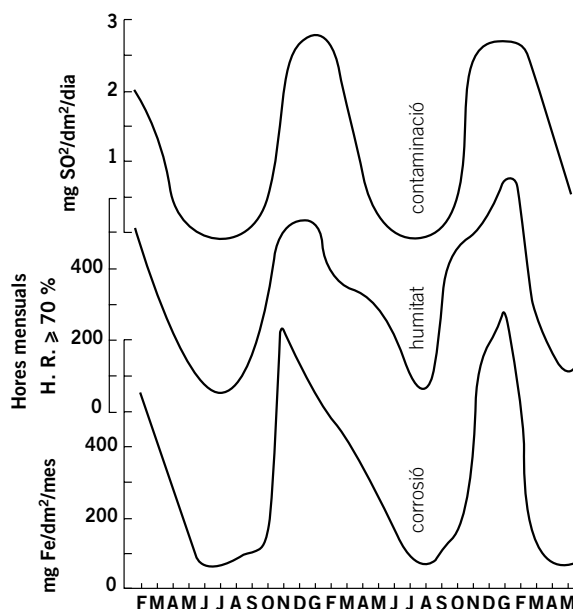


Fig. 5: Factors ambientals de la corrosió.

En la figura 5 es pot veure la influència del nombre d'hores, que la HR va ser superior al 70%, i la influència dels nivells de contaminació, per diòxid de sofre, en una peça d'acer al carboni durant tres anys consecutius. Els mesos de desembre i gener van causar major corrosió i els de juliol i agost, menor, perquè en els dos primers la humitat relativa i la contaminació solen ser majors i en els dos últims, menors.

Convé recordar que la humitat que arriba a una superfície oxidada o bruta es queda adherida per capil·laritat (fig. 6) i, encara que la humitat relativa de l'ambient sigui baixa, la humitat relativa de la superfície és més elevada.

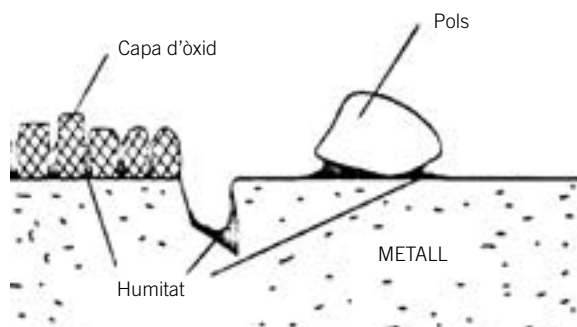


Fig. 6: Humitat capil·lar.



La corrosió atmosfèrica, segons Passano, es pot expressar com $C = A \cdot t^n$, on les dimensions de C són mm/any (gruix) o mdd: $\text{mg}/\text{dm}^2 \cdot \text{dia}$ (massa). t : anys, A i n constants de l'ambient d'exposició.

Els nivells de diòxid de sofre s'obtenen experimentalment per anàlisi mitjançant espectroscòpia infraroja de l'aire o bé determinant la quantitat de sulfat (SO_4^{2+}) que ha reaccionat amb el diòxid de sofre (PbO_2) que impregna un drap d'àrea coneguda i col·locat en un cartutx de plàstic situat en l'interior d'una garita suficientment ventilada. El sulfat de plom així format es determina per gravimetria.

Els valors dels clorurs es determinen analitzant per volumetria la concentració de clorur sòdic recollit en l'aigua de pluja o mitjançant rentat amb aigua destil·lada de la teula d'inoxidable, d'àrea coneguda, i instal·lada en el pupitre de la figura 7, on hi ha les provetes exposades.

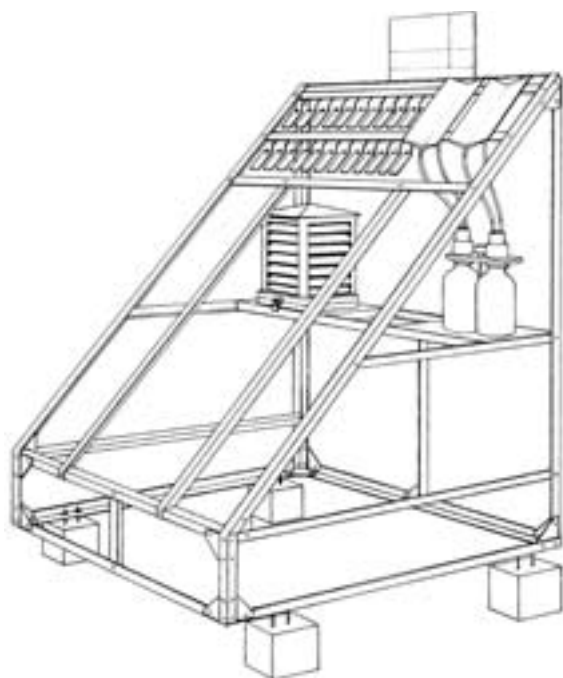


Fig. 7: Pupitre d'acer inoxidable per recollir diòxid de sofre, clorurs i col·locar les provetes a assajar.

4. CORROSIÓ GALVÀNICA

La corrosió galvànica és el tipus de corrosió més estès i s'origina quan dos metalls de distinta naturalesa electroquímica estan en contacte. En la figura 8 s'ha representat la unió del coure (càtode) amb l'acer al carboni (ànode). El més noble actua de càtode i el més actiu actua d'ànode, dissolent-se.

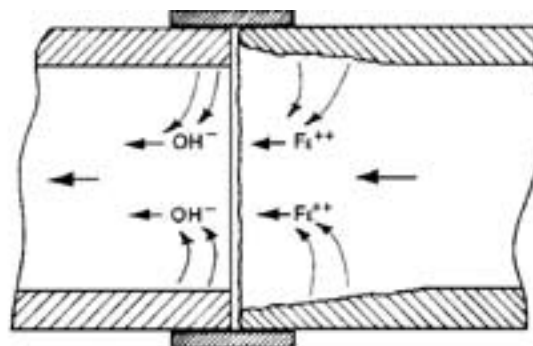


Fig. 8: A l'esquerra, canonada de coure (càtode) i a la dreta, canonada d'acer al carboni (ànode).

En la figura 9.a s'ha esquematitzat la unió de dues xapes d'acer al carboni amb una rebladura d'alumini (o al revés, és a dir dues xapes d'alumini amb una rebladura d'acer) en contacte elèctric, que produeix corrosió de l'alumini. En canvi, en la figura 9.b s'esquematitza la unió d'una xapa de coure amb una d'alumini mitjançant un cargol d'acer al carboni, en aquest cas, convenientment aïllades, evitant la corrosió.

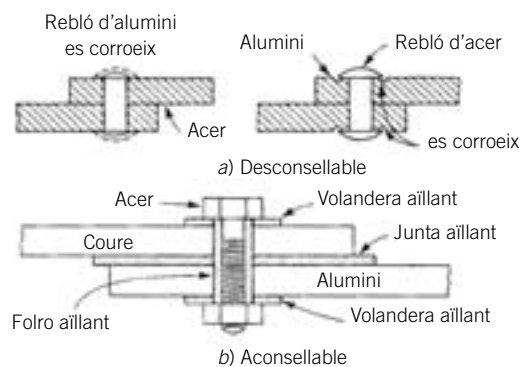


Fig. 9: Les unions metàl·liques nues produeixen: a) corrosió del metall més actiu; b) les unions convenientment aïllades no generen corrosió.



En els aliatges, els precipitats o les impureses poden ser anòdics o catòdics respecte a la matriu. És a dir, es pot donar el cas que la matriu sigui més noble que els precipitats, com l'alumini que conté impureses de magnesi, o que els precipitats siguin més nobles que la matriu, com el carbur de ferro o cementita en una fons de ferro o ferrita. En ambdós casos els aliatges experimenten corrosió: si aquells són anòdics respecte al metall base es van dissolent. En cas contrari, és a dir, si els precipitats o les impureses són més nobles que la matriu, aquesta es dissol en el medi corrosiu.

En el cas de la perlita (fig. 10), la cementita actua de càtode i la ferrita d'ànode.

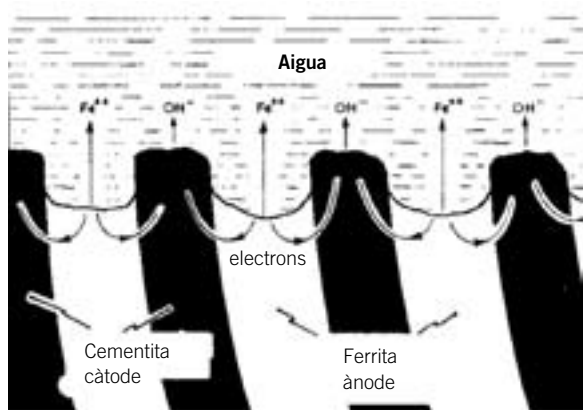


Fig. 10: En la perlita, la ferrita actua d'ànode i la cementita de càtode.

En els metalls el límit de gra, amb àtoms deslocalitzats i, per tant, amb major energia que la superfície lliure, es comporta com a ànode. En un límit de gra, hi ha àtoms deslocalitzats i, per tant, més reactius.

Ànode i càtode també apareixen en una superfície metàl·lica de composició química homogènia però amb zones de distinta acritud. L'acritud (o metall agre) es genera introduint defectes estructurals (vacants i dislocacions) en el metall, cosa que s'aconsegueix per l'afaiçonat (o conformació per deformació) en fred. Les zones que s'han doblegat actuen com a ànodes, mentre que les sense deformar es comporten com a càtodes: figura 11.

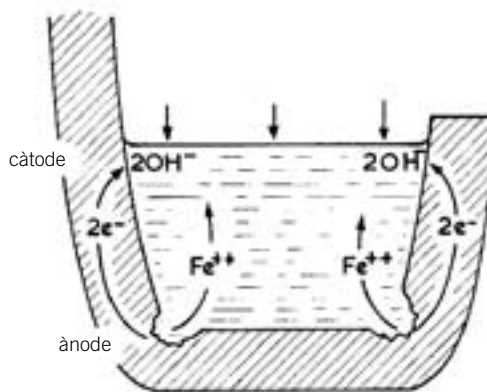


Fig. 11: Les zones més deformades i no recuïtes es comporten com a anòdiques, ja que tenen gran quantitat de dislocacions: acritud.

Un exemple convencional de l'aparició d'ànodes i càtodes per l'afaiçonament és la corrosió d'un clau d'acer al carboni. En el procés de fabricació a partir d'un filferro, la punta i el cap del clau s'han deformat molt més que el tronc. Per aquest motiu els extrems actuen d'ànodes i el tronc actua de càtode, no obstant això si es doblega es canvia, la zona doblegada també actua d'ànode: figura 12.

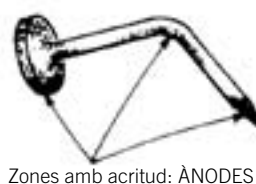


Fig. 12: Anodes i càtodes en un clau d'acer al carboni doblegat.

També apareix corrosió galvànica en modificar la microestructura per recuit de l'aliatge. Si en els límits de gra de l'aliatge apareix una segona fase, la corrosió s'accelera. Si s'aconsegueix dissoldre totalment la segona fase, la resistència a la corrosió és màxima, mentre que en aparèixer grans cristal·lins d'una fase i grans d'una altra, la corrosió és intermèdia.

Els materials tensionats solen ser més susceptibles d'experimentar corrosió que els materials recuïts. De fet,



es considera que les tensions internes originen microporus i dislocacions, la qual cosa contribueix a disminuir la compacitat del material.

Altres tipus de corrosió metàl·lica són: uniforme, localitzada, filiforme, pulverulent, biològica o bacteriana, per erosió, sota tensions, hidrogenació, descarburació, intercristal·lina, per fricció, fatiga amb corrosió, per aireig diferencial, per corrents erràtics i per eliminació selectiva.

BIBLIOGRAFIA

- FONTANA, M.G. GREENE, N.D. (1978). *Corrosion Engineering*. MacGraw Hill, Nova York.
- FELIU MATES, S. dintre de GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, J.A. *Teoría y práctica de la lucha contra la Corrosión*. CSIC, Madrid. 1984
- F.R. MORRAL, I. JIMENO, P. MOLERA. *Metalurgia General*. Vol. 2. Ed. Reverté, Barcelona, 1985
- *Metals Handbook*. ASM. 9ª edició, vols. 2, 3 i 13. Metals Park, Ohio, 1987 .
- CALLISTER, W.D. *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Ed. Reverté, Barcelona, 1996.
- HARPER, C.A. (editor). *Handbook of Plastics and Elastomers*. Ed. McGraw-Hill Inc, Nueva York, 1975.
- SAJA SÁEZ, J.A. RODRÍGUEZ PÉREZ, M.A., RODRÍGUEZ MÉNDEZ, M.L. *Materiales. Estructura, propiedades y aplicaciones*. Ed. Thomson Paraninfo, Madrid, 2005.
- SMITH, W. F. *La Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Ed. Mc Graw Hill, Madrid, 2004.

PERE MOLERA

Dr. Química. Prof. Universitat de Barcelona

IRENE MOLERA

Arquitecta

ORGANISMES I INSTITUCIONS

- American Society for Materials
<http://www.asm-intl.org>
- American Society for Testing Materials
<http://www.astm.org>
- National Association of Corrosion Engineers
<http://www.nace.org>
- The Paint Research Association
<http://www.pra.org.uk>
- Corrosion and Protection Centre
<http://www.cp.umist.ac.uk>
- European Aluminium Association
<http://www.eaa.net>
- European Coatings Net
<http://www.coatings.de>
- European Council of the Paint, Printing Inks and Aritist' Colour Industry
<http://www.cepe.org>
- Federation of Societies for Coatings Technology
<http://www.coatingtech.org>
- FATIPEC - Fédération d'Associations de Techniciens des Industries des Peintures, Vernis, Emaux et Encres d'Imprimerie de l'Europe Continentale.
<http://www.gazettelabo.tm.fr/hybride/adr/a/aftpa.htm>
- Asociación Técnica Española de Galvanización
<http://www.ateg.es>
- Associação Brasileira dos Materiais
<http://www.abrafati.com>
- Canadian Paint and Coating Association
<http://www.cdnpaint.org>
- Japan Paint Manufacturers Association
<http://www.toryo.or.jp>
- National Paint and Coatings Association
<http://www.paint.org>
- Paint and Decorating Retailers Association
<http://www.pdra.org>
- Protective Coatings Lining and Related Resources
<http://www.corrosion.com>
- Prototyping Resource Center
<http://cadserv.cadlab.vt.edu/bohan/RP.html>
- Surface Coatings Association Australia
<http://www.scaa.asn.au>



CONSTRUCCIÓ: ELS PROGRAMES DE CONTROL DE QUALITAT

El plec de condicions tècniques particulars d'execució és un document que, d'acord amb la legislació vigent, ha de constar en un projecte de construcció.

S'hi defineixen les diferents partides, les condicions d'execució de l'obra, les unitats i criteris d'amidament i les normatives de compliment obligat.

És evident que el document plec de condicions tècniques particulars és un document de gran importància per a la execució de l'obra.

Què es busca amb un pla de control de qualitat si ja es defineixen les condicions i com s'ha d'executar l'obra?

Una obra és l'acoblament de peces molt diverses, unes provinents d'un procés industrial que ja han estat sotmeses a controls exhaustius i el resultat final de les quals tindrà fàcilment relació amb els resultats d'aquells controls, com seria el cas de les lluminàries, les calderes, etc, per citar-ne algunes, i d'altres que s'acoblen "in situ" a partir d'elements controlables en origen, però que donaran un resultat que no té a veure amb el d'aquells controls, sinó de com s'acoblin i disposin: seria el cas dels formigons, de les barres corrugades per a l'estructura, de les ceràmiques, dels fils de coure, dels tubs per a les canalitzacions, dels diferents elements de les instal·lacions, etc.

Crec que podem assegurar que tota obra, en no ser una activitat repetitiva i per tant automatitzable, passa a estar subjecta en grau molt elevat al factor humà, i requereix per tant d'un bon control d'execució; aquesta figura és la que assumeix el director d'execució ajudat pels diferents directors d'obra, si s'escau, i de la seva bona tasca dependrà, en gran manera, el resultat de l'obra. No podem tampoc oblidar el constructor, el cap d'obra i l'encarregat d'obra, figures totes elles importantíssimes per a la bona marxa de l'actuació.

Per què el control de qualitat? És un control sobre el control que ja han de fer els subjectes esmentats?

Crec que si s'entengués així hi hauria el risc de caure en l'encadenament de controls que podria no tenir fi, cosa que



Parc Científic i Tecnològic de la UdG.

diluiria les respectives responsabilitats i restaria motivació professional als diferents agents; no podem perdre de vista el necessari sentit d'equip entre tots els que participen en el procés, fruit del qual n'ha de ser l'edifici ben acabat. Per tant el paper del control ha de ser un altre i l'agent que el desenvolupi ha de ser el més neutre i independent de tots.

Hi ha processos el control dels quals escapa de les possibilitats dels agents directament implicats; entre els motius argumentals hi ha el que es requereixen equips tècnics cars, que les metodologies necessàries escapen als seus coneixements i que el risc que no es facin bé, no per voluntat de no fer-ho, sinó per manca de coneixements o perquè el propi procés comporta riscos, fan que s'hagi de considerar ajut d'altres agents.

Per tant, el control ha de fer una funció de suport a tots aquells agents, potenciant el seu paper i ajudant-los en el procés de bon acabat de l'obra.

S'ha de mirar d'establir bé la barrera que separa les diferents funcions, procurant que els diferents agents que intervenen en el procés treballin còmodes dins d'un marc d'exigència.

Com que cada dia més hi ha certificats de control a origen dels productes, el control s'ha de fer sobre els elements en què hi ha hagut intervenció humana en obra, la qual determina el resultat final.



A quines parts de l'obra s'ha de fer aquest control complementari?

En les que, com ha quedat dit, hi ha elements que els fan imprescindibles, com serien a títol d'exemple, les compactacions de terrenys, els formigons, les soldadures, les adherències d'alicatats, les estanquitats dels elements a les inclemències atmosfèriques, les proves en funcionament d'elements que, tot i que tenen certificats d'origen, se n'ha de verificar el resultat muntats, per comprovar, entre d'altres, els nivells sonors i de vibració, que sovint depenen del muntatge, el funcionament de les proteccions elèctriques, proves de pressió de circuits de fluids, certificació de cablatges de comunicació, aïllament acústic, etc.

Una finestra, p.e., pot haver passat a fàbrica totes les proves de qualitat, però si està mal aparellada o mal rejuntada, el conjunt no serà estanc i per tant no complirà les funcions que se li pressuposen.

En un mercat globalitzat i en què els productes poden venir de molts diversos orígens, també s'han de demanar els certificats que acreditin la qualitat dels productes, així com les garanties i els certificats de prova dels elements que els tinguin.

Els programes de control de qualitat han de concretar les proves que s'han de fer i fer fàcil el seguiment dels treballs. La definició dels treballs ha de possibilitar l'elaboració d'un pressupost per part dels diferents laboratoris de control, amb l'establiment de preus unitaris i valoracions globals. Tot això queda reflectit en el Decret 375/1988 d'1 de desembre de la Generalitat de Catalunya.

Un altre aspecte que disposa el Decret és que els controls que hagi de fer el laboratori d'assaig, que haurà de ser acreditat i homologat, aniran a càrrec del promotor. El nou Codi Tècnic de l'Edificació (CTE), vigent des del passat 29 de març, no concreta tant, però no ho nega. Esmenta que en el projecte s'ha d'incloure un pla de control de qualitat valorat. Queda per tant clar que qui paga el control extern és la propietat que, si queda explícitament en la relació contractual amb el constructor, ho pot descomptar de les seves factures. Jo sóc de l'opinió que s'ha d'entendre el control com una tasca imputable al constructor, que és qui ha de garantir la qualitat de



Codi Tècnic de l'Edificació

l'obra. La determinació de la quantitat que s'hi destini hauria de ser pactada amb el propi constructor, per la qual cosa hi ha diferents mecanismes, com per exemple, concretar-ho en les condicions de licitació de l'obra o bé, deixant-ho obert, a partir d'un mínim que inclouria els controls reglamentats, en la pròpia licitació, de manera que el constructor pugui concretar-ne la xifra màxima aportada per a aquest fi en la seva oferta, a partir d'aquell mínim, i sempre pendent del pressupost final del laboratori, del qual el constructor en tindrà coneixement. Amb aquest plantejament es marca la voluntat d'incidir en el tema i d'ampliar-ne l'abast per obtenir la qualitat desitjada a l'obra.

En el CTE s'indica que el certificat final d'obra acreditarà que s'ha controlat qualitativament i quantitativa la construcció i que el director d'execució ha de recopilar tota la documentació del control realitzat, així com els certificats associats, la documentació que haurà de lliurar-se al promotor, als efectes posteriors que calguin i aquest els ha d'entregar a l'usuari final de l'edifici, en el que ha de constituir el Llibre de l'Edifici.

El sector necessitava que s'aclarissin els papers dels diferents agents que hi participen i crec que la llei i el codi associat, ha estat un pas important. Restava la implementació, fet que només és qüestió de temps, que confiem que no sigui excessiu.

En aquest procés ens hi hem d'implicar tots els agents del procés.

RAMON BOIX IGLESÍAS

Cap de Gestió d'Inversions de la Universitat de Girona



L'ASSAIG TRIAXIAL EN SÒLS I LA SEVA APLICACIÓ EN LA CARACTERITZACIÓ HIDRO-MECÀNICA

1. INTRODUCCIÓ

Després de l'adquisició recent d'un equip d'assais triaxials per part del CECAM al desembre del 2005 es feia necessari un article que expliqués en detall el funcionament, les capacitats i les aplicacions d'aquest nou equipament.

L'assaig triaxial és una eina molt potent per estudiar el comportament hidromecànic de sòls, tant saturats com no saturats. Amb aquest assaig es pot estudiar el comportament resistent del sòl amb condicions de drenatge i amb condicions sense drenatge. Complementa i fins i tot millora la informació sobre la resistència del sòl que s'obté amb l'assaig de tall directe. És, per tant, una tècnica que aporta més informació del comportament del sòl i que requereix un equip més complex, que pocs laboratoris de control de qualitat tenen en l'actualitat.

Hi ha diferents tipus d'aparells triaxials; el més habitual o que anomenarem "comú" ens permet estudiar la resistència al tall del sòl en funció de la deformació i les condicions de drenatge en mostres cilíndriques amb una aplicació de la càrrega normal a la superfície de la mostra i amb simetria axisimètrica tal i com es mostra a la figura 1. La tensió vertical (σ_1) s'aplica mitjançant un pistó i la pressió de confinament (σ_3) mitjançant un sistema de pressió hidràulica, amb aigua generalment. Aquest article estarà centrat en aquest equip de laboratori.

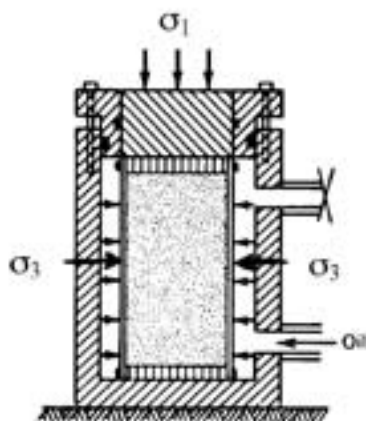


Figura 1: Detall de la mostra dins de la cèl·lula triaxial amb les tensions de confinament i vertical aplicades.

