

## Hormigoi armatuzko egiturak berritzean, zer da prestazio baxuko hormigoia?

*(Rehabilitation of reinforced concrete structures: what is low-grade concrete?)*

Ignacio Marcos<sup>1\*</sup>, Pello Larrinaga<sup>1</sup>, Iratxe Larrieta-Sedano<sup>1</sup>, Idoia Arribas-García<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Euskal Herriko Unibertsitatea (EHU), Bilboko Ingeniaritza Eskola, Bilbao, Bizkaia

<sup>2</sup> TECNALIA, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Derio, Bizkaia

**LABURPENA:** Etxebizitza-krisiak eta jasagarritasunaren inguruko gizartearen kezka lehenik dauden eraikinak birgaitzeko beharra areagotu dute, haien egiturak barne. Testuinguru honetan, hormigoi armatua izan da azken mendean gehien erabili den eraikuntza-materiala. Gaur egun, ordea, haren kontserbazio-egoerak eta egungo araudi-eskakizunek egiturak maiz birgaitzeko eta indartzeko beharra dakarte. Ondorioz, hormigoi armatuzko egiturak indartzeko sistema berriak ikertzen ari dira, nahiz eta askotan jatorrizko materialaren propietate mugatuak ez diren behar bezala kontuan hartzen. Artikulu honen helburua da patenteetan oinarritutako lehen sistemetatik gaur egunera arte hormigoiaren portaera definitzen duten parametro nagusiak berrikustea, Euskal Autonomia Erkidegoko birgaitze kasu-azterketetan identifikatutako propietateekin erlazionatzea eta prestazio baxuko hormigoiaren definizio bat proposatzea.

**GAKO-HITZAK:** prestazio baxuko hormigoia, iraunkortasuna, patente-sistemak, esposizio-ingurunea

**ABSTRACT:** The housing crisis and growing social concern about sustainability have increased the need to rehabilitate existing buildings, including their structures. Reinforced concrete has been the predominant construction material used over the last century. Its state of conservation, together with current regulatory requirements, frequently necessitates structural rehabilitation and strengthening. New strengthening systems for reinforced concrete structures continue to be investigated, although the limited properties of the original material are often not adequately considered. This article aims to review some of the main parameters that define the behaviour of concrete since the early patent-based systems, relate them to the properties observed in case studies in the Basque Country, and propose a definition of low-performance concrete.

**KEYWORDS:** low grade concrete, durability, proprietary systems, environmental exposure

1

**\*Harremanetan jartzeko/ Corresponding author:** Ignacio Marcos Rodríguez, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), Sarriena auzoa, z/g (48091 Leioa-Euskal Herria).  <https://orcid.org/0000-0003-2419-5204>, ignacio.marcos@ehu.eus

**Nola aipatu / How to cite:** Marcos, Ignacio; Larrinaga, Peio; Larrieta-Sedano, Iratxe; Arribas-García, Idoia. (2026). "Hormigoi armatuzko egiturak berritzean, zer da prestazio baxuko hormigoia?", Ekaia, 50, xx-xx. (<https://doi.org/10.1387/ekaia.28697>)

Jasoa: ekainak 15, 2026; Onartua: uztailak 22, 2026

ISSN 0214-9001-eISSN 2444-3225 / © 2026 UPV/EHU



Obra Creative Commons Atribución 4.0 Internacional-en lizentziapean dago

## 1. SARRERA

Gaur egun, gizartearen etxebizitza-eskaera handia da. Eskaera hori ezin da eraikin berriak eraikiz ase, hainbat arrazoiengatik; besteak beste, eraikuntza-denborak, kostu ekonomiko eta ingurumen-kostuak, lurzoruaren gehiegizko kontsumoak eta eskulangile kualifikatuen eskasiak direla eta. Joan den mendeko 80ko edo 90eko hamarkadetara arte garatutako hiri-bilbeek gabezia handiak dituzte, bai haien energia-eraginkortasunari dagokionez, bai, eraikin zaharren kasuan egitura-sendotasunarekin eta -segurtasunarekin lotutako alderdietan ere, egituren iraunkortasunarekin erlazionatutako arazoak barne.