Amb posterioritat es van construir i dissenyar equips més avançats per donar solució a problemàtiques més complexes, com ara:

- Estudi dinàmic dels sòls amb aplicació directa a terratrèmols i d'altres accions dinàmiques com vibracions generades per maquinària. Amb l'assaig triaxial cíclic es pot estudiar el comportament dels sòls (principalment sorrencs) a la líquefacció, fenomen que es genera per un increment de la pressió intersticial de l'aigua del sòl en condicions no drenades que pot acabar amb la pèrdua total de capacitat portant del sòl. A la figura 2 es mostren els resultats d'un assaig triaxial cíclic a sorres saturades de Tumaco (Colòmbia). S'aplica una càrrega cíclica (funció sinus) sobre la mostra. En condicions no drenades, la pressió intersticial d'aigua s'incrementa fins produir la pèrdua de la capacitat portant de la mostra.
- Assaig triaxial veritable. Paradoxalment, l'anomenat assaig triaxial no és purament triaxial ja que té un eix de simetria. Per resoldre aquesta situació i estudiar el comportament real dels sòls en tres direccions ortogonals es va construir un equip que és capaç d'aplicar càrregues

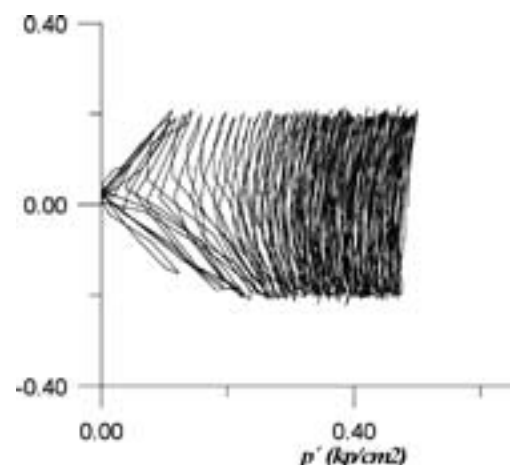


Figura 2a: Evolució de l'esforç de tall amb l'esforç volumètric al pla de Cambridge. Es veu com la corba toca la superfície de Mohr-Coulomb i les trajectòries es mouen al llarg d'aquesta superfície.

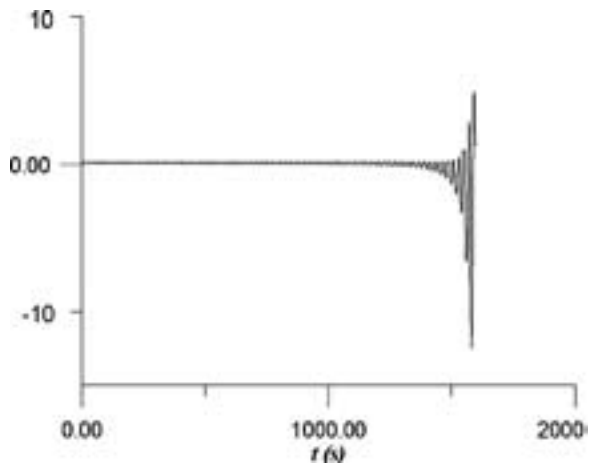


Figura 2b: Evolució de la deformació axial de la mostra que s'incrementa notablement una vegada es produeix la trencada de la mostra.

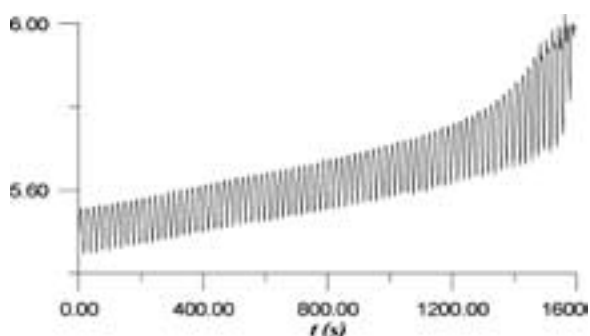


Figura 2c: Evolució de la pressió d'aigua als porus que és la responsable de la trencada de la mostra.

en tres direccions perpendiculars entre elles. Aquest equip és molt complex i només està justificat en la investigació o en projectes que necessitin una caracterització de les propietats mecàniques dels sòls molt acurada, emmagatzematge de residus nuclears per exemple. A la figura 3 es veu la cèl·lula on s'introdueix la mostra cúbica per aplicar càrrega de manera independent a les 3 direccions.

- Assaig triaxial amb succió controlada. Aquest és un disseny que ens permet estudiar el comportament resistent del sòl quan es troba no saturat. Quan el sòl no es troba saturat apareix una nova variable, la succió, que es produeix quan l'aigua no omple tot el volum dels porus del

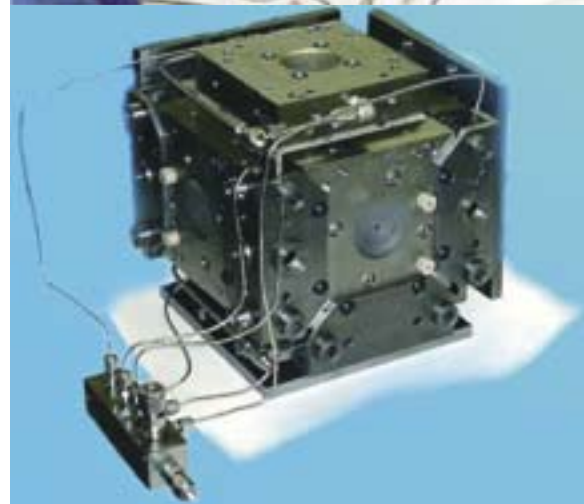


Figura 3: Cèl·lula dissenyada per aplicar càrrega a una mostra cúbica a tres direccions ortogonals i estudiar un estat triaxial de veritat al sòl.

sòl. En aquestes condicions, els canvis de succió afecten el canvi de volum i la resistència del sòl, per la qual cosa s'ha d'estudiar aquesta variable si el projecte així ho requereix.



2. L'ASSAIG TRIAXIAL COMÚ. DISSENY I FUNCIONAMENT

Les peces d'una màquina triaxial són les següents:

- Cèl·lula triaxial on s'introdueix la mostra de sòl.
- Premsa amb pistó de càrrega per aplicar càrregues verticals a la mostra.
- Sistema de pressió hidràulica per a la cèl·lula triaxial (pressió de confinament) amb un sistema de mesura de volum.
- Sistema de pressió d'aigua per a la mostra (backpressure o pressió de cua) que s'aplica a la mostra amb mesura de volum.
- Sistema d'adquisició automatitzat de pressions, volums, desplaçaments que, a més, faci els càlculs de transformació a deformacions i tensions.

A la figura 4 es veu un equip triaxial convencional amb tots els seus components.

La mostra es col·loca a la base de la cèl·lula triaxial i es protegeix de l'exterior amb una membrana de làtex. Es poden col·locar sensors de deformació radial a la mostra en cas que es vulgui estudiar la deformació horitzontal. Una vegada col·locada la mostra, figura 5, es tanca la cèl·lula i es col·loca a la premsa. Es calibra la cèl·lula de càrrega amb la qual es mesura la càrrega vertical aplicada a la mostra (sistema de tensió controlada). A partir d'aquí es connecta la cèl·lula amb els sistemes hidràulics de pressió de cua i de confinament i s'omple la cèl·lula triaxial d'aigua intentant que no hi hagi aire emmagatzemat que canviï la compressibilitat de l'aigua

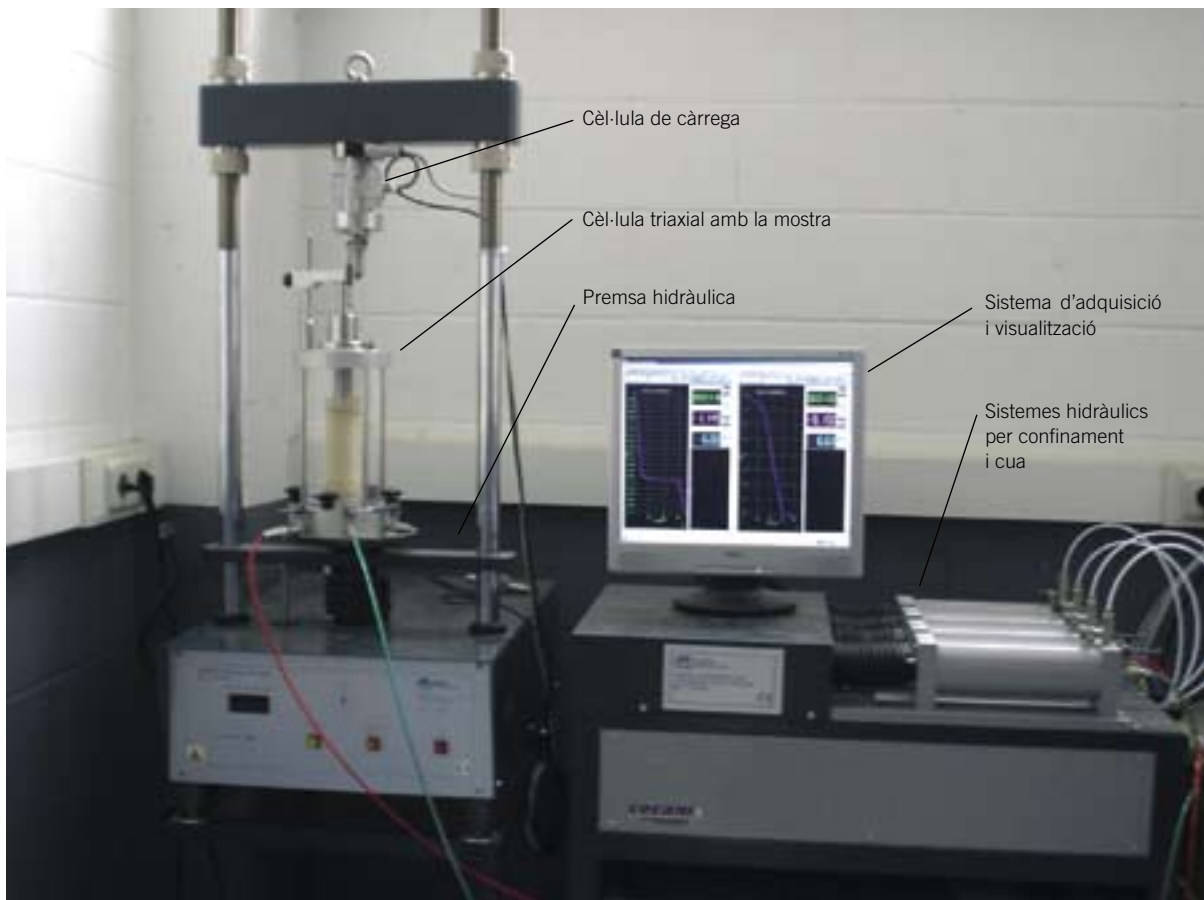


Figura 4: Equip triaxial convencional amb els diferents components que el componen: premsa, cèl·lula, sistemes hidràulics de pressió de confinament i de cua i sistema d'adquisició.



Figura 5: Detall de la mostra col·locada a la base de la cèl·lula triaxial. Aquesta mostra és de 38 mm de diàmetre.

dins de la cèl·lula triaxial. Es pot saturar la mostra aplicant un flux d'aigua mitjançant la pressió de cua. La comprovació del grau de saturació de la mostra es pot fer mitjançant el càlcul del paràmetre B d'Skempton aplicant un increment

de la pressió de confinament en condicions no drenades a la mostra. Si la mostra està saturada, l'increment de pressió d'aigua enregistrat hauria de ser igual a l'increment de pressió de confinament ($B = 1$). En el cas que no sigui així, l'increment de pressió d'aigua serà inferior i la mostra no estarà saturada ($B < 1$).

Es poden assajar mostres de diferents diàmetres, 38 mm, 50 mm, 76 mm, etc. en funció dels accessoris disponibles i també de les capacitats nominals de les cèl·lules de càrrega i de desplaçament. Com a regla habitual la relació diàmetre (D) i alçada de la mostra (H) és $H/D > 2$. A la figura 6 es mostra amb un croquis senzill el funcionament de l'equip triaxial.

L'execució de l'assaig triaxial és senzill; a partir d'una pressió de confinament la mostra és carregada verticalment fins que es trenca. Durant l'assaig s'enregistren la pressió d'aigua, confinament, desplaçament vertical i càrrega a la cèl·lula de càrrega. Hi ha 3 tipus principals d'assaigs triaxials en funció de la seva execució. La nomenclatura que se segueix és l'anglesa, formada per dos dígitos. El primer pot ser C o U. C (*consolidated*, s'aplica un procés de consolidació a la mos-

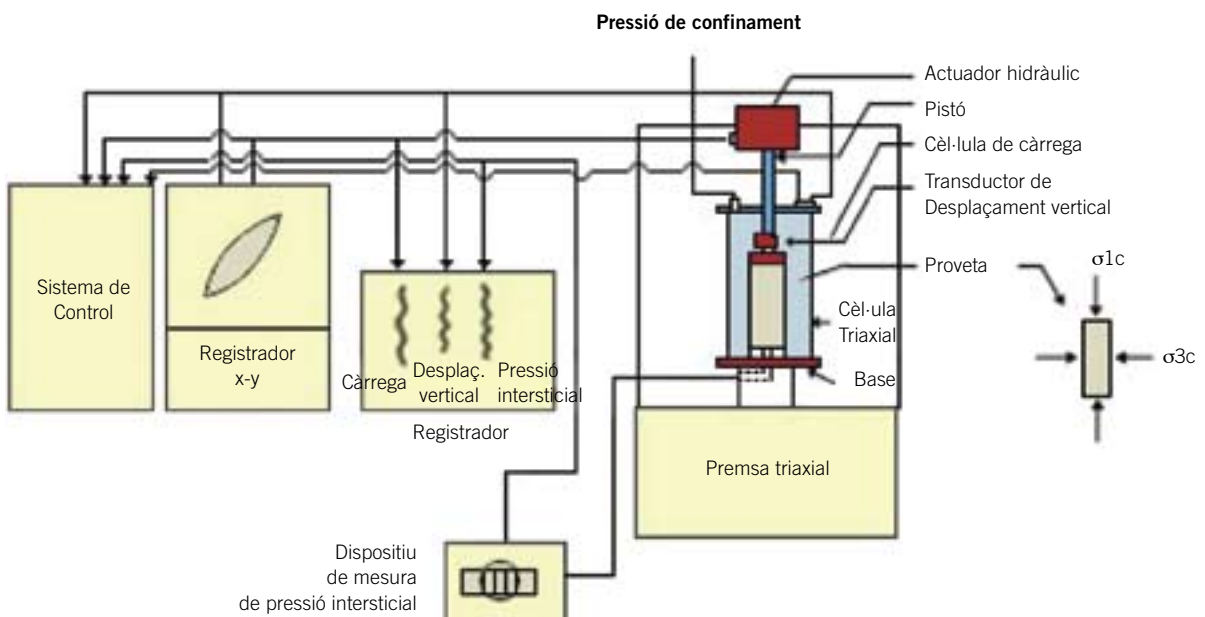


Figura 6: Simplificació del funcionament de l'equip triaxial.



tra) o U (*undrained*, no s'aplica un procés de consolidació a la mostra). El segon dígit pot ser D (*drained*, amb drenatge) o U (*undrained*, sense drenatge).

- Assaig tipus CD: Mostra consolidada i procés de càrrega amb drenatge de les pressions intersticials generades durant la càrrega. Aquest és l'assaig més lent d'execució a causa de la consolidació i també perquè la lenta aplicació de la càrrega que persegueix no genera excessos de pressió intersticial.
- Assaig tipus CU: Mostra consolidada i procés de càrrega sense drenatge de les pressions intersticials generades durant la càrrega (es pot mesurar la pressió intersticial generada durant la càrrega mitjançant un manòmetre connectat al sistema de pressió d'aigua de cua).
- Assaig tipus UU: Mostra no consolidada amb un procés de càrrega sense drenatge de les pressions intersticials generades durant la càrrega. També es pot mesurar o no la pressió intersticial. Aquest és l'assaig més ràpid d'execució a causa de la velocitat d'aplicació de la càrrega.

Amb tots ells, la informació obtinguda és la mateixa, i la resistència al tall (amb drenatge o sense) del sòl donades unes condicions de confinament i inicials de la mostra.

El drenatge de la mostra dependrà en gran mesura del tipus de sòl que s'estigui assajant: argilós, llimós o sorrenc. Les argiles són poc permeables i drenen l'aigua amb dificultat; en canvi, els sòls sorrencs són molt permeables i drenen les pressions d'aigua amb molta rapidesa. Per tant, una correcta aplicació de la velocitat de càrrega a cada sòl es converteix en un factor molt important i que depèn en gran mesura de l'experiència de l'operador.

3. RESULTATS DE L'ASSAIG TRIAXIAL

Amb l'execució de tres assaigs triaxials a tres mostres del mateix sòl amb diferents pressions de confinament es pot determinar la línia de Mohr-Coulomb. Amb aquesta superfície queda definida la resistència d'un sòl i ens proporciona els valors de cohesió i angle de fregament intern (amb drenatge o sense drenatge) que es poden fer servir per obtenir la capacitat portant del sòl en cimentacions profundes i/o

superficials o per estudiar l'estabilitat de talussos i excavacions, per exemple.

La resistència d'un sòl ve definida, en general, pel criteri de trencament de Mohr-Coulomb, que relaciona la tensió normal i la tensió de tall (figura 7). Com més s'incrementa la pressió de confinament de la mostra, més gran és la resistència mesurada com es veu a la figura 8.

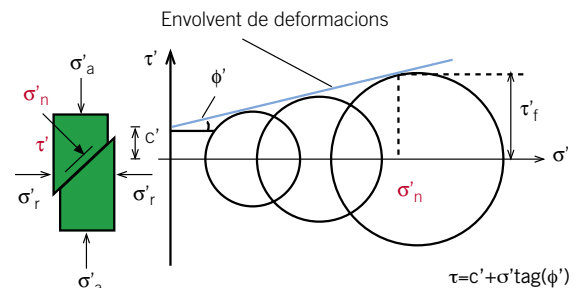


Figura 7: Criteri de trencament de Mohr-Coulomb que és molt emprat a geotècnia (condicions amb drenatge o en tensions efectives).

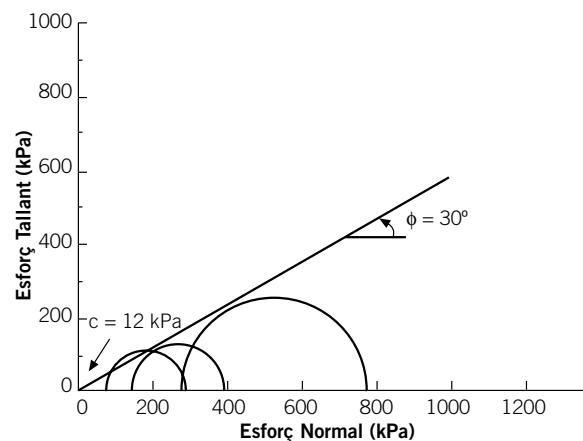


Figura 8: Resultats d'assaigs triaxials en mostres de sòls llimosos amb diferents pressions de confinament i representats al pla de Mohr-Coulomb.

En el cas de realitzar l'assaig sense drenatge, el que s'obté és l'anomenada resistència al tall sense drenatge, C_u . Quan es realitza l'assaig sense drenatge l'angle de fregament intern és nul i el criteri de trencament es transforma en una línia horitzontal (figura 9).

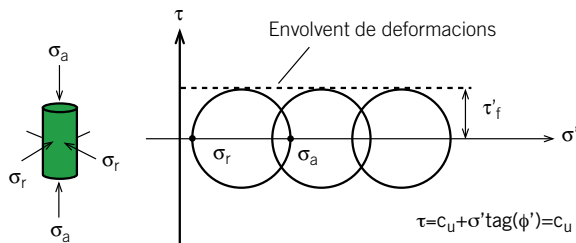


Figura 9: Criteri de trencament de Mohr-Coulomb que és molt emprat a geotècnia (condicions sense drenatge o en tensions totals).

Una vegada hem obtingut els valors de (c', ϕ') o $(c_u, \phi = 0)$ podem emprar aquestes dades per estudiar la resistència de cimentacions profundes i/o superficials, problemes d'estabilitat de talussos, túnels, etc. Per tant, queda clar que els assaigs triaxials tenen aplicacions importants i directes a la fase de projecte d'una obra.

Qualsevol persona que tingui experiència amb els assaigs per valorar la resistència dels sòls pot pensar que el que s'obté amb l'assaig triaxial ja es pot obtenir més ràpidament i de manera més econòmica amb l'assaig de tall directe. També és cert que l'assaig triaxial és més complicat d'execució. No obstant això, volem, des d'aquí, assenyalar alguns dels importants avantatges de l'assaig triaxial respecte al de tall directe.

- a. L'assaig triaxial és molt més versàtil que l'assaig de tall directe.
- b. El drenatge de les mostres es controla de manera molt més precisa que amb l'assaig de tall directe.
- c. No hi ha rotació de les tensions principals ja que la tensió vertical sempre és superior o igual a la de confinament. En canvi això sí que passa a l'assaig de tall directe.
- d. La concentració de tensions que es produeix als extrems de la mostra al seu contacte amb la base i cap de la cèl·lula existeix. No obstant això, s'ha comprovat que és sensiblement menor que la produïda a l'assaig de tall directe. Això es tradueix en una millora notable de la qualitat dels paràmetres obtinguts ja que són més representatius del terreny que s'està assajant.
- e. La superfície de trencament de la mostra pot aparèixer allà on hi hagi una debilitat de la mostra; en canvi, al

tall directe, la mostra sempre trenca per una superfície aproximadament plana i horitzontal.

- f. Les trajectòries de tensions fins a trencament es controlen amb facilitat. Això significa que amb aquest assaig es pot simular el comportament real del sòl in situ.

4. CONCLUSIONS

S'ha demostrat que l'equip triaxial és una eina potent per estudiar el comportament resistent de sòls amb l'objectiu de determinar la seva resistència i fer servir aquesta informació per a tot tipus de projectes en què sigui necessari determinar la capacitat portant d'un sòl. L'equip és molt versàtil i hi ha al mercat models que ens permeten fer assaigs molt complicats i que l'aplicació dels quals dependrà en gran mesura del tipus de projecte. És, doncs, necessària la utilització d'aquest assaig, que encara que és més car que l'assaig de tall directe, però proporciona uns resultats més adients i acurats. És un assaig ben establert i conegut.

EVA CAMPMOL AYMERICH
 Enginyera de Camins, Canals i Ports
 Enginyera en Geologia
 Directora d'Obra Civil del Cecam



EL FORMIGÓ AUTOCOMPACTANT I LA REALITAT PROJECTE-EXECUCIÓ: REPERCUSIÓ DE LA CONSISTÈNCIA EN L'ÈXIT FINAL D'UNA CONSTRUCCIÓ. EL PAPER DECISIU DELS PRESCRIPTORS

TENDÈNCIES ACTUALS

Des de la redacció d'un projecte, en el qual s'especifiquen, entre d'altres aspectes, les qualitats i prestacions dels formigons, fins a la realitat de l'estructura, se succeeixen una sèrie d'etapes que poden fer ballar el cap a l'enginyer i fer-li plantejar l'eterna pregunta "Oferirà el formigó executat les prestacions exigides en el disseny?". Pregunta que, en moltes ocasions, queda absent de resposta.

La realitat ens indica que el percentatge de fallades estructurals originades per raons d'execució continua no sent un percentatge menyspreable. De fet, la contribució a certes deficiències estructurals amb origen relacionat amb l'execució i posada en obra és molt superior al d'origen relacionat amb la producció del formigó o en el càlcul.

Amb aquest raonament podríem caure en la, almenys parcialment, errònia conclusió de pensar que és una única responsabilitat del constructor l'èxit d'una bona execució del formigó, que garanteixi una bona durabilitat i un perllongat temps de servei amb el mínim manteniment.

Actualment, al nostre país (i no es pot pas dir el mateix de la resta d'Europa), el formigó HA-25/B continua sent de bon tros el tipus de formigó més empleat en edificació i obra civil. Aquest tipus de formigó, amb assentament en l'assaig del con d'Abrams entre 6 i 9 cm (consistència tova), no es pot considerar un formigó d'adequada treballabilitat per a bona part de les estructures exigides avui en dia. Requereix una eficient compactació externa (generalment per vibrat) per assolir l'adequada compactat i l'òptim recobriment de les armadures, i qualsevol deficiència que alteri negativament aquests dos aspectes tindrà severes conseqüències en la durabilitat i la capacitat mecànica de l'estructura. Així doncs, intervé el factor execució, relacionat amb la capacitat dels operaris de l'obra per realitzar la tasca,

com a factor vinculant en l'èxit de l'aplicació. Aquesta afirmació s'agreuja en remarcar que cada cop es fa més difícil trobar personal especialitzat, que el cost de la mà d'obra s'encareix progressivament i que les exigències, tant en prestacions com en temps d'entrega, creixen exponencialment.

La conclusió evident és que el formigó de consistència tova (B) ja no és un formigó apte per garantir les propietats desitjades en les actuals estructures, on la tendència apunta a treballar cada cop més amb seccions més esveltes i amb major densitat d'armadura. I això no és una responsabilitat del constructor, és una responsabilitat que ha d'assumir l'enginyer en el moment de la redacció del projecte, si vol tenir garanties fiables que el formigó executat compleixi les exigències del projecte durant el màxim temps (o pel temps establert).

ÚS DE FORMIGONS FLUIDS COM A ALTERNATIVA ALS FORMIGONS TOUS

La solució més evident passa per prescriure formigons de major consistència que, avui en dia, amb tots els mitjans tecnològics a l'abast, ja no guarda cap relació directa amb la resistència final. La resistència dels formigons de l'actualitat ja no es caracteritza per la consistència, sinó per la relació aigua/ciment, bàsicament gràcies a l'aportació dels additius químics, que permeten assolir majors consistències sense necessitat d'incrementar la quantitat d'aigua.

Prescriure formigons HA-25/F (fluids) en lloc de HA-25/B (tous) significa una gran contribució a la millora de la posada en obra. A causa de la major consistència, el formigó fluid necessita menys temps de vibració per assolir una bona compactació i un adequat recobriment de les armadures. Es minimitzen, doncs, els riscos de l'execució i s'assegura la qualitat especificada. Es minimitzen també altres tendències d'alt risc, com ara l'addició d'aigua a l'obra per millorar la



Consistències per un formigó tou (HA-25/B, a l'esquerra) i un formigó fluid (HA-25/F, a la dreta).

seva fluïdesa (sincerament, a vegades comprensible quan es treballa amb formigons de consistència tova).

Així doncs, és l'enginyer qui ha de donar el tret de sortida a la consolidació dels formigons fluids. El més curiós de tot plegat, és que el mercat ja porta anys demanant aquest canvi de tendència. Que serveixin de dades per a la reflexió l'actual tendència a Europa, on només a Espanya i Anglaterra el formigó de consistència tova és el majoritari, mentre que a tots els altres països, els formigons majoritaris són el de consistència fluida i fins i tot la ressuscitada líquida.

Estimació de percentatges de producció de formigons segons consistència			
	Itàlia	Portugal	Anglaterra
Consistència < 100 mm	0-10%	30-35%	60-65%
Consistència > 100 mm	90-100%	65-70%	40-35%

EL FORMIGÓ AUTOCOMPACTANT

El desenvolupament tecnològic, però, no s'ha frenat amb els formigons fluids. Amb la clara intenció d'assegurar la qualitat i durabilitat de les estructures, i perfectament emmarcat dins de les demandes actuals quant a prestacions, eficiència productiva, rendibilitat econòmica i seguretat en el lloc de

treball, es va consolidant progressivament l'ús dels formigons autocompactants en el nostre país.

El formigó autocompactant es un tipus de formigó capaç de fluir lliurement dins l'encofrat i a través de l'armat, de tal manera que s'autoconsolida per la simple acció del seu propi pes i no necessita cap tipus de compactació externa per assegurar una bona compactació i un perfecte recobriments de les armadures, sense produir-se cap fenomen relacionat amb la segregació de l'àrid gros i la pèrdua d'homogeneïtat del formigó. El formigó autocompactant, doncs, es tracta d'un formigó de molt elevada fluïdesa i amb unes altes prestacions mecàniques, que no cal ser vibrat per ser col·locat en obra i complir les seves propietats estructurals.



Construcció amb formigó autocompactant.



CONSTRUCCIÓ AMB FORMIGÓ AUTOCOMPACTANT

D'aquesta manera, s'elimina per complet la dependència entre qualitat i durabilitat de l'estructura i l'eficiència de l'execució del formigó. S'elimina també per complet la temptació d'addicionar aigua a l'obra, perquè la consistència del formigó autocompactant permet en tot moment (per la simple condició d'autocompactabilitat) una còmoda i ràpida execució.

El formigó autocompactant és, doncs, l'únic formigó que pot garantir al prescriptor la plena correlació de propietats entre el projecte i la realitat.

EL FORMIGÓ AUTOCOMPACTANT DINS DEL MARC ACTUAL DE LA CONSTRUCCIÓ

Des de l'any 2000 el formigó autocompactant ha estat promocionat al nostre país com un formigó de futur, amb grans possibilitats i avantatges, tant per a l'enginyer, el constructor i l'usuari final. Sens dubte, el principal fre que s'ha trobat la introducció d'aquest nou i revolucionari formigó ha estat l'absència de normalització, tant pel propi material com pels seus mètodes d'assaig i control.

Afortunadament, cal destacar que aquest impediment quedarà resolt breument. Ja s'han normalitzat els mètodes d'assaig, com a normes UNE, i és més que probable que en

la futura revisió de la instrucció EHE aparegui un annex per al formigó autocompactant, similar a l'actual per al formigó d'alta resistència. Aquest fet obrirà per complet les portes del mercat actual al formigó autocompactant, i ja serà qüestió del compromís de cada prescriptor amb la qualitat i la durabilitat per introduir aquest nou producte i reduir totes les dependències associades amb l'execució i les prestacions finals (i reals), o seguir amb el formigó de consistència tova i assumir tots els riscos que implica.

Sens dubte el formigó autocompactant s'ha d'entendre com una ferma millora per a la qualitat de les estructures, i no solament pel que s'ha exposat relacionat amb l'execució. A causa dels condicionants en el disseny d'aquests formigons per assolir la capacitat d'autocompactabilitat, en què cal limitar la quantitat d'aigua i aportar un mínim contingut de fins (entre ells, el ciment), el formigó autocompactant es fabrica sempre amb menors relacions aigua/ciment que el formigó de consistència tova, ajustant-se sempre a les demandes de la EHE relacionades amb la màxima relació aigua/ciment i la mínima quantitat de ciment exigida segons el tipus d'exposició. D'aquesta manera, els requisits de durabilitat ja es compleixen permanentment de forma intrínseca.

Però el formigó autocompactant no solament ofereix avantatges per al constructor (perquè permet una construcció més ràpida, econòmica i amb menys riscos) i per al prescriptor (perquè assegura les prestacions exigides independentment



Operaris requerits per a la construcció d'un forjat amb formigó autocompactant (requereix solament dos operaris) i amb formigó convencional (en requereix cinc).



Execucions complexes on el formigó autocompactant n'és la solució.

de l'eficiència de la posada en obra). L'entorn surt molt beneficiat d'un formigó al qual no li cal vibració. L'eliminació dels sorolls relacionats em l'ús de vibradors representa un alt valor afegit en el cas de construccions en zones urbanes, perquè redueix la contaminació acústica. Al mateix temps, i pel mateix motiu, es milloren les condicions de treball a l'obra i es redueix el risc de lesions produïdes pel maneig de vibradors (aquest fet és especialment valorat en el cas del sector del formigó prefabricat). I si afegim que en general el formigó autocompactant permet reduir el temps d'execució, a més de l'evident avantatge econòmic, representa reduir el temps d'obra i per tant reduir les molèsties causades a la població (talls de carrers, desviacions provisionals, etc.).

CONCLUSIONS

El formigó autocompactant ja és una realitat al nostre mercat, i s'espera la seva plena consolidació una vegada s'hagi resolt com s'emmarca dins la normativa.

Si bé es completament cert que el formigó autocompactant és la millor solució per al cas d'execucions complexes (amb alta densitat d'armadura, amb dificultat d'accessos, per a formes complexes, etc.), seria un error pensar que aquest producte no té cabuda dintre de les aplicacions més convencionals (forjats, pilars, paviments, etc.).

Si bé en el cas d'aplicacions complexes la màxima aportació del formigó autocompactant consisteix a resoldre un problema previsible de qualitat i durabilitat amb el mínim esforç, per a les aplicacions convencionals representa un notable increment de prestacions i una possibilitat per reduir costos d'execució.

És cert que el cost del formigó autocompactant és superior al cost del formigó ordinari, però gràcies als estalvis aconseguits reduint el temps d'aplicació i optimitzant la mà d'obra requerida, en pràcticament el 100% dels casos, treballar amb formigó autocompactant resulta globalment més econòmic i ràpid que amb formigó convencional de consistència tova.

No cal insistir en el paper clau que desenvolupen els enginyers que redacten projectes per tal que aquest formigó es converteixi en una realitat, igual com en els seus avantatges tant de qualitat i durabilitat, eficiència en producció i entorn de treball. Aquí comença el camí per consolidar les noves tendències i tecnologies que, en aquest cas, el mercat demana i necessita.

PERE BORRALLERAS MAS

Director Tècnic

Degussa Construction Chemicals España S.A.

Admixture Systems



CONSIDERACIONS PRÀCTIQUES SOBRE FORMIGÓ AUTOCOMPACTANT

INTRODUCCIÓ

El formigó autocompactant o autocompactable (FAC) ha vingut experimentant un cert creixement en el seu ús, si bé en certa mesura limitat per a les possibilitats que permet. Les raons poden ser de diversa mena, si bé una de principal és que el plantejament d'aquests formigons s'ha fet des del punt de vista del material, sense fer èmfasi en els canvis de tipus estructural als que condueix la seva composició.

Així mateix, és important tenir en compte que la dosificació d'aquests formigons no és resultat d'una extrapolació d'experiències, sinó que s'ha d'ajustar a les característiques pròpies de la posada en obra. L'**objectiu** del present article és fer una reflexió sobre aquesta mena de formigons des del punt de vista de la pràctica, per tal de facilitar una millor comprensió del seu comportament i, en conseqüència, un increment de la seva utilització.

UNA MANERA ALTERNATIVA DE VEURE-HO

Més que prolongar el debat sobre la definició de formigó autocompactable, o més recentment autocompactant, convé veure què és allò principal que percep l'usuari en la posada en obra d'aquest formigó. Aquesta percepció és d'una alta prestació tant pel que fa a la treballabilitat (traduïda en un valor elevat del con d'Abrams), como de la cohesivitat interna (no segregació). En conseqüència, aquesta és la recomanació pràctica de com entendre-ho i així evitar perdre's en veure'l com un formigó especial.

Sobre la treballabilitat s'ha d'actuar, principalment, a la pròpia dosificació (aspectes físics) aconseguint un esquelet granular equilibrat en si mateix i un contingut de fins que permeti desplaçar fàcilment la massa de formigó fresc; mentre que en la cohesivitat, el factor principal és la part química de la dosificació, el que requereix el suport d'uns additius d'última generació. Tant per a un tema com per a l'altre hi ha prou capacitat de resposta tècnica, per la qual cosa una primera conclusió és que aquesta mena de formigons són, avui en dia, totalment possibles a la pràctica.

BASES TEÒRIQUES DE LA DOSIFICACIÓ

Si bé es pot veure un major detall d'aquest punt a [1], convé fer alguns comentaris sobre alguns dels aspectes més físics de les dosificacions. Un primer comentari és la importància que tenen els àrids (tant la mena com les corbes granulomètriques) en els resultats. La tendència freqüent de resoldre una mala composició d'àrids amb més ciment es pot veure properament penalitzada des del punt de vista mediambiental. En definitiva, actuem primer sobre els àrids.

Respecte al *contingut d'àrids gruixuts* en una dosificació bi-component (sorra i graveta) és habitual tenir una compacitat màxima a l'entorn del 50% de cadascun dels components, tal com es pot veure a la figura 1, cosa que no sembla raonable si es té en compte el sistema de posada en obra. En aquesta figura, atès que la zona de vall és extensa, permet fer polítiques en funció del sistema de transport de la massa del formigó fresc. Així, si es fa per mitjà de bombeig, el percentatge de sorra augmentarà per facilitar el transport. En els FAC que es col·loquen per mitjà de bombeig s'ha de tendir a reduir el percentatge de gruixuts en favor de les sorres, només per aquesta raó.

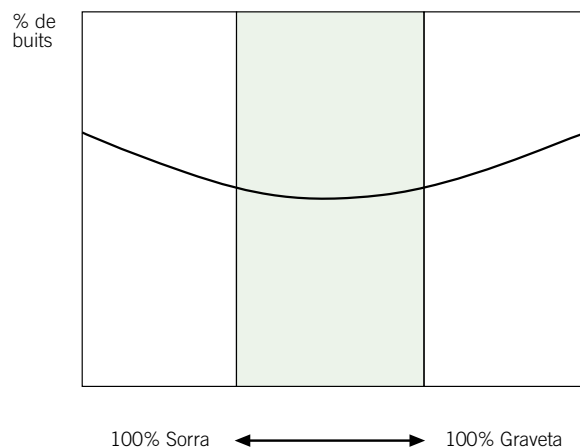


Figura 1: Influència de la relació sorra/graveta en el contingut de buits.



D'altra banda, si es planteja el transport del formigó amb aquests dos components, hi ha un talús natural (angle de cohesió interna dels àrids) que lògicament no s'ha de sobrepassar en la proporció d'àrids, perquè en cas contrari no serà estable durant el transport. Això dóna llum a un tema poc tractat, i és que l'angle esmentat varia amb la temperatura, per la qual cosa s'ha d'aprofundir en aquest tema i parlar de dosificacions d'estiu (requereix un augment de fins) i dosificacions d'hivern.

La relació sorra/graveta (en pes) es recomana que se situï entorn al 1,25, si bé s'haurà d'acabar d'ajustar experimentalment en funció de les característiques dels àrids, atès que no es pot fer una extrapolació general.

Pel que fa al *contingut de fins*, que tenen una funció important en la treballabilitat d'una barreja, una primera qüestió és què s'entén per fins en aquesta mena de formigons. En la nostra opinió, s'ha de considerar els conglomerants que s'utilitzen (ciment, cendres o microsíllice), el filler i la porció de la sorra que passi pel tamís 200.

La recomanació és utilitzar un contingut total de fins de $550 \text{ kg/m}^3 \pm 5\%$. Ara bé, si es vol aconseguir un formigó de la gamma baixa de resistències haurem d'anar al mínim de conglomerant amb un paper important del filler (aquest tema pot comportar a la pràctica algunes dificultats per a disposar del filler adequat), mentre que si es vol aconseguir un formigó d'alta resistència haurem d'anar a una dosificació alta de conglomerant (sense que probablement requereixi del filler).

La tendència a utilitzar dosificacions amb una percentatge més gran de sorra (cosa que implica un petit augment del percentatge de buits), d'una banda, i l'augment de fins, de l'altra, implica que aquestes dosificacions han de tenir un contingut de pasta més gran que un formigó convencional, tant per omplir els buits com per facilitar la treballabilitat. Aquest es pot situar a l'entorn del 35% d'acord amb AFGC [2]. Això incideix en les propietats mecàniques d'aquests formigons, si bé quan es comparen poden quedar els seus

efectes emmascarats en certa mesura pels paràmetres de disseny de la mescla de formigó convencional.

Respecte a la *mida màxima de l'àrid*, seguint el criteri d'esquelet granular en forma piramidal, la mida màxima pot ser una mica més gran que la que s'usa habitualment amb només dues mides de sorra i graveta (12 mm). Amb aquest plantejament és possible utilitzar una mida una mica superior, si bé la quantitat de la proporció de mida màxima ha de ser petita, d'acord amb els criteris assenyalats.

CONSTRUCCIÓ

Quina mena de central es pot utilitzar?

Si bé és preferible una central pastadora, no impedeix fer servir una central dosificadora i un posterior empastat en el camió formigonera. En ambdós casos s'ha de tenir present que el temps de pastament augmenta. De la mateixa manera s'ha de tenir present el tipus de formigó especificat, és a dir que per a un formigó de gamma alta de resistència es requereix una central pastadora.

Quin sistema de posada en obra s'ha de fer servir?

Pel que fa a aquest punt, no hi ha diferències amb els sistemes emprats en els formigons convencionals. Així, si el volum de formigó ho justifica es poden *fer servir bombes*, atesa l'alta treballabilitat i contingut de fins. A la foto 1 es pot veure la utilització de diverses bombes per omplir una biga pretensada del nou edifici de l'Ajuntament de Mollet.

A l'esmentada foto 1 s'observa que la boca d'entrada del formigó als encofrats no era per la part superior sinó per punts baixos o intermedis en altura d'aquests. Això respon, d'una banda, a la dificultat d'un abocament superior ateses les altes quantitats d'armadura, tant passiva com activa, tal com es pot veure a la foto 2 i, d'altra banda, en l'afany d'evitar la formació de cavitats o una altra mena de defecte superficial.



Foto 1: Utilització de bombes per a la col·locació del formigó



Foto 3: Vessament del formigó per mitjà de cubilot.



Foto 2: Quantitats d'armadura que justifiquen l'ús d'aquests formigons.



Foto 4: Rastre del talús natural del formigó.

Ara bé, la solució no es única i, si el volum de formigó a col·locar no és elevat, cosa que no justifica l'ús de bomba, es pot utilitzar el cubilot tradicional, tot i que amb algunes consideracions especials, en concret, quan es tracti d'aplicacions d'alt contingut estètic. A la foto 3 es pot veure un dels cubilots emprats a les obres de la Ciutat de la Justícia de Barcelona i Hospitalet. Aquest cubilot porta aparellada una mànega que s'introdueix a l'encofrat entre les armadures. Amb això es pretén, d'una banda, evitar temes de segregació i, d'altra banda, evitar esquitxos que puguin afectar els acabats. Una variant d'això és la protecció parcial de l'encofrat superior durant el formigonat de la part inferior d'aquest.

Aquests formigons, al tenir un contingut de pasta superior a l'habitual, són molt sensibles als efectes de contacte amb l'encofrat, podent deixar rastres en aquests, si es produeixen modificacions en el desencofrant que s'hagi disposat, tal com es pot veure a la foto 4.

Un avantatge de l'alta cohesivitat d'aquests formigons es que permet la seva posada en obra sota l'aigua, tal com es pot veure a la foto 5, corresponent a una obra del port de Badalona, en la qual una vegada en sec s'aprecia, igualment, l'angle de talús natural (veure foto 6).



Foto 5: Vessament del formigó sota l'aigua.

Està permès vibrar en alguna ocasió?

Si l'aplicació és sobre un element prefabricat, la resposta ha de ser negativa, i també negativa, per norma general, en elements formigonats *in situ*. Ara bé, entenc que malgrat les dificultats de regular aquest tema, si és possible que algú amb experiència es pugui plantejar una petita vibració externa (no interna) a través de l'encofrat per evitar alguns problemes locals en zones altes d'encofrats, havent analitzat la mena de dosificació emprada i la cinètica de reacció d'aquesta. Aquesta afirmació, poc acadèmica, per la qual cosa es posen prou matisos, no s'ha de descartar a la pràctica si això ajuda a resoldre certs problemes, per exemple, possibles fissures d'assentament plàstic.

Energia potencial del vessament

Un tema ja apuntat es que convé no fer que el formigó faci grans recorreguts en els que existeixen pèrdues d'energia potencial, és a dir, sempre que es pugui s'han de minimitzar aquests recorreguts, doncs en cas contrari s'haurà d'actuar més sobre el material. Per això es poden habilitar diversos punts de vessament en funció de la mena d'element i el seu armat. En aquest sentit s'ha d'assenyalar que els assajos que es fan servir per caracteritzar estan pensats més per al material que per a la posada en obra. L'assaig simple d'extensió de flux pot ser un assaig que dóna una gran informació per a l'obra.



Foto 6: Rastre del talús natural.

Un altre factor a tenir en compte és que l'empenta activa d'aquests formigons sobre l'encofrat és més gran que en els formigons convencionals. A la foto 7 es mostra el formigonat d'un mur de formigó autocompactable amb fibres, on es pot apreciar que no existeix cap mena d'armadura. Una extrapolació dels puntals habituals a aquest mur va donar lloc a un petit incident que, posteriorment arreglat (augment de l'estructura suport), ha permès la construcció d'un mur de gran longitud.

Cura i altres factors

Aquests formigons tenen una difusió lenta de la humitat de l'interior cap a la superfície. Això convida a pensar que els



Foto 7: Vessament en un mur de formigó autocompactable amb fibres.



temps de cura han de ser com a mínim els establerts per a formigons convencionals, per la qual cosa pot ser convenient augmentar aquest temps.

Un altre factor a considerar és que l'elevada quantitat de pasta d'aquests formigons els fa més sensibles a problemes d'assentament plàstic, la qual cosa pot comportar fissures per sota d'algunes armadures si aquestes se situen en un pla que produeixi estrangulacions de la secció.

Varien les propietats estructurals d'aquests formigons?

Sense entrar a quantificar aquestes variacions, que es poden veure en diferents documents [3], s'ha de tenir present que si es veu el formigó com un problema de mescles, quanta més pasta tingui, les propietats associades a aquesta propietat quedaran més afectades. Entre aquestes es pot trobar el mòdul de deformació (que es pot veure reduït en un 10% respecte a un formigó convencional de la mateixa resistència), la resistència a tallant, per disminució de l'efecte engranament, les modificacions pel que fa a l'adherència (tot i que en aquest cas existeixen efectes contraposats, que condueixen a una petita variació), l'augment de la retracció i la fluència, etc.

CONCLUSIONS

Com a conclusió principal cal assenyalar que, encara que la instrucció EHE encara no contempla aquests formigons, existeix un ampli coneixement per abordar estructures amb aquesta mena de formigons, amb un risc molt baix i, probablement, un alt valor afegit, en especial en algunes aplicacions.

Si s'opta per l'opció de la seva utilització, ajuda a entendre aquests formigons el fet de veure'ls com formigons d'alta treballabilitat (aconseguida principalment per aspectes físics de la dosificació) i d'alta cohesivitat interna (aconseguida principalment per la química associada a la dosificació).

El major contingut de pasta d'aquests formigons incideix en diversos condicionants de posada en obra i en les propietats estructurals d'aquests.

AGRAÏMENTS

A Domènec Masó (PROMSA) pels seus ensenyaments i les fotos 1, 2, 5 i 6 mostrades en aquest article. A Pere Alavedra i al despatx B720 per l'oportunitat de participar en obres pioneres i singulars de formigó autocompactable.

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. C. P. DOS SANTOS, A. AGUADO, L. AGULLÓ i T. GARCÍA. *Criterios de diseño para el hormigón autocompactable*. IX Congreso Nacional de Materiales. Vigo 20 a 22 de juny de 2006. ISBN: 84-8158-323-5. Vol. II pp.: 909-912
- [2] AFGC *Betons Auto-Plaçants: Recommendations Provisoires*. Association Française de Génie Civil, 63 p. 2000
- [3] A. AGUADO. *El hormigón autocompactable: Introducción general*. Text Conferència Jornada sobre Formigó Autocompactable. ETSICCP-UPC. Barcelona 2 de desembre 2003. IECA i ANEFHOP.