Egiturak indartzeko tekniketan ikerketa zabala egin da, birgaitze-prozesuetan erabiltzeko helburuz. Indartze-sistema horietako batzuk ez daude bereziki diseinatuta portaera mekaniko txarra duten hormigoi-egituretarako. Hormigoi horiek normalean erresistentzia txikiko edo prestazio txikiko hormigoi gisa izendatzen dira. Nolabaiteko antzintasuna duten egituren prestazioa aztertzen duen literatura zabala da [1–6]; azterketa horiek heterogeneoak dira eta beti eremu geografiko zehatz batzuekin lotuta daude. Hala ere, literaturan ez da izendapen hori modu esplizituan jorratzen; ondorioz, haren esanahiari buruzko irizpidea nahiko zehaztugabea da.

Artikulu honek prestazio baxuko hormigoiaren ezaugarri komunak bi ikuspegitik zehazten ditu: (i) XX. mendearen hasieran lehen araudiek jasotako ezaugarri mekaniko eta iraunkortasun-ezaugarriak identifikatuz; eta (ii) 50 urtetik gorako eraikin zein eraikuntzei buruzko propietate mekanikoak eta iraunkortasuna zehazteko hainbat ikerketetan bildutako datuak aztertuz.

## 2. HORMIGOI ARMATUA: JATORRIAK ETA ARAU-GARAPENA

Hormigoi armatua Espainian XIX. eta XX. mendeen arteko mende-aldaketan sartu zen, batez ere Frantziatik zetozen patente eta erreferentzia teknikoen eraginpean. Hala ere, araudiaren garapena askoz motelagoa izan zen inguruko beste herrialde batzuekin alderatuta. 1903tik 1910era bitartean Suitzak, Prusiak, Frantziak, Italiak, Erresuma Batuak eta Estatu Batuek araudi espezifikoak izan zituzten bitartean, Espainian hormigoi armatuzko egituren proiektuaren eta egikaritzaren estandarizazio orokorrak atzerapen nabarmena izan zuen. Izan ere, XX. mendearen lehen hamarkadetan, Espainiako teknikari askok atzerriko araudietan (bereziki frantziar eta alemaniarretan) oinarritzen jarraitu zuten beren kalkuluak eta egikaritze-irizpideak finkatzeko. Herri Lan Ministerioaren menpeko lanetarako irismen orokorreko Espainiako lehen jarraibidea ez zen onartu 1939ko otsailaren 3ra arte; agindua otsailaren 16ko Estatuko Aldizkari Ofizialean argitaratu zen, eta haren bidez Hormigoizko Obren Proiektu eta Egikaritzarako Instrukzioa ezarri zen [7].

Aitzitik, data horren aurretik hainbat araudi-aurrekari garrantzitsu egon ziren. Lehen urrats instituzionaletako bat, 1903ko abenduaren 1ean argitaratutako Errege Agindu baten bidez, batzorde bat sortzea izan zen, kare hidraulikoak eta herrialdean bertan ekoizturiko zementuak herri lanetan aplikatzeko aztertzeaz arduratuko zena. Ondoren, ingeniari militarrek “zementu armatuari” buruzko lehen testu espezifikoa sustatu zituzten, besteak beste, 1912ko Zementu Armatuaren Erabilerarako Arauzko Jarraibideak, Armadako Ingeniarien Materialen Laborategiak idatzitakoak [8]. Historiografia teknikoak arlo horretako Espainiako lehen araudi espezifikotzat kontsideratzen du, nahiz eta esparru militarra soilik mugatuta egon.

Esparru zibilean, 1917ko ekainaren 1eko Errege Dekretuak batzorde bat sortu zuen, herri-lan mota guztiei aplikatu beharreko jarraibide baten oinarriak idazteko [9]; bertan, José Eugenio Ribera, Juan Manuel de Zafra eta Domingo Mendizábal bezalako adituak kide gisa izendatu zituen [10]. Ondoren, aglomeratzaile hidraulikoen harrerari buruzko baldintza-agiriak argitaratu ziren, baita masa-hormigoiari zein hormigoi armatuari aplikatzeko baldintza fakultatiboak ere.

Beraz, 1939ko araudiaren aurretik ere bazegoen hormigoi armatuaren materialei, saiakuntzei eta erabilerari buruzko arauzko ekimenen multzo sakabanatu baina esanguratsu bat, nahiz eta oraindik ez zegoen Europako beste herrialde batzuetakoaren pareko sistematizazio orokorrik.