ANTONIO AGUADO DE CEA
Dr. Enginyer de Camins, Canals i Ports
Catedràtic d'Estructures de Formigó.
ETSICCP-UPC. Barcelona



LA REGULACIÓ DELS ESTUDIS GEOTÈCNICS SEGONS EL CODI TÈCNIC DE L'EDIFICACIÓ (CTE)

La intensitat del reconeixement del terreny i el consegüent contingut dels estudis geotècnics per a la fonamentació d'estructures d'edificació no ha estat fins al moment objecte de regulació. Malgrat això, sí que hi ha hagut diverses referències sobre aquesta temàtica:

- La norma NTE CGE-1975 tracta com determinar les característiques del terreny, per llavors poder fer ús de les NTE de fonamentacions. En aquesta norma es diferencien quatre categories de campanyes de reconeixement en funció de les característiques del terreny, el tipus d'edificació projectat i l'existència de patologies en construccions properes. Per a cadascuna de les campanyes es defineixen el nombre, la fondària i la situació dels punts de reconeixement. A més a més, també per a cadascuna, es fa indicació de les tècniques de reconeixement, el nombre i tipus de mostres a extreure i dels assaigs *in situ* i de laboratori que cal portar a terme.
- Les directrius existents en el capítol VIII *Presiones en el terreno de cimentación de la norma NBE-AE-88 Acciones en la edificación*, on es demana fer les prospeccions necessàries en totes les capes que poden assentar com a conseqüència de l'obra.
- Les indicacions adaptades per Rodríguez Ortiz et al (1986) en el capítol 1 del *Curso Aplicado de Cimentaciones*, bé que sense caràcter normatiu. Aquestes tracten detalladament de l'abast del reconeixement del terreny, ja sigui amb prospeccions al camp o amb assaigs de laboratori, i dels aspectes principals de l'informe geotècnic.
- L'*Eurocódigo 7 Proyecto Geotécnico-Parte-1: Reglas Generales* (1999), estableix de forma molt generalista tres categories per als projectes geotècnics. Aquestes estan lligades a la importància de l'edificació i per a cadascuna es donen directrius en relació amb la intensitat de l'estudi que s'ha de fer del terreny.
- A més de les esmentades, són referències els Plecs de Condicions i Normes de les Administracions contractants de projectes i estudis geotècnics. En aquest sentit cal destacar les *Guías para la planificación de estudios geotécnicos* de la Comunitat Valenciana (2000) i de la *Región de Murcia*.

De les referències esmentades, només la norma NBE-AE-88 és d'obligat compliment arreu. Així mateix, l'escassetat i ambigüitat de les indicacions no han comportat la més mínima regulació sobre els estudis del terreny. Per la seva banda, la NTE CEG-1975 que sí és més explícita en aquesta temàtica té un caràcter de solució i criteri tècnic homologat per l'Administració però sense obligatorietat. Per tant, tampoc aquesta darrera norma ha comportat una millora en aquesta temàtica.

Amb el Codi Tècnic recentment aprovat l'abast del reconeixement del terreny i el consegüent estudi geotècnic s'han d'ajustar de forma obligatòria a les directrius que d'aquesta nova norma es desprenen i figuren en el capítol 3 del *Documento Básico Seguridad Estructural: Cimientos (DB SE-C)*. En aquesta norma l'estudi geotècnic es defineix com el compendi de la informació quantificada de les característiques del terreny que és necessària per procedir a l'anàlisi i el dimensionament dels fonaments d'un edifici. Aquestes característiques es determinaran mitjançant un seguit d'activitats que en el seu conjunt s'anomenen reconeixement del terreny i els resultats de les quals es reflectiran en l'anomenat estudi geotècnic.

RECONeixEMENT DEL TERRENY

D'acord amb la nova regulació, la seva intensitat i el seu abast dependran del tipus i extensió de la construcció (edifici i conjunt d'edificis d'una mateixa promoció) i de la complexitat del terreny. Aquests aspectes resten catalogats a les taules següents i condicionen el tipus i nombre de punts de prospecció i dels assaigs *in situ* i de laboratori.

TIPUS	DESCRIPCIÓ
C-0	Construccions de menys de 4 plantes i superfície construïda inferior a 300 m ²
C-1	Altres construccions de menys de 4 plantes
C-2	Construccions de 4 i 10 plantes
C-3	Construccions d'entre 11 i 20 plantes
C-4	Conjunts monumentals o singulars, o de més de 20 plantes

*En el nombre de plantes s'inclouen els soterranis

Taula 1: Tipus de construcció



TIPUS	DESCRIPCIÓ
T-1	Terrenys favorables: Aquells de poca variabilitat i en què se sol fonamentar de forma directa amb elements aïllats.
T-2	Terrenys intermedis: Aquells que són variables, o en què no es recorre a la mateixa solució per a la fonamentació o que hi pot haver rebliments d'un cert gruix, encara que no superiors als 3 m.
T-3	Terrenys desfavorables: Els que no responen a les característiques anteriors. Cal posar èmfasi en els sòls expansius, col·lapsables, tous o solts, terrenys càrstics, rebliments antròpics amb gruixos superiors a 3 m, zones susceptibles a lliscaments, roques volcàniques amb cavitats, terrenys amb pendents superiors als 15 graus, sòls residuals i maresmes.

Taula 2: Grup de terreny.

En qualsevol de les situacions possibles es defineix com a tres el mínim de punts de prospecció. Aquest nombre és interessant i respon al fet que són necessaris tres punts per definir la disposició d'una capa. Amb el mínim indicat el nombre de punts de reconeixement estarà condicionat per les distàncies màximes que entre aquests s'han de deixar, les quals estan lligades als aspectes indicats a les taules anteriors. Per a terrenys favorables i intermedis, aquesta serà d'uns 30 a 35 m per als edificis més habituals (C-0 i C-1) i es va reduint de forma progressiva fins als 17 a 20 m per a construccions singulars (C-4). En cas que les distàncies excedeixin les dimensions de la superfície edificable, llavors es reduiran de forma que els punts s'emplantin dins del perímetre d'interès. També la fondària de les prospeccions és un factor que es regula de forma concreta bé que, a diferència de les distàncies, sí que hi ha variacions importants en funció de la complexitat del terreny. Així, per a edificis de menys de quatre plantes (C-0 i C-1), aquesta és de 6 m (comptats per sota la rasant del terreny excavat) en terrenys favorables i de 18 m, en els intermedis. Per a la resta de construccions (C-2, C-3 i C-4), les fondàries indicades per a les zones de categoria 1 (12, 14 i 16 m) han de ser pràcticament duplicades per a terrenys T-2 (25, 30 i 35 m). En qualsevol cas la fondària ha de garantir que s'ha assolit una cota per sota de la qual el terreny no experimentarà assentaments apreciables, ja s'hagi arribat o no a una capa resistent. En el darrer cas caldrà comprovar-ne la continuïtat en un tram equivalent a 2 m, més 0,30 m per cadascuna de les plantes de l'edifici.

Respecte a les tècniques en el reconeixement del terreny s'indica el mínim de punts que s'han d'efectuar mitjançant sondatge. Aquest és d'1 a 3 per a les construccions C-1 a C-4 i per a terrenys favorables a intermedis. Amb el mínim indicat, els punts de prospecció restants es poden substituir en part per proves de penetració.

Una altra temàtica a què es fa referència en aquesta recent normativa és la de la determinació dels paràmetres geotècnics. Es considera que aquesta es podrà efectuar a partir d'assaigs de laboratori, però també amb proves *in situ* i amb les oportunes correlacions. El nombre de determinacions es considera que ha de ser l'adequat per tal que la quantificació sigui fiable. A títol orientatiu i per una superfície d'estudi de fins a 2.000 m² s'indiquen les determinacions a fer per a cadascuna de les capes geotècniques que pot ser afectada per la fonamentació. En la millor de les situacions, terrenys T-1 i edificis C-1 o C-2, cal fer per a cada capa 3 assaigs d'identificació (granulometria i plasticitat), 3 a 4 determinacions de deformabilitat, 4 a 5 de resistència a la compressió simple, 3 de resistència al tall i 3 de sals agressives. La identificació i les sals es resolen amb assaigs de laboratori i els paràmetres de deformació i resistència poden també deduir-se amb assaigs *in situ*. El nombre de determinacions indicat s'hauria d'incrementar en un 50% més per a terrenys intermedis i un 50% addicional per a construccions tipus C-3 i C-4.

Als assaigs indicats, s'hi ha d'afegir l'anàlisi de l'aigua per determinar-ne l'agressivitat al formigó. D'aquesta cal fer anàlisis en un mínim del 50% dels sondatges.

Tota la regulació fins al moment indicada fa referència a terrenys favorables (T1) o intermedis (T2). En el cas de ser problemàtics (T3) la programació del reconeixement de camp no resta definida però mai serà d'una magnitud inferior a l'establerta per a un terreny T2. En aquests casos es faran els punts de reconeixement i les determinacions necessàries per definir adequadament les característiques del terreny.



L'ESTUDI GEOTÈCNIC

Constarà d'una memòria principal i una sèrie d'annexos i el seu abast i detall dependran del nivell de reconeixement del terreny efectuat. Pel que fa a la memòria, aquesta comprendrà un apartat de dades prèvies (antecedents, dades del projecte i de l'emplaçament), un de caracterització del terreny, un de solucions a la fonamentació i un de resum. En aquest darrer es recolliran les conclusions i possibles recomanacions constructives, de forma que a partir d'aquestes es puguin adaptar les solucions més indicades per a la realització del projecte que ha motivat l'estudi. S'aportaran tots aquells valors necessaris per a l'anàlisi i el dimensionament dels fonaments, els elements de contenció i moviments de terres. També aquí es farà referència a la possible necessitat de fer reconeixements complementaris o comprovacions en fases posteriors, abans de l'inici o durant l'obra, per contrarestar les mancances que s'hagin detectat en aquest sentit. En relació als annexos, n'hi haurà de la informació prèvia, de la situació i topografia del solar, de les activitats de camp i dels assaigs de laboratori i dels càlculs justificatius.

CONCLUSIONS

Amb la regulació indicada sobre la intensitat del reconeixement del terreny i en el contingut de l'estudi geotècnic, el nou Codi Tècnic garanteix un mínim de qualitat dels treballs. Haver de satisfer per norma unes determinades actuacions en funció de criteris senzills i estàndards, com el tipus de construcció i la qualitat del terreny, farà que els estudis aportin justament les dades que en cada cas són necessàries per a la redacció del projecte.

Les exigències que aporta la nova norma estan orientades a fer una millor caracterització del terreny. En són destacables el nombre i la fondària dels punts de reconeixement, l'obligatorietat de fer d'1 a 3 sondatges com a mínim en la majoria de casos i les determinacions que s'han de fer en cadascuna de les capes d'interès per a la fonamentació a l'efecte de quantificar paràmetres i propietats de tipus geotècnic. En aquest darrer aspecte es fa palesa la necessitat de fer assaigs *in situ* i de laboratori, que porten a terme en centres que, com l'empresa Cecam, estan acreditats per l'Administració a tal efecte.

Per tant, desapareixeran del sector una gran quantitat d'estudis realitzats únicament i exclusiva amb proves de penetració dinàmica contínua que fins ara es donaven per vàlids. Aquesta tècnica de reconeixement del terreny passa a ser complementària en la majoria de casos.

En conseqüència, a les empreses que fins ara ja estaven aplicant en els seus estudis gran part de les noves exigències del nou Codi Tècnic, si no totes, per proporcionar treballs fiables i d'alta qualitat, els serà fàcil adaptar-se al CTE.

Per tancar el cicle de millora de la qualitat només caldrà que en els decrets pertinents de les administracions competents (comunitats autònomes) es prevegi l'obligatorietat que, per als treballs de camp i de laboratori, requereixin les acreditacions previstes.

IGNASI CAPELLÀ

Doctor en Ciències Geològiques

Director tècnic de la Divisió de Geotècnia i Geologia de Cecam

ALBERT PUJADES

Llicenciat en Ciències Geològiques

Cap de la Divisió de Geotècnia i Geologia de Cecam

BIBLIOGRAFIA

- Acondicionamiento del terreno. Cimentaciones-Serie normativas-NTE Normas Tecnológicas de la Edificación. Ministerio de Fomento. Octava impresión (1995).
- Norma Básica de la Edificación. NBE-AE-88 Acciones en la Edificación. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (1988).
- Curso Aplicado de Cimentaciones. J. Ortiz, J. Serra i Carlos Oteo. Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (1995).
- Eurocódigo 7 Proyecto Geotécnico Parte 1: Reglas Generales. AENOR 1999
- Guía para la planificación de estudios geotécnicos. Institut Valencià de la Construcció (2000)
- Guía para la planificación de estudios geotécnicos en la Región de Murcia. Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio. Boletín Oficial de la Región de Murcia nº 255-03/11/2001.



INDICADORS BIOLÒGICS, UNA BONA EINA PER AVALUAR LA QUALITAT DELS SISTEMES AQUÀTICS

RESUM

Aquest article resumeix les particularitat que presenta l'estudi de l'índex biològic (indicadors biològics) en les diferents masses d'aigua enfront d'altres estudis més fisicoquímics que s'anaven fent darrerament. Com que la Directiva Marc de l'Aigua (Directiva Europea 2000/60/CE) obliga els estats a millorar l'estat ecològic dels diferents ecosistemes i presentar informes, s'està replantejant com s'estudia i s'avalua aquest "estat ecològic" per poder presentar aquests informes i també poder incidir en la seva millora.

Els ecosistemes que s'han d'estudiar dins la DMA són rius, embassaments, estanys i zones humides. Recentment l'Agència Catalana de l'Aigua ha presentat uns protocols per a l'avaluació de l'estat ecològic on es resumeix l'experiència de diferents investigadors en aquest àmbit.

Actualment s'està demanant a empreses que aboquen en aquestes masses d'aigua que realitzin un estudi amb indicadors biològics de l'impacte del seu abocament en el sistema. Dins l'Àrea Mediambiental de Cecam hem format un grup d'experts en aquest estudi a fi de poder donar solucions a aquestes necessitats.

ANTECEDENTS

La Directiva Marc de l'Aigua (Directiva Europea 2000/60/CE, en endavant DMA), amb el concepte d'estat ecològic que introdueix, suposa una nova manera d'entendre els sistemes aquàtics, en què l'aigua es veu no tan sols com a recurs per a la humanitat sinó, també, com el bressol de tot un ecosistema.

L'estat ecològic és una expressió de la qualitat dels ecosistemes aquàtics que es basa en la seva estructura i funcionament. El bon estat ecològic serà aquell en què els elements biològics del sistema estan molt poc alterats respecte al que hi hauria en condicions no alterades. Això repercuteix tant en les comunitats biològiques ben estructurades com en aquelles condicions hidromorfològiques i fisicoquímiques que ho fan possible.

L'Agència Catalana de l'Aigua, en el marc de la DMA, està definint uns protocols per unificar l'estudi de l'estat ecològic de les diferents masses d'aigua al llarg de tot el territori. L'objectiu és millorar l'estat ecològic dels diferents ecosistemes i millorar la seva gestió en base als indicadors biològics.

S'entén per indicador biològic la presència de determinat organisme que ens informa de l'estat de salut del medi aquàtic on es desenvolupa el seu cicle vital. Aquests organismes presenten certa sensibilitat a la contaminació i a l'alteració del medi; és per aquest motiu que s'anomenen **indicadors biològics** i amb el seu estudi s'estableixen uns índexs biològics.

Els índexs biològics són una eina per mesurar la qualitat del medi aquàtic basada en els organismes indicadors que hi viuen. Segons la sensibilitat de cada organisme a la contaminació, l'índex biològic li assigna un valor i la suma dels valors de la comunitat dona el resultat final de l'índex. A aquest resultat se li atribueixen unes classes que defineixen l'estat (aigües netes, molt netes, brutes,...) de la massa d'aigua en aquest punt. La diferència fonamental entre els índexs biològics i la resta d'indicadors basats en paràmetres fisicoquímics resideix en el fet que els organismes representen el registre de la història ecològica recent de l'ambient.

ESTUDI DE L'ESTAT ECOLÒGIC DELS RIUS

Els rius i rierols del territori català, i l'estatal també, han estat estudiats des del vessant universitari en aquelles zones que



Foto 1: Imatge del riu Ter.



Foto 2: Imatge d'un torrent sec.



Foto 3: Diatomees pennades vistes al microscopi en contrast de fases. Mostra del riu Ter en el seu pas per Salt.

per la seva particularitat han fet l'estudi suficientment interessant. Això fa que no es tinguin resultats de tots els rius, rierols,... a fi de poder establir-ne l'estat ecològic. Cal realitzar un esforç per conèixer i avaluar tots els rius i torrents del territori.

A Catalunya s'han definit 12 tipus fluvials en funció de les característiques geogràfiques i fisicoquímiques de cada tram, que engloben tant rius que s'assequen gran part de l'any, com rius amb aportacions anuals superiors als 5.000 hm³.

Segons la DMA, la qualitat biològica dels rius s'ha d'avaluar usant els següents indicadors:

1. Composició i abundància de la flora aquàtica (diatomees bentòniques)
2. Composició i abundància de la fauna bentònica d'invertebrats (macroinvertebrats)
3. Composició, abundància i estructura d'edats de la fauna piscícola (peixos)

Les diatomees bentòniques representen més del 80% de les espècies totals, però presenten una gran diversitat de grups taxonòmics. Altres característiques de les diatomees són la seva petita mida i una elevada taxa de reproducció. Aquestes comunitats responen sensiblement i ràpidament als canvis en el seu medi.

Els macroinvertebrats presenten els avantatges de ser organismes abundants en els nostres rius, relativament fàcils d'identificar, més o menys còmodes de recol·lectar i fàcils de veure.

La Junta de Sanejament, juntament amb el CSIC de Blanes, han desenvolupat un índex adaptat i conegut per les sigles BMWPC. Aquest índex dóna la puntuació a 131 famílies de macroinvertebrats que són utilitzables com a indicadors, d'acord amb la corresponent sensibilitat a la contaminació. La suma dels valors de totes les famílies identificades dóna el valor final de l'índex que ens permet classificar els punts de control en les 5 classes, cadascuna de les quals es correspon amb un determinat nivell diferent de qualitat ecològica de les aigües.

Per poder realitzar aquest estudi cal un equipament que comprèn aparells portàtils per mesurar característiques fisicoquímiques de l'aigua, com conductímetre, pH-metre, oxímetre,....., aparells per localitzar el punt de mostreig (GPS, càmera fotogràfica) i aparells per capturar els organismes (xarxes, surber, pinces,...)

La classificació segons l'índex BMWPC és la següent:

CLASSE	COLOR	ÍNDEX BMWPC	AIGÜES
I	blau	>85	Molt netes
II	verd	51-84	Netes
III	groc	31-50	Eutrofitzades amb signes de contaminació
IV	taronja	11-30	Parcialment contaminades
V	vermell	<10	Molt contaminades



Foto 4: Imatge de macroinvertebrats trobats en aigües contaminades.

Els peixos són els únics vertebrats que la DMA requereix per avaluar la qualitat biològica dels rius. La seva vida exclusiva dins l'aigua els fa bons indicadors, ja que responen bé als canvis ambientals tant físics com químics. De la comunitat piscícola es demana la densitat total, el nombre d'espècies autòctones, percentatge d'aquestes espècies en relació amb les espècies introduïdes, distingir les espècies d'alimentació insectívora, les tolerants com el barb comú que són les darreres comunitats a desaparèixer dels llocs alterats.

ESTUDI DE LA QUALITAT DELS EMBASSAMENTS

Els embassaments es consideren rius fortament modificats. Els embassaments es classifiquen en 6 categories en funció de la situació geogràfica (altitud, distància al mar,...), les característiques de la conca (mida, geologia,...) i les característiques fisicoquímiques.

Per a cada tipologia s'ha definit un embassament tipus que s'utilitza per comparar amb els altres. Així, per exemple:

- **Grup I.** Embassaments situats per sobre 815 m d'altitud amb un volum superior a 20 hm; l'embassament de referència és el d'Escales.
- **Grup II.** Embassaments situats per sobre 815 m d'altitud amb un volum inferior a 20 hm; l'embassament de referència és el de Santa Fe del Montseny.
- **Grup VI.** Embassaments situats per sota 815 m, a més de 25 km de la costa, amb més de 40 ppm de clorurs, i

una conca inferior a 10.000 ha: Embassaments de Sau i Susqueda.

–

Els indicadors biològics que permeten avaluar l'estat ecològic dels embassaments són:

1. Composició, abundància i biomassa de fitoplàncton (Concentració de clorofil·la i de cianòfits).
2. Composició, abundància i estructura de les comunitats piscícoles (% anomalies, CPUE –captures per unitat d'esforç– de carpes litorals, CPUE de carpes limnètiques i els seus percentatges relatius).

Els paràmetres fisicoquímics per avaluar són:

1. Transparència (fondària del disc de Secchi)
2. Condicions d'oxigenació (% d'oxigen hipolimnètic)
3. Concentració de nutrients (principalment fòsfor total)

El potencial ecològic dels embassaments catalans s'avalua aplicant l'IPE (índex de Potencial Ecològic) i aquest es compara amb el valor de l'IPE de l'embassament de referència.

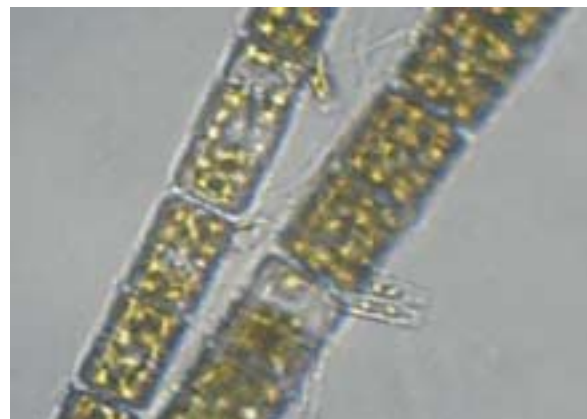


Foto 5: Imatge a microscopi amb contrast de fases d'algues filamentosas.

ESTUDI DE L'ESTAT ECOLÒGIC DELS ESTANYS

La DMA defineix els estanys com a "masses d'aigua superficials quietes", i estableix una mida de 50 ha per a la seva caracterització. En funció d'això s'han classificat com a estanys



aquelles masses d'aigua de més de 0,5 ha de superfície situats o bé a més de 800 m sobre el nivell del mar, o per sota d'aquesta cota si tenen una fondària superior a 6 m.

Els estanys somers s'han classificat com a zones humides (Agència Catalana de l'Aigua, 2006).

L'estat ecològic s'obté corregint els valors obtinguts amb els indicadors biològics pels elements hidromorfològics o característiques físicoquímiques:

Nivell de qualitat segons els indicadors biològics	Estat ecològic de l'estany
Molt bo	Bo
Bo	Mediocre
Mediocre	Mediocre
Deficient	Deficient
Dolent	Dolent

ESTUDI DE L'ESTAT ECOLÒGIC DE LES ZONES HUMIDES

Segons la DMA s'entenen per zones humides aquelles masses d'aigua que presenten una fondària inferior a 6 m i es troben a una altitud inferior a 800 m, si és un estany, o aquells sistemes propers a la desembocadura dels rius, parcialment salins per la influència marina però amb importants aportacions d'aigua dolça.

Les zones salines han estat tipificades en funció de la conductivitat mitjana, l'origen de la salinitat i la temporalitat, en 4 tipus:

- sistemes salobrosos – dolços permanents i semipermanents
- sistemes salobrosos – dolços temporanis
- sistemes talassohalins
- sistemes atalassohalins

Els elements en l'estudi de l'estat ecològic de la zona humida són:

Biològics (invertebrats, vegetació emergent, vegetació hidrofílica i fauna al·lòctona); elements físicoquímics (aspecte de l'aigua) i elements hidromorfològics (morfologia del litoral, hidrologia i usos) per finalment donar valor a índex ECELS que es compara amb el valor d'aquest índex per a un sistema de referència dels diferents tipus de zones humides.

CONCLUSIONS

Per poder determinar l'estat ecològic dels diferents sistemes cal tenir coneixements tant de la part físicoquímica, hidromorfològica i biològica. Aquesta peculiaritat obliga a tenir un coneixement pluridisciplinar a l'hora de realitzar l'estudi que genera un important esforç de formació.

La determinació dels índexs biològics permet tenir un registre de la història ecològica recent de l'ambient aquàtic. En funció de l'indicador biològic escollit, la informació que s'obté és diferent. Així, la informació de canvi en la població de diatomees (amb una elevada taxa de reproducció) o les variacions en la població de peixos (cicle biològic més llarg) donen informació a diferents nivells de l'evolució en la qualitat de l'ecosistema.

En els rius i torrents, l'índex biològic més emprat és el que comporta l'estudi de macroinvertebrats aquàtics. L'anomenat BMWPC ha estat adaptat per donar una millor resposta als ecosistemes mediterranis. Aquest és l'estudi que majoritàriament es realitza per conèixer l'evolució de l'estat ecològic d'un ecosistema fluvial.

BIBLIOGRAFIA

- Benito de Santos G i MA Puig García (1999) *BMWPC un índice biológico para la calidad de las aguas*. Tecnología del Agua, 191: 43-56
- Agència Catalana de l'Aigua (2006) *Protocols d'avaluació de l'estat ecològic de rius, embassaments, zones humides i estanys*.

Dra. IMMA PIBERNAT I VALÉS

Doctora en Biologia

Cap Àrea Agroalimentària de CECAM

EDITORIAL (ver pág. 2)

Llevamos una larga temporada de intenso calor y falta de lluvias, la monotonía del tiempo no tiene nada que ver con la actividad política, legislativa e inmobiliaria.

En la legislativa quiero destacar la aprobación del Estatut de Autonomía de Catalunya y, en otro ámbito, la publicación del Código Técnico de la Edificación, que no comentaré en esta editorial ya que se merece la publicación de un número completo.

También se ha publicado el Nuevo Real Decreto en el que se aprueba el reglamento de los servicios de prevención de riesgos laborales y dentro de pocos días entrará en vigor la nueva Ley de Eficiencia Energética así como parte del nuevo Código Técnico mencionado. Diversas leyes están en trámite, como por ejemplo la Ley del Derecho a la Vivienda, o la nueva Ley las Sociedades Profesionales o la Ley del Suelo y Valoraciones.

En cuanto a la actividad inmobiliaria, esta sigue creciendo, aunque a un ritmo más moderado que contrasta con el incremento de los precios de la vivienda.

Como podéis apreciar la actividad es alta y también lo es la de nuestra Institución: el CECAM.

Entre las muchas actividades del CECAM, quisiera destacar la Jornada Técnica que organizamos el pasado 29 de marzo, conjuntamente con la Universidad de Girona, en el marco del binomio Universidad-Empresa.

La Jornada, que trataba sobre las estructuras con hormigones especiales, tuvo una asistencia de unas 150 personas entre profesionales, empresarios y estudiantes de la UdG. Los ponentes fueron de primera fila y los temas versaron sobre los diferentes tipos de hormigones como son los autocompactables, los de altas prestaciones, los que contiene áridos reciclados y fibras y las bases de cálculo para los hormigones especiales. La Jornada concluyó con una interesante mesa redonda sobre las aplicaciones actuales y de futuro de estos tipos de hormigones.

Otra actividad interesante fue la conferencia que se celebró el pasado 25 de mayo, dentro del marco de actividades paralelas con motivo de la celebración del III Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Ponentes de alto nivel como el Director del Instituto Geológico de Catalunya, el Sr. Antoni Roca, el responsable del Instituto Cartográfico de Catalunya, el Sr. Xavier Goula, y el Sr. Alex Barbat, catedrático de estructuras de la UPC, abordaron el tema "Los terremotos y como reducir sus efectos".

Debo manifestar que continuaremos en esta línea de actuaciones por la buena acogida que han recibido.

En este número que hoy presento tratamos temas de actualidad como son:

- La regulación de los estudios geotécnicos en el nuevo Código Técnico
- La corrosión metálica y los diferentes procesos
- Los indicadores biológicos como un buen instrumento para evaluar la calidad de los sistemas acuáticos, ya sean ríos, pantanos, lagos o zonas húmedas.

También se tratan dos temas relacionados con la Jornada de hormigones especiales y un resumen de la conferencia sobre terremotos. Esperando que los contenidos sean de vuestro interés, os deseo un buen verano.

MIQUEL MATAS NOGUERA

Presidente del Consejo de Administración del CECAM

ESTRUCTURAS CON HORMIGONES ESPECIALES

(ver pág. 4)

El pasado 29 de marzo tuvo lugar en la Sala de Actos de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Girona una Jornada Técnica sobre Estructuras con Hormigones Especiales. Más de 130

inscritos asistieron a este acto organizado conjuntamente por el CECAM y por la Universidad a través del Departamento de Arquitectura e Ingeniería de la Construcción y del Departamento de Ingeniería Mecánica y de la Construcción Industrial, con la colaboración de Colegios Profesionales y empresas del sector.

El acto fue presentado por el Sr. Joaquim Velayos, Director del EPS, y por el Sr. Miquel Matas, presidente del CECAM, y se estructuró en tres sesiones, dos por la mañana y una por la tarde, con 5 ponencias y una mesa redonda final. La propuesta fue muy bien recibida por el entorno profesional y empresarial vinculado con el mundo del hormigón.

Existe una amplia gama de tipos de hormigones que a lo largo del tiempo han tenido la consideración de no convencionales, en los que se pretende obtener unas propiedades específicas que requieren de estudios especiales cuya producción debe enfocarse de una manera peculiar. El fuerte desarrollo de la industria del hormigón, tanto en los aspectos productivos como en los de aplicaciones, ha hecho que estos productos inicialmente no convencionales se utilicen cada vez con más frecuencia, de forma que se han ido estandarizando los parámetros de definición, producción y puesta en obra.

Como ejemplos de estos materiales, que en una primera aproximación pueden haber sido calificados como especiales, se pueden citar varios tipos de hormigones como pueden ser: los de alta resistencia, los autocompactables, los hormigones con fibras, los ligeros, los de alta densidad, los líquidos, los proyectados, los blancos o de color, los impresos, los refractarios, etc.

A la hora de elegir los temas a tratar en las ponencias de la Jornada se puso un especial énfasis en que cubriesen aquellos aspectos más aplicables de los denominados hormigones especiales para utilizaciones estructurales y que a la vez pudiesen aportar información novedosa para una mayoría de los asistentes. Con este objetivo se invitó como ponentes a personas de reconocida solvencia en el campo profesional y de la investigación y la innovación.

Los temas tratados y los conferenciantes que los presentaron fueron los siguientes:

- "Hormigones autocompactables" a cargo del Sr. Pere Borralleras, licenciado en Ciencias Químicas, Director del Departamento Técnico, División aditivos de DEGUSSA CC. Vocal del Subcomité 2 "Aditivos para hormigón" del CTN-83 y vocal del Comité Técnico de ANFAH (Asociación Nacional de Fabricantes de Aditivos).
- "Hormigones de altas prestaciones" a cargo del Sr. Antonio Aguado, Dr. Ingeniero de Caminos, Catedrático de la Universidad Politécnica de Cataluña, Coordinador del Programa Nacional de Construcción.
- "Hormigones con áridos reciclados" a cargo del Sr. Enric Vázquez, Dr. en Ciencias, Catedrático de la Universidad Politécnica de Cataluña.
- "Hormigones con fibras" a cargo del Sr. Marc Vandewalle, Ms Civil Engineering, Director Técnico de NV Bekaert S.A. Bélgica.
- "Bases de cálculo para los hormigones especiales" a cargo del Sr. Antonio R. Marí, Dr. Ingeniero de Caminos, Catedrático de la Universidad Politécnica de Cataluña, Miembro de la Comisión Permanente del Hormigón.
- Mesa redonda sobre el tema "Aplicaciones actuales y de futuro de los hormigones especiales" con diversos ponentes de la jornada y los Sres. Ramon Ceide, Arquitecto Técnico y profesor de la UdG y Antoni Blázquez, Arquitecto y profesor de la UdG. Actuó como moderador el Sr. Lluís Torres, Dr. Ingeniero Industrial y profesor de la UdG.

Las presentaciones hicieron un repaso general de la situación actual de desarrollo y aplicaciones de los materiales sobre los que versaban, se expusieron distintas experiencias en las que habían participado los ponentes, tanto desde el punto de vista de profesional como del de la participación en proyectos de investigación, innovación y desarrollo y se planteó el enfoque de futuro en cada uno de los campos. Todas las ponencias fueron seguidas de un coloquio entre los asistentes y los ponentes, que generalmente se centraron en problemáticas con que se habían encontrado las personas que

intervenían o en aspectos normativos referentes a la utilización de estos materiales.

Como conclusiones generales se podría decir que cuando se habla de estos materiales, y así fue en cada uno de los casos tratados, hay que pensar en las propiedades relevantes que ofrecen respecto a los hormigones convencionales o a las demás alternativas, así como en la incidencia de los componentes en el resultado final, de sus proporciones y del diseño de la mezcla. Otro aspecto no menos importante es el del control de las propiedades esperadas y el establecimiento de procedimientos de ensayo adecuados, sencillos y con posibilidades de ser reproducidos en la industria. Un tema que apareció de manera reiterada en las intervenciones fue el de la incorporación de los avances tecnológicos a las normas y en este caso a la necesidad de que la Instrucción EHE vaya incorporando pautas que puedan ser seguidas por los técnicos y empresas (por ejemplo, anexos sobre hormigones de alta resistencia u hormigones con áridos reciclados). Los aspectos de cálculo fueron tratados en una de las charlas de manera específica. Hay que tener en cuenta las posibles modificaciones de las propiedades que pueden tener más incidencia en el comportamiento último y en servicio, como pueden ser las resistencias últimas y las correspondientes deformaciones, el módulo elástico, la resistencia a tracción, la fluencia y la retracción, o la combinación del hormigón con el acero (p.ej., para obtener la adecuada ductilidad en hormigones que como materiales son más frágiles que los convencionales, las cuantías mínimas que serán diferentes, etc.). La utilización de áridos reciclados fue un tema en el que los asistentes mostraron mucho interés. Para aplicaciones estructurales parece que la utilización de un porcentaje de hasta un 20% y la exclusión de la fracción fina darían propiedades similares a las habituales. Para otras aplicaciones no hay que ser tan limitativo, pero se puso de manifiesto que todavía hay dificultades de aceptación para usos que en principio no deberían presentar problemas.

También se trataron extensamente todos los aspectos, condicionantes y requerimientos vinculados con la puesta en obra y las ventajas o inconvenientes que de cara a este aspecto pueden presentar estos hormigones especiales.

LLUÍS TORRES LLINÀS

Profesor de la Universidad de Girona
Comité organizador de la Jornada

LOS TERREMOTOS Y CÓMO REDUCIR SUS EFECTOS

(ver pág. 6)

El pasado 25 de mayo se llevó a cabo la conferencia “*Los terremotos y cómo reducir sus efectos*”. Esta actividad forma parte del 3º Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica que tendrá lugar en Girona del 8 al 11 de mayo de 2007.

La conferencia pretendía dar una primera idea de cuáles son las estructuras que tienen mejor comportamiento ante un terremoto y sobre qué medidas de información y prevención tenemos hoy en día para reducir sus efectos sobre la edificación.

Actualmente, el mercado de la construcción se encuentra en su mejor momento, lo que provoca que no siempre se sigan las mejores técnicas constructivas. Parece que entramos en una época donde la estética de los nuevos edificios deja de lado la seguridad que éstos deberían proporcionarnos.

Cataluña se encuentra en una zona donde la actividad sísmica se cataloga como moderada. El Instituto Cartográfico de Cataluña y el Servicio Geológico de Cataluña han elaborado un *Atlas Sísmico de Cataluña*, con un 1º volumen, *Catálogo de Sismicidad*, en que se dibuja un primer escenario de Riesgo Sísmico para cada municipio de Cataluña. Hay que decir que el riesgo se calcula a partir del producto:

RIESGO = PELIGROSIDAD x VULNERABILIDAD

El factor peligrosidad hace una estimación de la intensidad del movimiento sísmico que se puede esperar para cada municipio, y da lugar al mapa de zonas sísmicas.

El factor vulnerabilidad es la vulnerabilidad sísmica de las construcciones de todo el territorio catalán, estimando los daños que el movimiento sísmico considerado puede causar sobre los municipios.

En la conferencia se pudieron ver numerosos ejemplos de construcciones recientes que serían fácilmente destruidas por un terremoto de grado no demasiado alto en la escala de Richter.

Si los edificios de nueva construcción siguieran unas técnicas básicas de construcción, como por ejemplo atar las pilas con los encofrados, evitar voladizos exageradamente grandes, ser generosos con la cantidad de acero que se pone en el hormigón armado, etc., y si además se tuvieran en cuenta las zonas sísmicas del área donde se está construyendo, el grado de vulnerabilidad de un edificio frente a un terremoto disminuiría notablemente, reduciéndose así el riesgo.

En esta evaluación de riesgo también hay que tener en cuenta la amplificación del movimiento sísmico debido a los suelos blandos. Por ejemplo, si nos encontramos a una cierta distancia del epicentro de un seísmo, su efecto sobre la población se puede ver amplificado por la geología del terreno y no ser atenuado por la distancia que separa la población del epicentro, como teóricamente debería suceder. Por ello se ha estudiado la geología de cada municipio y se ha realizado una clasificación geotécnica.

Este 1º volumen del Atlas Sísmico de Cataluña ha sido utilizado por la Conselleria de Interior para elaborar el Plan de Emergencia Sísmica de Cataluña (SISMICAT). En esta recopilación de información se observa que no todos los municipios de Cataluña tendrían la misma respuesta ante un mismo grado de terremoto, por tanto en este plan se determina qué municipios deben realizar el Plan de Emergencia Municipal por terremotos.

Finalmente, tener una buena información de base y saberla utilizar a la hora de planificar nuevos edificios es esencial para reducir el riesgo sísmico en Cataluña.

CRISTINA PRATS PUIG

Geóloga del CECAM

CORROSIÓN METÁLICA (ver pág.8)

La corrosión se define como la reacción de un material con el medio ambiente, originando un ataque destructivo del citado material de partida. En términos económicos, el problema de la corrosión es de grandes dimensiones: se estima que aproximadamente el 5% del producto interior bruto de un país industrializado se gasta en prevenir la corrosión y en mantener o reemplazar los productos afectados por las reacciones de corrosión. Las consecuencias de la corrosión son conocidas por todos: capas de óxido de los objetos de acero al carbono, hinchamiento de los plásticos, eflorescencias en las paredes... hasta la ruptura de materiales que pueden causar graves accidentes. Con este artículo nos referiremos a la corrosión experimentada por los metales.

La corrosión metálica es un fenómeno que se puede visualizar como una reacción química entre reactivos: un metal y el oxígeno del medio ambiente. Según el tipo de reacción, la corrosión puede ser: química (o seca) y electroquímica (o húmeda).

También experimentan corrosión los plásticos y las cerámicas, que ahora no comentaremos.

1. CORROSIÓN QUÍMICA

La corrosión química tiene lugar calentando los metales a temperatura superior a la de ebullición del agua. En estas condiciones el agua se evapora y la mayoría de los metales reacciona con el medio ambiente.

$2Me + O_2 = 2MeO$ (9.1)

Un tipo de corrosión seca es la oxidación de un metal introducido en un horno de aire. También se produce corrosión seca (oxidación) en los procesos metalúrgicos de mecanizado en ausencia de taladrinas, donde las fricciones originan aumento de la temperatura y en los procesos de soldadura, donde se llega a temperaturas suficientes para fundir el metal. La corrosión seca tiene lugar de manera espontánea en los casos citados y en muchas más ocasiones debido al hecho de que la energía libre de la reacción química de formación de la mayoría de óxidos es negativa, con la excepción del óxido de oro.

¿Por qué unos metales se oxidan más que otros?

Por dos motivos. En primer lugar hay óxidos más estables que otros, como es el caso del aluminio. En segundo lugar, los productos de la corrosión (ver fig. 1 pág. 8 —Magnesio, aluminio y hierro sin y con productos de oxidación—) pueden aislar o no el sustrato del medio exterior. Si el producto de corrosión no protege, la velocidad de corrosión $dy/dt = k/y$ es inversamente proporcional al grosor de la capa de productos de la corrosión: fig. 2 (ver pág. 8 —Capa de óxido, de grosor y , sobre una superficie metálica—).

Es decir, $y^2 = at$, donde a es una constante y t el tiempo de exposición. La velocidad de corrosión, en función del tiempo, se representa mediante una parábola: figura 3 (ver pág. 9 —Leyes de la corrosión seca. Variación de masa en función del tiempo de experimentación—). Si se forma parábola, la capa de óxido protege. La capa de óxido que mejor protege es cuando se forma una gráfica logarítmica, que es el caso del aluminio, el acero inoxidable y otros.

Los óxidos de cromo, de aluminio (colmatado), de titanio... y el óxido ferroso-férrico son compactos, sin demasiados poros y eléctricamente neutros. Por este motivo son muy protectores. En cambio los que son semiconductores de los tipos p (óxido níqueloso) y tipo n (óxido de cinc), se caracterizan por la existencia de vacantes catiónicas y de cationes en posiciones intersticiales, que "facilitan" la corrosión del metal.

2. CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA O HÚMEDA

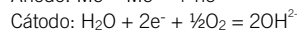
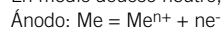
En los materiales metálicos, el proceso de corrosión más generalizado es la electroquímica; es decir, una reacción que transfiere electrones de una especie a otra. Una característica de los átomos metálicos es la pérdida o ganancia de electrones en una reacción denominada oxidación-reducción. La zona donde tiene lugar la oxidación se denomina ánodo y la oxidación se llama a veces reacción anódica. A la zona anódica se le asigna el símbolo más (+).

Los electrones generados en cada átomo del metal que se oxida se transfieren a otra especie química y el proceso se denomina reacción de reducción. La zona donde tiene lugar la reducción se denomina cátodo. A la zona catódica se le asigna el símbolo menos (-).

La reacción electroquímica total consiste en la suma de la reacción de oxidación y de la reacción de reducción; a menudo la oxidación y la reducción se denominan semirreacciones.

Por ejemplo, algunos metales experimentan corrosión en disolución ácida que contiene elevada concentración de iones hidrógeno.

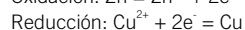
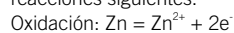
En medio acuoso neutro, la principal reacción es la siguiente:



La velocidad total de oxidación tiene que ser igual a la velocidad total de reducción o los electrones generados en la oxidación se deben consumir en la reducción.

En el contacto cobre-cinc, los pocos iones Cu^{2+} que puedan haber se depositan como cobre metálico en el electrodo de cobre y el cinc se disuelve (corroe) en la otra semipila y se incorpora a la disolución como iones Zn^{2+} (ver fig. 4 pág. 9 —Pila Zn/Cu—).

Las reacciones de las dos semipilas están representadas por las reacciones siguientes:



Los electrones generados en la oxidación del cinc pasan a través del circuito externo y fluyen en el electrodo de cobre para reducir el

Cu^{2+} . Además, existe un movimiento iónico a través de la membrana. Este dispositivo se denomina par galvánico: dos metales conectados eléctricamente y sumergidos en un líquido electrolítico, mientras uno se convierte en ánodo y se oxida, el otro actúa como cátodo. Entre las dos semipilas existe un potencial eléctrico o voltaje, cuya magnitud se determina conectando un voltímetro al circuito externo. La pila galvánica cobre-cinc genera un potencial de 1,100V a 25°C de temperatura.

3. CORROSIÓN ATMOSFÉRICA

Se denomina corrosión atmosférica a la degradación experimentada por los metales expuestos a la atmósfera convencional: al aire libre. Se trata de una corrosión electroquímica. Los materiales expuestos a la atmósfera experimentan corrosión, principalmente en función de tres factores: humedad relativa, contaminación atmosférica y tiempo de exposición.

Para que el acero al carbono se corra es necesario un valor linder de humedad relativa, que se sitúa entorno del 70%. Una muestra de acero al carbono conservada en un desecador, donde hay una humedad relativa (HR) muy baja, no experimenta corrosión a lo largo del tiempo.

En cuanto a los agentes contaminantes más eficaces para acelerar la corrosión hay que citar los niveles de dióxido de azufre y de cloruros. El dióxido de azufre suele proceder de la combustión, por ejemplo de los motores de explosión. El dióxido de azufre en contacto con la humedad ambiental y en presencia de un catalizador, que puede ser la misma superficie metálica del acero al carbono, genera ácido sulfúrico, que disuelve el acero al carbono.

La presencia de cloruros en el ambiente denota la proximidad de agua del mar. Los cloruros se disuelven en el agua y aumentan considerablemente la conductividad del medio y, por tanto, la posibilidad de cerrar el circuito ánodo-metal conductor-cátodo-medio ambiente.

En la figura 5 (ver pág. 10 —Factores ambientales de la corrosión—) se aprecia la influencia del número de horas, que la HR fue superior al 70%, y la influencia de los niveles de contaminación, por dióxido de azufre, en una pieza de acero al carbono durante tres años consecutivos. Los meses de diciembre y enero causaron mayor corrosión, y los de julio y agosto, menor, pues en los dos primeros la humedad relativa y la contaminación suelen ser mayores y en los dos últimos, menores.

Conviene recordar que la humedad que llega a una superficie oxidada o sucia se queda adherida por capilaridad (ver fig. 6 pág. 10 —Humedad capilar—) y, aunque la humedad relativa del ambiente sea baja, la humedad relativa de la superficie es más elevada.

La corrosión atmosférica, según Passano, se puede expresar como $C = A \cdot t^n$, donde las dimensiones de C son mm/año (grosor) o mdd: $\text{mg/dm}^2 \cdot \text{día}$ (masa). t : años, A y n constantes del ambiente de exposición.

Los niveles de dióxido de azufre se obtienen experimentalmente por análisis mediante espectroscopia infrarroja del aire o bien determinando la cantidad de sulfato (SO_4^{2-}) que ha reaccionado con el dióxido de azufre (PbO_2) que impregna un paño de área conocida y colocado en un cartucho de plástico situado en el interior de una garita suficientemente ventilada. El sulfato de plomo así formado se determina por gravimetría.

Los valores de los cloruros se determinan analizando por volumetría la concentración de cloruro sódico recogido en el agua de lluvia o mediante lavado con agua destilada de la teja de inoxidable, de área conocida, e instalada en el pupitre de la figura 7 (ver pág. 11 —Pupitre de acero inoxidable para recoger dióxido de azufre, cloruros y colocar las probetas a ensayar—), donde se aprecian las probetas expuestas.

4. CORROSIÓN GALVÁNICA

La corrosión galvánica es el tipo de corrosión más extendida y se

origina cuando dos metales de distinta naturaleza electroquímica están en contacto. En la figura 8 (ver pág. 11 —A la izquierda, tubería de cobre (cátodo) y a la derecha, tubería de acero al carbono (ánodo)—) se ha representado la unión del cobre (cátodo) con el acero al carbono (ánodo). El más noble actúa de cátodo y el más activo actúa de ánodo, disolviéndose.

En la figura 9.a se ha esquematizado la unión de dos chapas de acero al carbono con un remache de aluminio (o al revés, es decir dos chapas de aluminio con un remache de acero) en contacto eléctrico, que produce corrosión del aluminio. En cambio, en la figura 9.b se esquematiza la unión de una chapa de cobre con una de aluminio mediante un tornillo de acero al carbono, en este caso, convenientemente aisladas, evitando la corrosión. (ver fig. 9 pág. 11 —Las uniones metálicas desnudas producen: a) corrosión del metal más activo; b) las uniones convenientemente aisladas no generan corrosión—).

En las aleaciones, los precipitados o las impurezas pueden ser anódicos o catódicos respecto a la matriz. Es decir, se puede dar el caso de que la matriz sea más noble que los precipitados, como el aluminio que contiene impurezas de magnesio, o que los precipitados sean más nobles que la matriz, como el carburo de hierro o cementita en un fondo de hierro o ferrita. En ambos casos las aleaciones experimentan corrosión: si aquellas son anódicas respecto al metal base se van disolviendo. En caso contrario, es decir, si los precipitados o las impurezas son más nobles que la matriz, ésta se disuelve en el medio corrosivo.

En el caso de la perlita (ver fig. 10 pág. 12 —En la perlita, la ferrita actúa de ánodo y la cementita de cátodo—), la cementita actúa de cátodo y la ferrita de ánodo.

En los metales el límite de grano, con átomos deslocalizados y, por tanto, con mayor energía que la superficie libre, se comporta como ánodo. En un límite de grano, se aprecian átomos deslocalizados y, por tanto, más reactivos.

Ánodo y cátodo también aparecen en una superficie metálica de composición química homogénea pero con zonas de distinta acritud. La acritud (o metal agrio) se genera introduciendo defectos estructurales (vacantes y dislocaciones) en el metal, lo que se consigue por labrado (o conformación por deformación) en frío. Las zonas que se han doblado actúan como ánodos, mientras que las sin deformar se comportan como cátodos: figura 11 (ver pág. 12 —Las zonas más deformadas y no recocidas se comportan como anódicas, ya que tienen gran cantidad de dislocaciones: acritud—).

Un ejemplo convencional de la aparición de ánodos y cátodos por labrado es la corrosión de un clavo de acero al carbono. En el proceso de fabricación a partir de un alambre, la punta y la cabeza del clavo se han deformado más que el tronco. Por este motivo, los extremos actúan de ánodos y el tronco actúa de cátodo. Sin embargo, si se dobla se cambia, la zona doblada también actúa de ánodo: figura 12 (ver pág. 12 —Ánodos y cátodos en un clavo de acero al carbono doblado—).

También aparece corrosión galvánica al modificar la microestructura por recocido de la aleación. Si en los límites de grano de la aleación aparece una segunda fase, la corrosión se acelera. Si se consigue disolver totalmente la segunda fase, la resistencia a la corrosión es máxima, mientras que al aparecer granos cristalinos de una fase y granos de otra, la corrosión es intermedia.

Los materiales tensionados suelen ser más susceptibles de experimentar corrosión que los materiales recocidos. De hecho, se considera que las tensiones internas originan microporos y dislocaciones, lo que contribuye a disminuir la compacidad del material.

Otros tipos de corrosión metálica son: uniforme, localizada, filiforme, pulverulenta, biológica o bacteriana, por erosión, bajo tensiones, hidrogenación, descarburación, intercrystalina, por fricción, fatiga con corrosión, por aire diferencial, por corrientes erráticas y por eliminación selectiva.

BIBLIOGRAFÍA

- FONTANA, M.G. GREENE, N.D. (1978). *Corrosion Engineering*. MacGraw Hill, Nueva York.
- FELIU MATES, S. dentro de GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, J.A. *Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión*. CSIC, Madrid. 1984
- F.R. MORRAL, I. JIMENO, P. MOLERA. *Metalurgia General*. Vol. 2. Ed. Reverté, Barcelona, 1985
- *Metals Handbook*. ASM. 9ª edición, vols. 2, 3 i 13. Metals Park, Ohio, 1987.
- CALLISTER, W.D. *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Ed. Reverté, Barcelona, 1996.
- HARPER, C.A. (editor). *Handbook of Plastics and Elastomers*. Ed. McGraw-Hill Inc, Nueva York, 1975.
- SAJA SÁEZ, J.A., RODRÍGUEZ PÉREZ, M.A., RODRÍGUEZ MÉNDEZ, M.L. *Materiales. Estructura, propiedades y aplicaciones*. Ed. Thomson Paraninfo, Madrid, 2005.
- SMITH, W. F. *La Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Ed. McGraw Hill, Madrid, 2004.

PERE MOLERA

Dr. Química. Prof. Universidad de Barcelona

IRENE MOLERA

Arquitecta

CONSTRUCCIÓN: LOS PROGRAMAS DE CONTROL DE CALIDAD (ver pág.14)

El pliego de condiciones técnicas particulares de ejecución es un documento que, de acuerdo con la legislación vigente, debe constar en un proyecto de construcción.

En él se definen las diferentes partidas, las condiciones de ejecución de la obra, las unidades y criterios de medición y las normativas de obligado cumplimiento.

Es evidente que el documento pliego de condiciones técnicas particulares es un documento de gran importancia para la ejecución de la obra.

¿Qué se busca con un plan de control de calidad si ya se definen las condiciones y cómo hay que ejecutar la obra?

Una obra es el acoplamiento de piezas muy diversas, unas provenientes de un proceso industrial que ya han sido sometidas a controles exhaustivos y cuyo resultado final tendrá fácilmente relación con los resultados de aquellos controles, como sería el caso de las luminarias, las calderas, etc, por citar algunas, y otras que se acoplan "in situ" a partir de elementos controlables en origen, pero que darán un resultado que no tiene que ver con el de aquellos controles, sino de cómo se acoplen y dispongan: sería el caso de los hormigones, de las barras corrugadas para la estructura, de las cerámicas, de los hilos de cobre, de los tubos para las canalizaciones, de los diferentes elementos de las instalaciones, etc.

Creo que podemos asegurar que toda obra, al no ser una actividad repetitiva y por tanto automatizable, pasa a estar sujeta en grado muy elevado al factor humano, y requiere por tanto de un buen control de ejecución; esta figura es la que asume el director de ejecución ayudado por los diferentes directores de obra, si es pertinente, y de su buena tarea dependerá, en gran manera, el resultado de la obra. No podemos tampoco olvidar al constructor, al jefe de obra y al encargado de obra, figuras todas ellas importantísimas para la buena marcha de la actuación.

¿Por qué el control de calidad? ¿Es un control sobre el control que ya tienen que hacer los citados individuos?

Creo que si se entendiese así existiría el riesgo de caer en un encadenamiento de controles que podría no tener fin, lo que diluiría las respectivas responsabilidades y quitaría motivación profesional a los diferentes agentes; no podemos perder de vista el necesario sentido de equipo entre todos los que participan en el proceso, cuyo fruto

debe ser el edificio bien acabado.

Por tanto, el papel del control debe ser otro, y el agente que lo desarrolle tiene que ser el más neutro e independiente de todos.

Hay procesos cuyo control escapa a las posibilidades de los agentes directamente implicados; entre los motivos argumentales está que se requieren equipos técnicos caros, que las metodologías necesarias escapan a sus conocimientos y que el riesgo de que no se hagan bien, no por voluntad de no hacerlo sino por falta de conocimientos o porque el propio proceso comporta riesgos, hacen que se tenga que considerar ayuda de otros agentes.

Por tanto, el control debe realizar una función de apoyo a todos aquellos agentes, potenciando su papel y ayudándoles en el proceso de buen acabado de la obra.

Hay que tratar de establecer bien la barrera que separa las diferentes funciones, procurando que los diferentes agentes que intervienen en el proceso trabajen cómodos dentro de un marco de exigencia.

Como cada día más existen certificados de control en origen de los productos, el control se tiene que hacer sobre los elementos en los que ha habido intervención humana en obra, lo que determina el resultado final.

¿En qué partes de la obra hay que hacer este control complementario?

En las que, como ha quedado dicho, hay elementos que los hacen imprescindibles, como serían, a título de ejemplo, las compactaciones de terrenos, los hormigones, las soldaduras, las adherencias de alicatados, las estanquidades de los elementos a las inclemencias atmosféricas, las pruebas en funcionamiento de elementos para los que, a pesar de tener certificados de origen, hay que verificar el resultado montados, para comprobar, entre otras cosas, los niveles sonoros y de vibración que a menudo dependen del montaje, el funcionamiento de las protecciones eléctricas, pruebas de presión de circuitos de fluidos, certificación de cableados de comunicación, aislamiento acústico, etc.

Una ventana, por ejemplo, puede haber pasado en fábrica todas las pruebas de calidad, pero si está mal apareada o mal rejuntada, el conjunto no será estanco y, por tanto, no cumplirá las funciones que se le presuponen.

En un mercado globalizado y en el que los productos pueden venir de muy diversos orígenes, también se tienen que pedir los certificados que acrediten la calidad de los productos, así como las garantías y los certificados de prueba de los elementos que los tengan.

Los programas de control de calidad tienen que concretar las pruebas a realizar y hacer fácil el seguimiento de sus trabajos. La definición de los trabajos tiene que posibilitar la elaboración de un presupuesto por parte de los diferentes laboratorios de control, con el establecimiento de precios unitarios y valoraciones globales. Todo ello queda reflejado en el Decreto 375/1988 de 1 de diciembre de la Generalitat de Cataluña.

Otro aspecto que dispone el Decreto es que los controles que tenga que hacer el laboratorio de ensayo, que tendrá que estar acreditado y homologado, irán a cargo del promotor. El nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE), vigente desde el pasado 29 de marzo, no concreta tanto, aunque no lo niega. Cita que en el proyecto hay que incluir un plan de control de calidad valorado.

Queda por tanto claro que quien paga el control externo es la propiedad, que, si queda explicitado en la relación contractual con el constructor, lo puede descontar de sus facturas. Yo soy de la opinión que hay que entender el control como una tarea imputable al constructor, que debe garantizar la calidad de la obra. La determinación de la cantidad que se destine debería ser pactada con el propio constructor, para lo que existen distintos mecanismos, como por ejemplo, concretarlo en las condiciones de licitación de la obra o bien, dejándolo abierto, a partir de un mínimo que incluiría los controles reglamentados, en la propia licitación, de manera que el constructor pueda concretar la cifra máxima aportada para este fin en su oferta, a partir de aquel mínimo, y siempre pendiente del presupuesto final

del laboratorio, del que tendrá conocimiento el constructor. Con este planteamiento se marca la voluntad de incidir en el tema y de ampliar su alcance para obtener la calidad deseada de la obra.

En el CTE se indica que el certificado final de obra acreditará que se ha controlado cualitativa y cuantitativamente la construcción y que el director de ejecución debe recopilar toda la documentación del control realizado, así como los certificados asociados, documentación que deberá entregarse al promotor, a los efectos posteriores que hagan falta, y éste los deberá entregar al usuario final del edificio, en lo que debe constituir el Libro del Edificio.

El sector necesitaba que se aclarasen los papeles de los diferentes agentes que en él participan y creo que la ley y el código asociado han sido un paso importante. Falta la implementación, hecho que sólo es cuestión de tiempo, que confiamos que no sea excesivo.

En este proceso tenemos que implicarnos todos los agentes del proceso.

RAMON BOIX IGLESIAS

Jefe de Gestión de Inversiones de la Universidad de Girona

EL ENSAYO TRIAXIAL EN SUELOS Y SU APLICACIÓN EN SU CARACTERIZACIÓN HIDROMECAÁNICA

(ver pág.16)

1. INTRODUCCIÓN

Tras la reciente adquisición de un equipo de ensayos triaxiales por parte del CECAM en diciembre del 2005, se hacía necesario un artículo que explicase en detalle el funcionamiento, capacidades y aplicaciones de este nuevo equipamiento.

El ensayo triaxial es una herramienta muy potente para estudiar el comportamiento hidromecánico de suelos tanto saturados como no saturados. Con este ensayo se puede estudiar el comportamiento resistente del suelo con condiciones de drenaje y con condiciones sin drenaje. Complemente e incluso mejora la información sobre la resistencia del suelo que se obtiene con el ensayo de corte directo. Es por tanto una técnica que aporta más información del comportamiento del suelo y que, por tanto, requiere un equipo más complejo que pocos laboratorios de control de calidad tienen en la actualidad.

Existen diferentes tipos de aparatos triaxiales, el más habitual o que denominaremos "común" nos permite estudiar la resistencia al corte del suelo en función de la deformación y las condiciones de drenaje en muestras cilíndricas con una aplicación de la carga normal en la superficie de la muestra y con simetría axisimétrica tal y como se muestra en la figura 1 (ver pág. 16 —Detalle de la muestra dentro de la célula triaxial con las tensiones de confinamiento y vertical aplicadas—). La tensión vertical (σ_1) se aplica mediante un pistón y la presión de confinamiento (σ_3) mediante un sistema de presión hidráulica con agua generalmente. Este artículo estará centrado en este equipo de laboratorio.

Posteriormente se construyeron y diseñaron equipos más avanzados para dar solución a problemáticas más complejas como por ejemplo:

- Estudio dinámico de los suelos con aplicación directa a terremotos y otras acciones dinámicas como vibraciones generadas por maquinaria. Con el ensayo triaxial cíclico se puede estudiar el comportamiento de los suelos (principalmente arenosos) en la licuefacción, fenómeno que se genera por un incremento de la presión intersticial del agua de los poros del suelo en condiciones no drenadas que puede acabar con la pérdida total de capacidad portante del suelo. En la figura 2 (ver pág. 16 y 17 —2a) Evolución del esfuerzo de corte con el esfuerzo volumétrico en el plano de Cambridge. Se observa como la curva toca la superficie de Mohr-Coulomb y las trayectorias se mueven a lo largo de esta superficie. 2b) Evolución de la deformación axial de la muestra que se incrementa notablemente una vez se produce la rotura de la muestra. 2c) Evolución de la presión de agua

en los poros, que es la responsable de la rotura de la muestra.—) se muestran los resultados de un ensayo triaxial cíclico en arenas saturadas de Tumaco (Colombia). Se aplica una carga cíclica (función seno) sobre la muestra. En condiciones no drenadas, la presión intersticial del agua en los poros se incrementa hasta producir la pérdida de la capacidad portante de la muestra.

- Ensayo triaxial verdadero. Paradójicamente, el llamado ensayo triaxial no es puramente triaxial, ya que tiene un eje de simetría. Para resolver esta situación y estudiar el comportamiento real de los suelos en tres direcciones ortogonales se construyó un equipo que es capaz de aplicar cargas en tres direcciones perpendiculares entre sí. Este equipo es muy complejo y sólo está justificado en la investigación o con proyectos que necesiten una caracterización de las propiedades mecánicas de los suelos muy precisa, almacenaje de residuos nucleares, por ejemplo. En la figura 3 (ver pág. 17 —*Célula diseñada para aplicar carga a una muestra cúbica en tres direcciones ortogonales y estudiar un estado triaxial de verdad en el suelo*—) se ve la célula donde se introduce la muestra cúbica para aplicar carga de manera independiente en las 3 direcciones.

- Ensayo triaxial con succión controlada. Éste es un diseño que nos permite estudiar el comportamiento resistente del suelo cuando se encuentra no saturado. Cuando el suelo no se encuentra saturado parece una nueva variable, la succión, que se produce cuando el agua no llena todo el volumen de los poros del suelo. En estas condiciones, los cambios de succión afectan al cambio de volumen y a la resistencia del suelo, por lo que hay que estudiar esta variable si el proyecto así lo requiere.

2. EL ENSAYO TRIAXIAL COMÚN. DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO

Las piezas de una máquina triaxial son las siguientes:

- Célula triaxial donde se introduce la muestra de suelo.
- Prensa con pistón de carga para aplicar cargas verticales a la muestra.
- Sistema de presión hidráulica para la célula triaxial (presión de confinamiento) con un sistema de medida de volumen.
- Sistema de presión de agua para la muestra (backpressure o presión de cola) que se aplica a la muestra con medida de volumen.
- Sistema de adquisición automatizado de presiones, volúmenes, desplazamientos que, además, haga los cálculos de transformación a deformaciones y tensiones.

En la figura 4 (ver pág. 18 —*Equipo triaxial convencional con los diferentes componentes que lo componen: prensa, célula, sistemas hidráulicos de presión de confinamiento y de cola y sistema de adquisición*—) se ve un equipo triaxial convencional con todos sus componentes.

La muestra se coloca en la base de la célula triaxial y se protege del exterior con una membrana de látex. Se pueden colocar sensores de deformación radial en la muestra en el caso de que se quiera estudiar la deformación horizontal. Una vez colocada la muestra, figura 5 (ver pág. 19 —*Detalle de la muestra colocada en la base de la célula triaxial. Esta muestra es de 38 mm de diámetro*—), se cierra la célula y se coloca en la prensa. Se calibra la célula de carga con la que se mide la carga vertical aplicada a la muestra (sistema de tensión controlada). A partir de aquí se conecta la célula con los sistemas hidráulicos de presión de cola y de confinamiento y se llena la célula triaxial de agua intentando que no haya aire almacenado que cambie la compresibilidad del agua dentro de la célula triaxial. Se puede saturar la muestra aplicando un flujo de agua mediante la presión de cola. La comprobación del grado de saturación de la muestra se puede realizar mediante el cálculo del parámetro B de Skempton aplicando un incremento de la presión de confinamiento en condiciones no drenadas en la muestra. Si la muestra está saturada, el incremento de presión de agua registrado debería ser igual al incremento de presión de confinamiento ($B=1$). En caso de que no sea así, el incremento de presión de agua será inferior y la muestra no estará saturada ($B < 1$).

Se pueden ensayar muestras de distintos diámetros, 38 mm, 50 mm, 76 mm, etc. en función de los accesorios disponibles y también de las capacidades nominales de las células de carga y de desplazamiento. Como regla habitual, la relación diámetro (D) y altura de la muestra (H) es $H/D > 2$. En la figura 6 (ver pág. 19 —*Simplificación del funcionamiento del equipo triaxial*—) se muestra con un croquis sencillo el funcionamiento del equipo triaxial.

La ejecución del ensayo triaxial es sencilla, dada una presión de confinamiento la muestra es cargada verticalmente hasta la rotura de la misma. Durante el ensayo se registran la presión de agua, confinamiento, desplazamiento vertical y carga en la célula de carga. Existen 3 tipos principales de ensayos triaxiales en función de la ejecución del mismo. La nomenclatura que se sigue es la inglesa, formada por dos dígitos. El primero puede ser C o U. C (*consolidated*, se aplica un proceso de consolidación a la muestra) o U (*undrained*, no se aplica un proceso de consolidación a la muestra). El segundo dígito puede ser D (*drained*, amb drenatge) o U (*undrained*, sense drenatge).

- Ensayo tipo CD: Muestra consolidada y proceso de carga con drenaje de las presiones intersticiales generadas durante la carga. Éste es el ensayo más lento de ejecución debido a la consolidación y también a que la lenta aplicación de la carga que persigue no genera excesos de presión intersticial.

- Ensayo tipo CU: Muestra consolidada y proceso de carga sin drenaje de las presiones intersticiales generadas durante la carga (se puede medir la presión intersticial generada durante la carga mediante un manómetro conectado al sistema de presión de agua de cola).

- Ensayo tipo UU: Muestra no consolidada con un proceso de carga sin drenaje de las presiones intersticiales generadas durante la carga. También se puede medir o no la presión intersticial. Éste es el ensayo más rápido de ejecución debido a la velocidad de aplicación de la carga.

Con todos ellos, la información obtenida es la misma, la resistencia al corte (con drenaje o sin) del suelo dadas unas condiciones de confinamiento e iniciales de la muestra.

El drenaje de la muestra dependerá en gran medida del tipo de suelo que se esté ensayando: argiloso, limoso o arenoso. Las arcillas son poco permeables y drenan el agua con dificultad, en cambio, los suelos arenosos son muy permeables y drenan las presiones de agua con mucha rapidez. Por tanto, una correcta aplicación de la velocidad de carga a cada suelo se convierte en un factor muy importante y que depende en gran medida de la experiencia del operador.

3. RESULTADOS DEL ENSAYO TRIAXIAL

Con la ejecución de tres ensayos triaxiales a tres muestras del mismo suelo con diferentes presiones de confinamiento se puede determinar la línea de Mohr-Coulomb. Con esta superficie queda definida la resistencia de un suelo y nos proporciona los valores de cohesión y ángulo de rozamiento interno (con drenaje o sin drenaje) que se pueden utilizar para obtener la capacidad portante del suelo en cimentaciones profundas y/o superficiales o para estudiar la estabilidad de taludes y excavaciones, por ejemplo.

La resistencia de un suelo viene definida, en general, por el criterio de rotura de Mohr-Coulomb que relaciona la tensión normal y la tensión de corte (ver figura 7 pág. 20 —*Criterio de rotura de Mohr-Coulomb, muy utilizado en geotecnia (condiciones con drenaje o en tensiones efectivas)*—). Cuando más se incrementa la presión de confinamiento de la muestra, mayor es la resistencia medida, como se ve en la figura 8 (ver pág. 20 —*Resultados de ensayos triaxiales en muestras de suelos limosos con distintas presiones de confinamiento y representados en el plano de Mohr-Coulomb*—).

En el caso de realizar el ensayo sin drenaje, lo que se obtiene es la llamada resistencia al corte sin drenaje, C_u . Cuando se realiza el ensayo sin drenaje, el ángulo de rozamiento interno es nulo y el criterio de rotura se transforma en una línea horizontal (ver figura 9 pág. 21 —*Criterio de rotura de Mohr-Coulomb, muy utilizado en geotecnia (condiciones sin drenaje o en tensiones totales)*—).

Una vez hemos obtenido los valores de (c', ϕ') o $(C_u, \phi = 0)$ podemos utilizar estos datos para estudiar la resistencia de cimentaciones profundas y/o superficiales, problemas de estabilidad de taludes, túneles, etc. Por tanto, queda claro que los ensayos triaxiales tienen aplicaciones importantes y directas en la fase de proyecto de una obra.

Cualquier persona que tenga experiencia con los ensayos para estimar la resistencia de los suelos puede pensar que lo que se obtiene con el ensayo triaxial ya se puede obtener más rápidamente y de manera más económica con el ensayo de corte directo. También es cierto que el ensayo triaxial es más complicado de ejecución. No obstante, desde aquí queremos señalar algunas de las importantes ventajas del ensayo triaxial respecto al de corte directo.

- a. El ensayo triaxial es mucho más versátil que el ensayo de corte directo.
- b. El drenaje de las muestras se controla de manera mucho más precisa que con el ensayo de corte directo.
- c. No hay rotación de las tensiones principales, ya que la tensión vertical siempre es superior o igual a la de confinamiento. En cambio, eso sí que sucede en el ensayo de corte directo.
- d. La concentración de tensiones que se produce en los extremos de la muestra a su contacto con la base y cabeza de la célula existe. No obstante, se ha comprobado que es sensiblemente menor que la producida en el ensayo de corte directo. Ello se traduce en una mejora notable de la calidad de los parámetros obtenidos, ya que son más representativos del terreno que se está ensayando.
- e. La superficie de rotura de la muestra puede aparecer allí donde exista una debilidad de la muestra. En cambio, en el corte directo, la muestra siempre se rompe por una superficie aproximadamente plana y horizontal.
- f. Las trayectorias de tensiones hasta rotura se controlan con facilidad. Eso significa que con este ensayo se puede simular el comportamiento real del suelo in situ.

4. CONCLUSIONES

Se ha demostrado que el equipo triaxial es una herramienta potente para estudiar el comportamiento resistente de suelos con el objetivo de determinar su resistencia y utilizar esta información para todo tipo de proyectos donde sea necesario determinar la capacidad portante de un suelo. El equipo es muy versátil y existen en el mercado modelos que nos permiten realizar ensayos muy complicados y que su aplicación dependerá en gran medida del tipo de proyecto. Es, pues, necesaria la utilización de este ensayo, que aunque es más caro que el ensayo de corte directo, proporciona unos resultados más adecuados y precisos que el ensayo de corte directo. Es un ensayo bien establecido y conocido.

EVA CAMPMOL AYMERICH
Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos
Ingeniera en Geología
Directora de Obra Civil del Cecam

EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE Y LA REALIDAD PROYECTO-EJECUCIÓN. REPERCUSIÓN DE LA CONSISTENCIA EN EL ÉXITO FINAL DE UNA CONSTRUCCIÓN. EL PAPEL DECISIVO DE LOS PRESCRIPTORES (ver pág.22)

TENDENCIAS ACTUALES

Desde la redacción de un proyecto, en que se especifican, entre otros aspectos, las calidades y prestaciones de los hormigones, hasta la realidad de la estructura, se suceden una serie de etapas que pueden traer de cabeza al ingeniero y hacer que se plantee la eterna pregunta "¿Ofrecerá el hormigón ejecutado las prestaciones exigidas

en el diseño?". Pregunta que, en muchas ocasiones, queda ausente de respuesta.

La realidad nos indica que el porcentaje de errores estructurales originados por razones de ejecución sigue siendo un porcentaje nada despreciable. De hecho, la contribución a ciertas deficiencias estructurales con origen relacionado con la ejecución y puesta en obra es muy superior a la de origen relacionado con la producción del hormigón o en el cálculo.

Con este razonamiento podríamos caer en la, al menos parcialmente, errónea conclusión de pensar que es una única responsabilidad del constructor el éxito de una buena ejecución del hormigón, que garantice una buena durabilidad y un prolongado tiempo de servicio con el mínimo mantenimiento.

Actualmente, en nuestro país (y no se puede decir lo mismo del resto de Europa), el hormigón HA-25/B sigue siendo de largo el tipo de hormigón más empleado en edificación y obra civil. Este tipo de hormigón, con asentamiento en el ensayo del cono de Abrams entre 6 y 9 cm (consistencia blanda), no se puede considerar un hormigón de adecuada trabajabilidad para buena parte de las estructuras exigidas hoy en día. Requiere de una eficiente compactación externa (generalmente por vibración) para alcanzar la adecuada compactación y el óptimo recubrimiento de las armaduras, y cualquier deficiencia que altere negativamente estos dos aspectos tendrá severas consecuencias en la durabilidad y la capacidad mecánica de la estructura. Así pues, interviene el factor ejecución, relacionado con la capacidad de los operarios de la obra para realizar la tarea, como factor vinculante en el éxito de la aplicación. Esta afirmación se agrava al remarcar que cada vez se hace más difícil encontrar personal especializado, que el coste de la mano de obra se encarece progresivamente y que las exigencias tanto en prestaciones como en tiempo de entrega crecen exponencialmente.

La conclusión evidente es que el hormigón de consistencia blanda (B) ya no es un hormigón apto para garantizar las propiedades deseadas en las estructuras actuales, donde la tendencia apunta a trabajar cada vez más con secciones más esbeltas y con mayor densidad de armadura. Y eso no es una responsabilidad del constructor, es una responsabilidad que debe asumir el ingeniero en el momento de la redacción del proyecto si quiere tener garantías fiables de que el hormigón ejecutado cumpla las exigencias del proyecto durante el máximo tiempo (o por el tiempo establecido).

ÚSO DE HORMIGONES FLUIDOS COMO ALTERNATIVA A LOS HORMIGONES BLANDOS

La solución más evidente pasa por prescribir hormigones de mayor consistencia, que hoy en día, con todos los medios tecnológicos al alcance, ya no guarda ninguna relación directa con la resistencia final. La resistencia de los hormigones de la actualidad ya no se caracteriza por la consistencia, sino por la relación agua/cemento, básicamente gracias a la aportación de los aditivos químicos, que permiten alcanzar mayores consistencias sin necesidad de incrementar la cantidad de agua.

Prescribir hormigones HA-25/F (fluidos) en lugar de HA-25/B (blandos) significa una gran contribución a la mejora de la puesta en obra. Debido a la mayor consistencia, el hormigón fluido necesita menos tiempo de vibración para alcanzar una buena compactación y un adecuado recubrimiento de las armaduras. Se minimizan, pues, los riesgos de la ejecución y se asegura la calidad especificada. Se minimizan también otras tendencias de alto riesgo, como por ejemplo la adición de agua a la obra para mejorar su fluidez (sinceramente, a veces comprensible cuando se trabaja con hormigones de consistencia blanda).

Así pues, es el ingeniero quien tiene que dar el pistoletazo de salida a la consolidación de los hormigones fluidos. Lo más curioso de todo es que el mercado lleva ya años pidiendo este cambio de tendencia. Que sirvan para la reflexión los datos de la actual tendencia en Europa, donde sólo en España e Inglaterra el hormigón de consistencia

blanda es el mayoritario, mientras que en todos los demás países los hormigones mayoritarios son los de consistencia fluida e incluso la resucitada líquida.

EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

El desarrollo tecnológico, sin embargo, no se ha frenado con los hormigones fluidos. Con la clara intención de asegurar la calidad y durabilidad de las estructuras, y perfectamente enmarcado dentro de las demandas actuales en cuanto a prestaciones, eficiencia productiva, rentabilidad económica y seguridad en el lugar de trabajo, se va consolidando progresivamente el uso de los hormigones autocompactantes en nuestro país.

El hormigón autocompactante es un tipo de hormigón capaz de fluir libremente dentro del encofrado y a través del armado, de tal manera que se autoconsolida por la simple acción de su propio peso y no necesita ningún tipo de compactación externa para asegurar una buena compactación y un perfecto recubrimiento de las armaduras, sin producirse ningún fenómeno relacionado con la segregación del árido grueso y la pérdida de homogeneidad del hormigón. El hormigón autocompactante, pues, se trata de un hormigón de muy elevada fluidez y con unas altas prestaciones mecánicas, que no necesita ser vibrado para ser colocado en obra y cumplir sus propiedades estructurales.

De esta manera, se elimina por completo la dependencia entre calidad y durabilidad de la estructura y la eficiencia de la ejecución del hormigón. Se elimina también por completo la tentación de adicionar agua a la obra, porque la consistencia del hormigón autocompactante permite en todo momento (por la simple condición de autocompactabilidad) una cómoda y rápida ejecución.

El hormigón autocompactante es pues el único hormigón que puede garantizar al prescriptor la plena correlación de propiedades entre el proyecto y la realidad.

EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE DENTRO DEL MARCO ACTUAL DE LA CONSTRUCCIÓN

Desde el año 2000 el hormigón autocompactante ha sido promocionado en nuestro país como un hormigón de futuro, con grandes posibilidades y ventajas tanto para el ingeniero, el constructor y el usuario final. Sin duda, el principal freno que se ha encontrado la introducción de este nuevo y revolucionario hormigón ha sido la ausencia de normalización, tanto para el propio material como para sus métodos de ensayo y control.

Afortunadamente, cabe destacar que este impedimento quedará resuelto brevemente. Ya se han normalizado los métodos de ensayo, como normas UNE, y es más que probable que en la futura revisión de la instrucción EHE aparezca un anexo para el hormigón autocompactante, similar al actual para el hormigón de alta resistencia. Este hecho abrirá por completo las puertas del mercado actual al hormigón autocompactante, y ya será cuestión del compromiso de cada prescriptor con la calidad y la durabilidad introducir este nuevo producto y reducir todas las dependencias asociadas con la ejecución y las prestaciones finales (y reales), o seguir con el hormigón de consistencia blanda, asumiendo todos los riesgos que implica.

Sin duda, el hormigón autocompactante debe entenderse como una firme mejora para la calidad de las estructuras, y no sólo por lo que se ha expuesto relacionado con la ejecución. Debido a los condicionantes en el diseño de estos hormigones para alcanzar la capacidad de autocompactabilidad, en que debe limitarse la cantidad de agua y aportar un mínimo contenido de finos (entre ellos, el cemento), el hormigón autocompactante se fabrica siempre con menores relaciones agua/cemento que el hormigón de consistencia blanda, ajustándose siempre a las demandas de la EHE relacionadas con la máxima relación agua/cemento y con la mínima cantidad de cemento exigida según el tipo de exposición. De esta manera, los requisitos de durabilidad ya se cumplen permanentemente de forma intrínseca.

Pero el hormigón autocompactante no solamente ofrece ventajas

para el constructor (permitiendo una construcción más rápida, económica y con menos riesgos) y para el prescriptor (asegurándole las prestaciones exigidas independientemente de la eficiencia de la puesta en obra). El entorno sale muy beneficiado de un hormigón que no necesita vibración. La eliminación de los ruidos relacionados con el uso de vibradores representa un alto valor añadido en el caso de construcciones en zonas urbanas, reduciendo la contaminación acústica. Al mismo tiempo, y por el mismo motivo, mejoran las condiciones de trabajo en la obra y se reduce el riesgo de lesiones producidas por el manejo de vibradores (este hecho es especialmente valorado en el caso del sector del hormigón prefabricado). Y si añadimos que en general el hormigón autocompactante permite reducir el tiempo de ejecución, además de la evidente ventaja económica, representa reducir el tiempo de obra y por tanto reducir las molestias causadas a la población (cortes de calles, desvíos provisionales, etc.).

CONCLUSIONES

El hormigón autocompactante ya es una realidad en nuestro mercado, y se espera su plena consolidación una vez se haya resuelto su enmarque dentro de la normativa.

Si bien es totalmente cierto que el hormigón autocompactante es la mejor solución para el caso de ejecuciones complejas (con alta densidad de armadura, con dificultad de accesos, por formas complejas, etc.), sería un error pensar que este producto no tiene cabida dentro de las aplicaciones más convencionales (forjados, pilares, pavimentos, etc.).

Si bien en el caso de aplicaciones complejas la máxima aportación del hormigón autocompactante consiste en resolver un problema previsible de calidad y durabilidad con el mínimo esfuerzo, para las aplicaciones convencionales representa un notable incremento de prestaciones y una posibilidad de reducir costes de ejecución.

Es cierto que el coste del hormigón autocompactante es superior al coste del hormigón ordinario, pero gracias al ahorro conseguido reduciendo el tiempo de aplicación y optimizando la mano de obra requerida, en prácticamente el 100% de los casos, trabajar con hormigón autocompactante resulta globalmente más económico y rápido que con hormigón convencional de consistencia blanda.

No es necesario insistir en el papel clave que desarrollan los ingenieros que redactan proyectos para que este hormigón se convierta en una realidad, al igual que sus ventajas tanto de calidad y durabilidad, eficiencia en producción y entorno de trabajo. En ellos comienza el camino para consolidar las nuevas tendencias y tecnologías que, en este caso, el mercado pide y necesita.

PERE BORRALLERAS MAS

Director Técnico Degussa Construction Chemicals España S.A.
Admixture Systems

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS SOBRE HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE (ver pág. 26)

INTRODUCCIÓN

El hormigón autocompactante o autocompactable (HAC) viene experimentando un cierto crecimiento en su empleo, si bien en cierta medida limitado para las posibilidades que el mismo permite. Las razones pueden ser de diverso tipo, si bien una principal es que el planteamiento de estos hormigones se ha hecho desde el punto de vista del material, sin hacer énfasis en los cambios de tipo estructural a los que conduce su composición.

Asimismo es importante tener en cuenta que la dosificación de estos hormigones no es resultado de una extrapolación de experiencias, sino que debe ajustarse a las características propias de la puesta en obra. El **objetivo** del presente artículo es hacer una reflexión sobre este tipo de hormigones desde el punto de vista de la práctica, en

aras de facilitar un mejor entendimiento de su comportamiento y, consecuentemente, un incremento de su empleo.

UNA FORMA ALTERNATIVA DE VERLO

Más que prolongar el debate sobre la definición de hormigón auto-compactable, o más recientemente autocompactante, conviene ver que es lo principal que percibe un usuario en la puesta en obra del mismo. Esta percepción es de una alta prestación tanto en cuanto a la trabajabilidad (traducido en un valor elevado del cono de Abrams), como de la cohesividad interna (no segregación). En consecuencia, ésta es la recomendación práctica de cómo entenderlo y así evitar perderse en verlo como un hormigón especial.

Sobre la trabajabilidad hay que actuar, principalmente, en la propia dosificación (aspectos físicos) consiguiendo un esqueleto granular equilibrado en sí mismo y un contenido de finos que permita desplazar fácilmente la masa de hormigón fresco; mientras que en la cohesividad, el factor principal, es la parte química de la dosificación, requiriéndose el apoyo de unos aditivos de última generación. Tanto para un tema como para otro hay suficiente capacidad de respuesta técnica, por lo que una primera conclusión es que este tipo de hormigones son, hoy en día, totalmente posibles en la práctica.

BASES TEÓRICAS DE LA DOSIFICACIÓN

Si bien un mayor detalle de este punto puede verse en [1], conviene hacer unos comentarios sobre algunos de los aspectos más físicos de las dosificaciones. Un primer comentario es la importancia que tienen los áridos (tanto tipo como curvas granulométricas) en los resultados. La tendencia frecuente de que una mala composición de áridos se resuelve con más cemento puede verse próximamente penalizada desde el punto de vista medioambiental. En definitiva, actuemos primero sobre los áridos.

Respecto al *contenido de áridos gruesos* en una dosificación bicomponente (arena y gravilla) es usual tener una máxima compacidad en el entorno del 50% de cada uno de los componentes, tal como puede verse en la figura 1 (ver *pág. 26 —Influencia de la relación arena/gravilla en el contenido de vacíos—*), lo cual no parece razonable si se tiene en cuenta el sistema de puesta en obra. En esta figura, dado que la zona de valle es extensa, permite hacer políticas en función del sistema de transporte de la masa del hormigón fresco. Así, si se hace mediante bombeo, el porcentaje de arena aumentará para facilitar el transporte. En los HAC que se coloquen mediante bombeo hay que tender a reducir el porcentaje de gruesos a favor de las arenas, sólo por esta razón.

Por otro lado, si se plantea el transporte del hormigón con esos dos componentes, hay un talud natural (ángulo de cohesión interna de los áridos) que lógicamente no debe sobrepasarse en la proporción de áridos, ya que de lo contrario no será estable durante el transporte. Esto da luz a un tema poco tratado, y es que dicho ángulo varía con la temperatura, por lo que hay que profundizar en este tema y hablar de dosificaciones de verano (requiere un aumento de finos) y dosificaciones de invierno.

La relación arena/gravilla (en peso) se recomienda que se sitúe entorno al 1,25, si bien habrá que acabar de ajustar experimentalmente en función de las características de los áridos, dado que no se puede hacer una extrapolación general.

En cuanto al *contenido de finos*, los cuales tienen una función importante en la trabajabilidad de una mezcla, una primera cuestión es qué se entiende por finos en este tipo de hormigones. En nuestra opinión hay que considerar los conglomerantes que se utilicen (cemento, cenizas o microsílíce), el filler y la porción de la arena que pase por el tamiz 200.

La recomendación es utilizar un contenido total de finos de 550 kg/m³ ± 5%. Ahora bien, si se quiere conseguir un hormigón de la gama baja de resistencias tendremos que ir al mínimo de conglomerante con un papel importante del filler (este tema puede comportar en la práctica algunas dificultades para disponer del filler adecuado),

mientras que si se quiere conseguir un hormigón de alta resistencia tendremos que ir a una dosificación alta de conglomerante (sin que probablemente requiera del filler).

La tendencia de utilizar dosificaciones con mayor porcentaje de arena (lo que implica un pequeño aumento del porcentaje de vacíos), por un lado, y el aumento de finos, por otro, implica que estas dosificaciones tienen que tener un contenido de pasta mayor que un hormigón convencional, tanto para llenar los vacíos como para facilitar la trabajabilidad. Este se puede situar en el entorno del 35 % de acuerdo con AFGC [2]. Ello incide en las propiedades mecánicas de estos hormigones, si bien cuando se comparan pueden quedar sus efectos enmascarados en cierta medida por los parámetros de diseño de la mezcla de hormigón convencional.

Respecto al *tamaño máximo del árido*, siguiendo el criterio de esqueleto granular en forma piramidal, el tamaño máximo puede ser algo mayor al usual de empleo de sólo dos tamaños arena y gravilla (12 mm). Con este planteamiento es posible utilizar un tamaño algo superior, si bien la cantidad de la proporción de tamaño máximo debe ser pequeña, acorde con los criterios señalados.

CONSTRUCCIÓN

¿Qué tipo de central se puede emplear?

Si bien es preferible una central amasadora, no impide emplear una central dosificadora y un posterior amasado en el camión hormigonera. En ambos casos hay que tener presente que el tiempo de amasado aumenta. Asimismo hay que tener presente el tipo de hormigón especificado, esto es, para un hormigón de la gama alta de resistencia se requiere una central amasadora.

¿Qué sistema de puesta en obra se debe emplear?

Con respecto a este punto no hay diferencias con los sistemas empleados en los hormigones convencionales. Así, si el volumen de hormigón lo justifica se pueden *emplear bombas*, dada la alta trabajabilidad y contenido de finos. En la foto 1 (ver *pág. 28 —Empleo de bombas para la colocación del hormigón—*) puede verse el empleo de distintas bombas en el llenado de una viga pretensada del nuevo edificio del Ayuntamiento de Mollet.

En la citada foto 1 se observa que la boca de entrada del hormigón a los encofrados no era por la parte superior sino por puntos bajos o intermedios en altura de los mismos. Ello responde, por un lado, a la dificultad de un vertido superior dadas las altas cuantías de armadura, tanto pasiva como activa, tal como puede verse en la foto 2 (ver *pág. 28 —Cuantías de armadura que justifican el empleo de estos hormigones—*) y, por otro lado, en el afán de evitar la formación de coqueas u otro tipo de defecto superficial.

Ahora bien, la solución no es única y, si el volumen de hormigón a colocar no es elevado, lo cual no justifica el empleo de bomba, puede utilizarse el cubilote tradicional, si bien con algunas consideraciones especiales, en concreto, cuando se trate de aplicaciones de alto contenido estético. En la foto 3 (ver *pág. 28 —Vertido del hormigón mediante cubilote—*) puede verse uno de los cubilotes empleados en las obras de la Ciudad de la Justicia de Barcelona y Hospitalet. El mismo tiene adosado una manguera que se introduce en el encofrado entre las armaduras. Con ello se pretende, por un lado, evitar temas de segregación guante el vertido y, por otro lado, evitar salpicaduras que pudiesen afectar a los acabados. Una variante de ello es la protección parcial del encofrado superior durante el hormigonado de la parte inferior del mismo.

Estos hormigones, al tener un contenido de pasta superior al usual, son muy sensibles a los efectos de contacto con el encofrado, pudiendo dejar huellas en los mismos, si se producen modificaciones en el desencofrado que se haya dispuesto, tal como puede verse en la foto 4 (ver *pág. 28 —Huella del talud natural del hormigón—*).

Una ventaja de la alta cohesividad de estos hormigones es que permite su puesta en obra bajo el agua, tal como puede verse en la

foto 5 (ver pág. 29 —Vertido del hormigón bajo el agua—), correspondiente a una obra del puerto de Badalona, en la que una vez en seco se aprecia, asimismo el ángulo de talud natural (ver foto 6 pág. 29 —Huella del talud natural—).

¿Está permitido vibrar en alguna ocasión?

Si la aplicación es sobre un elemento prefabricado, la respuesta debe ser negativa y, asimismo negativa, como regla general, en elementos hormigonados *in situ*. Ahora bien, entiendo que a pesar de las dificultades de regular este tema, si es posible que alguien con experiencia se pueda plantear una pequeña vibración externa (no interna) a través del encofrado para evitar algunos problemas locales en zonas altas de encofrados, habiendo analizado el tipo de dosificación utilizado y la cinética de reacción de la misma. Esta afirmación, poco académica, por lo que se ponen suficientes matices, no debe descartarse en la práctica si eso ayuda a resolver ciertos problemas, por ejemplo, posibles fisuras de asentamiento plástico.

Energía potencial del vertido

Un tema ya apuntado es que conviene no hacer que el hormigón haga grandes recorridos en los que existen pérdidas de energía potencial, esto es, siempre que se pueda hay que minimizar los mismos ya que sino habrá que actuar más sobre el material. Por ello se pueden habilitar varios puntos de vertido en función de cómo es el tipo de elemento y el armado del mismo. A este respecto hay que señalar que los ensayos que se utilizan para caracterizar están pensados más para el material que para la puesta en obra. El ensayo simple de extensión de flujo puede ser un ensayo que da una gran información para la obra.

Otro factor a tener en cuenta es que el empuje activo de estos hormigones sobre el encofrado es mayor que en los hormigones convencionales. En la foto 7 (ver pág. 29 —Vertido en un muro de hormigón autocompactable con fibras—) se muestra el hormigonado de un muro de hormigón autocompactable con fibras, donde puede apreciarse que no existe armadura alguna. Una extrapolación de los puntales habituales a este muro dio lugar a un pequeño incidente que, posteriormente subsanado (aumento de la estructura soporte), ha permitido la construcción de un muro de gran longitud.

Curado y otros factores

Estos hormigones tienen una difusión lenta de la humedad del interior hacia la superficie. Ello invita a pensar que los tiempos de curado deben ser como mínimo los establecidos para hormigones convencionales, pudiendo ser conveniente aumentar ese tiempo.

Otro factor a considerar es que la elevada cantidad de pasta de estos hormigones los hace más sensibles a problemas de asentamiento plástico, lo que puede dar lugar a fisuras por debajo de algunas armaduras si éstas se sitúan en un plano que produzca estrangulamientos de la sección.

¿Varían las propiedades estructurales de estos hormigones?

Sin entrar a cuantificar estas variaciones, las cuales pueden verse en diferentes documentos [3], hay que tener presente que al ver el hormigón como un problema de mezclas, cuanto más pasta tenga, las propiedades asociadas a esta propiedad vendrán más afectadas. Entre ellas puede encontrarse el módulo de deformación (el cual puede verse reducido en un 10% respecto a un hormigón convencional de la misma resistencia), la resistencia a cortante, por disminución del efecto engranamiento, las modificaciones en cuanto a la adherencia (aunque en este caso existen efectos contrapuestos, que conduzcan a una pequeña variación), el aumento de la retracción y la fluencia, etc.

CONCLUSIONES

Como conclusión principal cabe señalar que, aunque la instrucción EHE aún no contempla estos hormigones, existe un amplio conoci-

miento para abordar estructuras con este tipo de hormigones, con muy bajo riesgo y, probablemente, un alto valor añadido, en especial en algunas aplicaciones.

Si se opta por la opción de su utilización, ayuda a entender estos hormigones verlos como hormigones de alta trabajabilidad (conseguida principalmente por aspectos físicos de la dosificación) y alta cohesividad interna (conseguida principalmente por la química asociada a la dosificación).

El mayor contenido de pasta de estos hormigones incide en diversos condicionantes de puesta en obra y en las propiedades estructurales de los mismos.

AGRADECIMIENTOS

A Domènec Masó (PROMSA) por sus enseñanzas y las fotos 1, 2, 5 y 6 mostradas en este artículo. A Pere Alavedra y al despacho B720 por la oportunidad de participar en obras pioneras y singulares de hormigón autocompactable.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. C. P. DOS SANTOS, A. AGUADO, L. AGULLÓ y T. GARCÍA. *Criterios de diseño para el hormigón autocompactable*. IX Congreso Nacional de Materiales. Vigo 20 a 22 de junio de 2006. ISBN: 84-8158-323-5. Vol. II pp.: 909-912
- [2] AFGC *Betons Auto-Plaçants: Recommandations Provisoires*. Association Française de Génie Civil, 63 p. 2000
- [3] A. AGUADO. *El hormigón autocompactable: Introducción general*. Texto Conferencia Jornada sobre Hormigón Autocompactable. ETSICCP.UPC. Barcelona 2 diciembre 2003. IECA y ANEFHOP.

ANTONIO AGUADO DE CEA

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Catedrático de Estructuras de Hormigón. ETSICCP-UPC. Barcelona

LA REGULACIÓN DE LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS SEGÚN EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE) (ver pág. 31)

La intensidad del reconocimiento del terreno y el consiguiente contenido de los estudios geotécnicos para la cimentación de estructuras de edificación no ha sido hasta el momento objeto de regulación. A pesar de ello, sí que ha habido diversas referencias sobre esta temática:

- La norma NTE CGE-1975 trata sobre cómo determinar las características del terreno para luego poder hacer uso de las NTE de cimentaciones. En esta norma se diferencian cuatro categorías de campañas de reconocimiento en base a las características del terreno, el tipo de edificación proyectado y la existencia de patologías en construcciones próximas. Para cada una de las campañas se definen el número, la profundidad y la situación de los puntos de reconocimiento. Además, también para cada una, se indican las técnicas de reconocimiento, el número y tipo de muestras a extraer y de los ensayos *in situ* y de laboratorio que hay que llevar a cabo.
- Las directrices existentes en el capítulo VIII Presiones en el terreno de cimentación de la norma NBE-AE-88 Acciones en la edificación, donde se pide hacer las prospecciones necesarias en todas las capas que pueden asentar como consecuencia de la obra.
- Las indicaciones adaptadas por Rodríguez Ortiz et al (1986) en el capítulo 1 del Curso Aplicado de Cimentaciones, aunque sin carácter normativo. Éstas tratan detalladamente del alcance del reconocimiento del terreno, ya sea con prospecciones en el campo o con ensayos de laboratorio, y de los aspectos principales del informe geotécnico.
- El Eurocódigo 7 Proyecto Geotécnico-Parte-1: Reglas Generales (1999), establece de forma muy general tres categorías para los proyectos geotécnicos. Éstas están vinculadas a la importancia de

la edificación y para cada una se dan directrices en relación a la intensidad del estudio a realizar del terreno.

- Además de las citadas, son referencias los Pliegos de Condiciones y Normas de las Administraciones contratantes de proyectos y estudios geotécnicos. En este sentido cabe destacar las *Guías para la planificación de estudios geotécnicos de la Comunidad Valenciana (2000) y de la Región de Murcia*.

De las referencias citadas, sólo la norma NBE-AE-88 es de obligado cumplimiento en todas partes. Sin embargo, la escasez y ambigüedad de las indicaciones no han comportado la más mínima regulación sobre los estudios del terreno. Por su parte, la NTE CEG-1975, que sí es más explícita en esta temática, tiene un carácter de solución y criterio técnico homologado por la Administración, pero sin obligatoriedad. Por tanto, tampoco esta última norma ha comportado una mejora en esta temática.

Con el Código Técnico recientemente aprobado, el alcance del reconocimiento del terreno y el consiguiente estudio geotécnico deben ajustarse de forma obligatoria a las directrices que emanan de esta nueva norma y que figuran en el capítulo 3 del Documento Básico Seguridad Estructural: Cimientos (DB SE-C). En esta norma, el estudio geotécnico se define como el compendio de la información cuantificada de las características del terreno necesarias para proceder al análisis y dimensionado de los cimientos de un edificio. Estas características se determinarán mediante una serie de actividades que en su conjunto se denominan como reconocimiento del terreno y cuyos resultados se reflejarán en el llamado estudio geotécnico.

RECONOCIMIENTO DEL TERRENO

De acuerdo con la nueva regulación, su intensidad y alcance dependerán del tipo y extensión de la construcción (edificio y conjunto de edificios de una misma promoción) y de la complejidad del terreno.

TIPO	DESCRIPCIÓN
C-0	Construcciones de menos de 4 plantas y superficie construida inferior a 300 m ²
C-1	Otras construcciones de menos de 4 plantas
C-2	Construcciones de 4 y 10 plantas
C-3	Construcciones entre 11 y 20 plantas
C-4	Conjuntos monumentales o singulares, o de más de 20 plantas

*En el número de plantas se incluyen los sótanos

Tabla 1. Tipo de construcción.

TIPO	DESCRIPCIÓN
T-1	Terrenos favorables: Aquellos de poca variabilidad y en los que se suele cimentar de forma directa con elementos aislados.
T-2	Terrenos intermedios: Aquellos que son variables, o en que no se recurre a la misma solución para la cimentación o en que puede haber rellenos de un cierto grosor aunque no superior a los 3 m.
T-3	Terrenos desfavorables: Los que no responden a las características anteriores. Hay que poner énfasis en los suelos expansivos, colapsables, blandos o sueltos, terrenos cársticos, rellenos antrópicos con grosores superiores a 3 m, zonas susceptibles a deslizamientos, rocas volcánicas con cavidades, terrenos con pendientes superiores a los 15 grados, suelos residuales y marismas.

Tabla 2. Grupo de terreno.

Estos aspectos quedan catalogados en las siguientes tablas y condicionan el tipo y número de puntos de prospección y de los ensayos *in situ* y de laboratorio.

En cualquiera de las situaciones posibles se define como tres el mínimo de puntos de prospección. Este número es interesante y responde de hecho a que son necesarios tres puntos para definir la disposición de una capa. Con el mínimo indicado, el número de puntos de reconocimiento vendrá condicionado por las distancias máximas que hay que dejar entre éstos, que están relacionadas con los aspectos indicados en las tablas anteriores. Para terrenos favorables e intermedios, ésta será de unos 30 a 35 m para los edificios más habituales (C-0 y C-1) y se va reduciendo de forma progresiva hasta los 17 a 20 m para construcciones singulares (C-4). En caso de que las distancias excedan las dimensiones de la superficie edificable, se reducirán de forma que los puntos se emplacen dentro del perímetro de interés. También la profundidad de las prospecciones es un factor que se regula de forma concreta, aunque, a diferencia de las distancias, sí que hay variaciones importantes en función de la complejidad del terreno. Así, para edificios de menos de cuatro plantas (C-0 y C-1) ésta es de 6 m (contados por debajo de la rasante del terreno excavado) en terrenos favorables y de 18 m en los intermedios. Para el resto de construcciones (C-2, C-3 y C-4), las profundidades indicadas para las zonas de categoría 1 (12, 14 y 16 m) tienen que ser prácticamente duplicadas para terrenos T-2 (25, 30 y 35 m). En cualquier caso, la profundidad debe garantizar que se ha alcanzado una cota por debajo de la cual el terreno no experimentará asentamientos apreciables, se haya llegado ya o no a una capa resistente. En el último caso habrá que comprobar su continuidad en un tramo equivalente a 2 m más 0,30 m para cada una de las plantas del edificio.

Respecto a las técnicas en el reconocimiento del terreno, se indica el mínimo de puntos que hay que efectuar mediante sondeo, que es de 1 a 3 para las construcciones C-1 a C-4 y para terrenos favorables a intermedios. Con el mínimo indicado, los puntos de prospección restantes se pueden sustituir en parte por pruebas de penetración. Otra temática a la que se hace referencia en esta reciente normativa es la de la determinación de los parámetros geotécnicos. Se considera que ésta se podrá efectuar a partir de ensayos de laboratorio, pero también con pruebas *in situ* y con las oportunas correlaciones. El número de determinaciones se considera que debe ser el adecuado para que la cuantificación sea fiable. A título orientativo y para una superficie de estudio de hasta 2.000 m² se indican las determinaciones a hacer para cada una de las capas geotécnicas que puede verse afectada por la cimentación. En la mejor de las situaciones, terrenos T-1 y edificios C-1 o C-2, hay que realizar para cada capa 3 ensayos de identificación (granulometría y plasticidad), de 3 a 4 determinaciones de deformabilidad, de 4 a 5 de resistencia a la compresión simple, 3 de resistencia al corte y 3 de sales agresivas. La identificación y las sales se resuelven con ensayos de laboratorio y los parámetros de deformación y resistencia también pueden deducirse con ensayos *in situ*. El número de determinaciones indicado tendría que incrementar en un 50% más para terrenos intermedios y un 50% adicional para construcciones tipo C-3 y C-4.

A los ensayos indicados hay que añadir la analítica del agua para determinar su agresividad al hormigón. De esta hay que realizar analíticas en un mínimo del 50% de los sondeos.

Toda la regulación indicada hasta el momento hace referencia a terrenos favorables (T1) o intermedios (T2). En el caso de ser problemáticos (T3) la programación del reconocimiento de campo no queda definida, aunque nunca será de una magnitud inferior a la establecida por un terreno T2. En estos casos se harán los puntos de reconocimiento y las determinaciones necesarias para definir adecuadamente las características del terreno.

EL ESTUDIO GEOTÉCNICO

Constará de una memoria principal y una serie de anexos, y su al-

cance y detalle dependerán del nivel de reconocimiento del terreno efectuado. En cuanto a la memoria, ésta comprenderá un apartado de datos previos (antecedentes, datos del proyecto y del emplazamiento), uno de caracterización del terreno, uno de soluciones a la cimentación y uno de resumen. En este último se recogerán las conclusiones y posibles recomendaciones constructivas, de forma que a partir de las mismas se puedan adaptar las soluciones más indicadas para la realización del proyecto que ha motivado el estudio. Se aportarán todos aquellos valores necesarios para el análisis y dimensionado de los cimientos, los elementos de contención y movimientos de tierras. También aquí se hará referencia a la posible necesidad de realizar reconocimientos complementarios o comprobaciones en fases posteriores, antes del inicio o durante la obra, para contrarrestar las deficiencias que se hayan detectado en este sentido. En relación a los anexos, los habrá de la información previa, de la situación y topografía del solar, de las actividades del campo, de los ensayos de laboratorio y de los cálculos justificativos.

CONCLUSIONES

Con la regulación indicada sobre la intensidad del reconocimiento del terreno y en el contenido del estudio geotécnico el nuevo Código técnico garantiza un mínimo de calidad de los trabajos. El hecho de tener que satisfacer por norma unas determinadas actuaciones en función de criterios sencillos y estándares, como el tipo de construcción y la calidad del terreno, hará que los estudios aporten justamente los datos que en cada caso son necesarios para la redacción del proyecto.

Las exigencias que aporta la nueva norma están orientadas a hacer una mejor caracterización del terreno. Cabe destacar el número y profundidad de los puntos de reconocimiento, la obligatoriedad de hacer de 1 a 3 sondeos como mínimo en la mayoría de casos y las determinaciones a realizar en cada una de las capas de interés para la cimentación al efecto de cuantificar parámetros y propiedades de tipo geotécnico. En este último aspecto se hace manifiesta la necesidad de realizar ensayos *in situ* y de laboratorio, que se llevan a cabo en centros que, como la empresa Cecam, están acreditados por la Administración a tal efecto.

Por tanto, desaparecerán del sector una gran cantidad de estudios realizados única y exclusivamente con pruebas de penetración dinámica continua que hasta ahora se consideraban válidos. Esta técnica de reconocimiento del terreno pasa a ser complementaria en la mayoría de casos.

En consecuencia, a las empresas que hasta ahora ya estaban aplicando en sus estudios gran parte de las nuevas exigencias del nuevo Código técnico, si no todas, para proporcionar trabajos fiables y de alta calidad les será fácil adaptarse al CTE.

Para cerrar el ciclo de mejora de la calidad sólo hará falta que en los decretos pertinentes de las administraciones competentes (Comunidades Autónomas) se contemple la obligatoriedad de que para los trabajos de campo y de laboratorio se requieran las acreditaciones previstas.

BIBLIOGRAFÍA

- Acondicionamiento del terreno. Cimentaciones-Serie normativas-NTE Normas Tecnológicas de la Edificación. Ministerio de Fomento. Octava impresión (1995).
- Norma Básica de la Edificación. NBE-AE-88 Acciones en la Edificación. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (1988).
- Curso Aplicado de Cimentaciones. J. Ortiz, J. Serra y Carlos Oteo. Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (1995).
- Eurocódigo 7 Proyecto Geotécnico Parte 1: Reglas Generales. AENOR 1999
- Guía para la planificación de estudios geotécnicos. Instituto Valenciano de la Construcción (2000)
- Guía para la planificación de estudios geotécnicos en la Región

de Murcia. Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio. Boletín Oficial de la Región de Murcia nº 255-03/11/2001.

IGNASI CAPELLÀ

Doctor en Ciencias Geológicas

Director técnico de la División de Geotecnia y Geología de Cecam

ALBERT PUJADES

Licenciado en Ciencias Geológicas

Director de la División de Geotecnia y Geología de Cecam

INDICADORES BIOLÓGICOS, UNA BUENA HERRAMIENTA PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LOS SISTEMAS ACUÁTICOS (ver pág. 34)

RESUMEN

Este artículo resume las particularidades que presenta el estudio del índice biológico (indicadores biológicos) en las diferentes masas de agua frente a otros estudios más físico-químicos que se venían realizando últimamente. Dado que la Directiva Marco del Agua (Directiva Europea 2000/60/CE) obliga a los estados a mejorar el estado ecológico de los diferentes ecosistemas y presentar informes, se está replanteando cómo se estudia y se evalúa este "estado ecológico" para poder presentar estos informes y también poder incidir en su mejora.

Los ecosistemas a estudiar dentro de la DMA son ríos, embalses, lagos y zonas húmedas. Recientemente, la Agencia Catalana del Agua ha presentado unos protocolos para la evaluación del estado ecológico donde se resume la experiencia de diferentes investigadores en este ámbito.

Actualmente se está pidiendo a empresas que vierten en estas masas de agua que realicen un estudio con indicadores biológicos del impacto de sus vertidos en el sistema. Dentro del área medioambiental de Cecam hemos formado un grupo de expertos en este estudio a fin de poder dar soluciones a estas necesidades.

ANTECEDENTES

La Directiva Marco del Agua (Directiva Europea 2000/60/CE, en adelante DMA), con el concepto de estado ecológico que introduce, supone una nueva manera de entender los sistemas acuáticos, en los que el agua se ve no sólo como recurso para la humanidad, sino también como cuna de todo un ecosistema.

El estado ecológico es una expresión de la calidad de los ecosistemas acuáticos que se basa en su estructura y funcionamiento. El buen estado ecológico será aquél en que los elementos biológicos del sistema estén muy poco alterados respecto al que habría en condiciones no alteradas. Ello repercute tanto en las comunidades biológicas bien estructuradas como en aquellas condiciones hidromorfológicas y físico-químicas que lo hacen posible.

La Agencia Catalana del Agua, en el marco de la DMA, está definiendo unos protocolos para unificar el estudio del estado biológico de las distintas masas de agua a lo largo de todo el territorio. El objetivo es mejorar el estado ecológico de los diferentes ecosistemas y mejorar su gestión en base a los indicadores biológicos.

Se entiende por indicador biológico a la presencia de determinado organismo que nos informa del estado de salud del medio acuático donde se desarrolla su ciclo vital. Estos organismos presentan cierta sensibilidad a la contaminación y a la alteración del medio: es por este motivo que se denominan **indicadores biológicos** y con su estudio se establecen unos índices biológicos.

Los índices biológicos son una herramienta para medir la calidad del medio acuático basada en los organismos indicadores que viven en él. Según la sensibilidad de cada organismo a la contaminación, el *índice biológico* le asigna un valor, y la suma de valores de la comunidad da el resultado final del índice. Este resultado le atribuye unas clases que definen el estado (aguas limpias, muy limpias, sucias,...)

de la masa de agua en este punto. La diferencia fundamental entre los índices biológicos y el resto de indicadores basados en parámetros físico-químicos reside en el hecho que los organismos representan el registro de la historia ecológica reciente del ambiente.

ESTUDIO DEL ESTADO ECOLÓGICO DE LOS RÍOS

Los ríos y torrentes del territorio catalán, y el estatal también, han sido estudiados desde la vertiente universitaria en aquellas zonas que por su particularidad han hecho el estudio suficientemente interesante. Eso hace que no se tengan resultados de todos los ríos, torrentes,... a fin de poder establecer el estado ecológico de los mismos. Hay que realizar un esfuerzo para conocer y evaluar todos los ríos y torrentes del territorio.

En Cataluña se han definido 12 tipos fluviales en función de las características geográficas y físico-químicas de cada tramo, que engloban tanto ríos que se secan gran parte del año, como ríos con aportaciones anuales superiores a 5000 hm³.

Según la DMA, la calidad biológica de los ríos debe evaluarse utilizando los siguientes indicadores:

1. Composición y abundancia de la flora acuática (diatomeas bentónicas)

2. Composición y abundancia de la fauna bentónica de invertebrados (macroinvertebrados)

3. Composición, abundancia y estructura de edades de la fauna piscícola (peces)

Las diatomeas bentónicas representan más del 80% de las especies totales, pero presentan una gran diversidad de grupos taxonómicos. Otras características de las diatomeas son su pequeño tamaño y una elevada tasa de reproducción. Estas comunidades responden sensible y rápidamente a los cambios en su medio.

Los macroinvertebrados presentan ventajas por ser organismos abundantes en nuestros ríos, relativamente fáciles de identificar, más o menos cómodos de recolectar y fáciles de ver.

La Junta de Saneamiento, junto con el CSIC de Blanes, ha desarrollado un índice adaptado y conocido por las siglas BMWPC. Este índice da la puntuación a 131 familias de macroinvertebrados que son utilizables como indicadores, de acuerdo con la correspondiente sensibilidad a la contaminación. La suma de los valores de todas las familias identificadas da el valor final del índice que nos permite clasificar los puntos de control en 5 clases, cada una de las cuales se corresponde con un determinado nivel diferente de calidad ecológica de las aguas.

Para poder realizar este estudio hace falta un equipamiento que incluye aparatos portátiles para medir características físico-químicas del agua como conductímetro, medidor de Ph, oxímetro,..., aparatos para localizar el punto de muestreo (GPS, cámara fotográfica) y aparatos para capturar los organismos (redes, Surber, pinzas,...)

La clasificación según el índice BMWPC es la siguiente:

CLASE	COLOR	ÍNDICE BMWPC	AGUAS
I	azul	>85	Muy limpias
II	verde	51-84	Limpias
III	amarillo	31-50	Eutrofizadas con signos de contaminación
IV	naranja	11-30	Parcialmente contaminadas
V	rojo	<10	Muy contaminadas

Los peces son los únicos vertebrados que la DMA requiere para evaluar la calidad biológica de los ríos. Su vida exclusiva dentro del agua los convierte en buenos indicadores, ya que responden bien a los cambios ambientales tanto físicos como químicos. De la co-

munidad piscícola se pide la densidad total, el número de especies autóctonas, porcentaje de estas especies en relación a las especies introducidas, distinguir las especies de alimentación insectívora, las tolerantes como el barbo común, que son las últimas comunidades en desaparecer de los lugares alterados.

ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LOS EMBALSES

Los embalses se consideran ríos fuertemente modificados. Los embalses se clasifican en 6 categorías en función de la situación geográfica (altitud, distancia al mar,...), las características de la cuenca (tamaño, geología,...) y las características físico-químicas.

Para cada tipología se ha definido un embalse tipo que se utiliza para comparar los demás. Así, por ejemplo:

– **Grupo I.** Embalses situados por encima de 815 m de altitud con un volumen superior a 20 Hm, el embalse de referencia es el de Escales.

– **Grupo II.** Embalses situados por encima de 815 m de altitud con un volumen inferior a 20 Hm, el embalse de referencia es el de Santa Fe del Montseny.

– **Grupo VI.** Embalses situados por debajo de 815 m, a más de 25 km de la costa, con más de 40 ppm de cloruros, y una cuenca inferior a 10 000 Ha: Embalses de Sau y Susqueda.

–

Los indicadores biológicos que permiten evaluar el estado ecológico de los embalses son:

1. Composición, abundancia y biomasa de fitoplancton (Concentración de clorofila y de cianófitos).

2. Composición, abundancia y estructura de las comunidades piscícolas (% anomalías, CPUE –capturas por unidad de esfuerzo- de carpas litorales, CPUE de carpas limnéticas y sus porcentajes relativos).

Los parámetros físico-químicos a evaluar son:

1. Transparencia (profundidad del disco de Secchi)

2. Condiciones de oxigenación (% de oxígeno hipolimnético)

3. Concentración de nutrientes (principalmente fósforo total)

El potencial ecológico de los embalses catalanes se evalúa aplicando el IPE (Índice de Potencial Ecológico) y éste se compara con el valor del IPE del embalse de referencia.

ESTUDIO DEL ESTADO ECOLÓGICO DE LOS LAGOS

La DMA define los lagos como “masas de agua superficiales quietas”, y establece una medida de 50 Ha para su caracterización. En base a ello se han clasificado como lagos aquellas masas de agua de más de 0,5 ha de superficie situados o bien a más de 800 m sobre el nivel del mar, o por debajo de esta cota si tienen una profundidad superior a 6 m.

Los pantanos someros se han clasificado como zonas húmedas (Agencia Catalana del Agua, 2006).

El estado ecológico se obtiene corrigiendo los valores obtenidos con los indicadores biológicos por los elementos hidromorfológicos o características físico-químicas:

ESTUDIO DEL ESTADO ECOLÓGICO DE LAS ZONAS HÚMEDAS

Según la DMA se entiende por zona húmeda aquellas masas de agua

Nivel de calidad según los indicadores biológicos	Estado ecológico del lago
Muy bueno	Bueno
Bueno	Mediocre
Mediocre	Mediocre
Deficiente	Deficiente
Malo	Malo

que presentan una profundidad inferior a 6 m y se encuentran a una altitud inferior a 800 m si es un pantano, o aquellos sistemas cercanos a la desembocadura de los ríos, parcialmente salinos debido a la influencia marina pero con importantes aportaciones de agua dulce. Las zonas salinas han sido tipificadas en función de la conductividad media, el origen de la salinidad y la temporalidad en 4 tipos:

- sistemas salobres – dulces permanentes y semipermanentes
- sistemas salobres – dulces temporales
- sistemas talassohalinos
- sistemas atalassohalinos

Los elementos en el estudio del estado ecológico de la zona húmeda son:

Biológicos (invertebrados, vegetación emergente, vegetación hidrofílica y fauna autóctona); elementos físico-químicos (aspecto del agua) y elementos hidromorfológicos (morfología del litoral, hidrología y usos) para finalmente dar valor al índice ECELS que se compara con el valor de este índice para un sistema de referencia de los diferentes tipos de zonas húmedas.

CONCLUSIONES

Para poder determinar el estado ecológico de los diferentes sistemas hay que tener conocimientos tanto de la parte físico-química, hidromorfológica y biológica. Esta peculiaridad obliga a tener un conocimiento pluridisciplinar a la vez que a realizar el estudio que genera un importante esfuerzo de formación.

La determinación de los índices biológicos permite tener un registro de la historia ecológica reciente del ambiente acuático. En función del indicador biológico elegido, la información que se obtiene es diferente. Así, la información de cambio en la población de diatomeas (con una elevada tasa de reproducción) o las variaciones en la población de peces (ciclo biológico más largo) dan información a diferentes niveles de la evolución en la calidad del ecosistema.

En los ríos y torrentes, el índice biológico más empleado es el que comporta el estudio de macroinvertebrados acuáticos, el llamado BMWPC, que se ha adaptado para dar una mejor respuesta a los ecosistemas mediterráneos. Éste es el estudio que mayoritariamente se realiza para conocer la evolución del estado ecológico de un ecosistema fluvial.

BIBLIOGRAFÍA

- Benito de Santos G y MA Puig García (1999) BMWPC un índice biológico para calidad de las aguas. Tecnología del Agua, 191: 43-56
- Agencia Catalana del Agua (2006) Protocolos de evaluación del estado ecológico de ríos, embalses, zonas húmedas y lagos.

Dra. IMMA PIBERNAT VALÉS

Doctora en Biología

Directora del Área Agroalimentaria de 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
 ot@cecamlab.com
 qualitat@cecamlab.com
 quimica@cecamlab.com
 quimica.construccio@cecamlab.com
 residus@cecamlab.com
 rrhh@cecamlab.com
 seguretat@cecamlab.com
 terres.agricoles@cecamlab.com
 vilamalla@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

Vilamallà
Pol. Ind. Pont del Príncep,
sect. I, parc, 28
17469 Vilamallà
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