Alde handiz, hormigoi armatua da mendebaldeko munduko eraikuntza-materialik ohikoena, eta garrantzi kalkulaezina du egungo gizartean. Ez da beste inongo eraikuntza-materialik erabiltzen horrelako kopuruetan, eta ez dago zantzurik laster hormigoiarekin lehiatuko den material alternatiborik egongo denik, bolumenari dagokionez bakarrik bada ere. Hormigoiaren eta altzairuaren (lehenengoa harri artifiziala eta bigarrena metalikoa) arteko konbinazioaren emaitza, alderdi askotan, eraikuntzaren zientzian iraultza suposatu zuen material ezin hobea da. XIX. mendearen amaierara arte, harri naturala eta zura ziren, zalantzarik gabe, material nagusiak. Hala ere, erabiltzen hasi eta hamarkada gutxi batzuetara, funtsezko material bihurtu zen, eta ehunka urtez erabilitako eraikuntza-teknikak aldatu zituen.

## **2.1. Hormigoi armatuaren asmakuntza eta lehen urteak: patente-sistema**

Hormigoi armatua, material gehienak bezala, pixkanaka-pixkanaka garatuz joan da denborarekin. Edozein araudi ezarri aurretik, egituren diseinua patente-sistema bati lotuta zegoen. Patente bat, funtsean, teknologia eta teknika berriak erabiltzen dituzten asmakuntzei edo aurkikuntzei ematen zaien monopolio eskusibo bat da. Lehen patentea, 1854koa, William Wilkinsonen burdinazko hagaxka-

sistemari egozten zaio, “etxebizitzak, biltegiak eta beste eraikin batzuk suaren aurka hobeto eraikitzeko” [11]. Hurrengo hamarkadetan, beste teknikari eta asmatzaile batzuek sistema berriak garatu eta patentatu zituzten, bai Europan, bai Estatu Batuetan; hau da, hormigoi armatuaren garapen tekniko eta zientifikoko bi gune nagusietan.

Mendebaldeko Europan, Josep Monier hormigoi armatuaren asmatzailetzat har daiteke. Aipagarria da lorezain honek, 1867an, bere sistema “Nekazaritza, okintza eta errotaritza” atalean patentatu izana [12]. Hormigoi armatuaren lehen etapak intuizioan oinarritutako eraikuntza-sistemak sortzeari lotuta daude, ezagutza zientifikoari baino gehiago. Asmakizunaren eta eraikuntza-sistema berriak bultzatzen zituztenen izaeraren ikuspegi bikoitzetik begiratuta (gehienak industrialak ziren, hala nola Monier, Wilkinson, Coignet, etab.), asmatutako sistemak babesteak berebiziko garrantzia hartu zuen asmakizuna ekonomikoki ustiatzeko. Patenteen aroa XIX. mendearen azken herenetik XX. mendearen lehen hamarkadara bitartean koka daitekeela estimatzen da, eta Lehen Mundu Gerrarekin erabat gainditutzat jo daiteke.

Espainiako kasuan, hormigoi armatua Frantziaren eraginez iritsi zen, eta material horrekin egindako lehen eraikuntza 1893ko ur-biltegi bat izan zen. Egilea Francisco Macía izan zen, Monier patentea Espainian ustiatzeko eskubideak erosi zituen [13,14]. XIX. mendearen amaierarako, bazeuden osorik hormigoi armatuz egindako eraikinak; horien artean, Bilboko La Ceres irin-fabrika nabarmentzen da, 1898koa [15]. Beharbada, hormigoi armatuaren erabilera orokortzeko prozesuan José Eugenio Ribera izan zen protagonistarik nabarmenena, Hennebique sistemaren ustiapen-kontzesionario gisa hasi baitzen. Sistema hori, La Ceres fabrika eraikita zegoen sistema bera izan zen, ziurrenik, mundu osoan zabalkunderik handiena izan zuena, eta haren presentzia Euskal Herrian nabarmena da. Sistema horrekin Bilbon eraikitako beste obra batzuk dira Arratiako tranbiaren zubi zaharra, Harino Panadera irin-fabrika eta Euskalduna ontziolako dike lehorren ponpa-etxea. Horiekin batera, Europako beste herrialde batzuetatik etorritako patente ugari ere bazeuden, batez ere Mendebaldeko Europatik, baita teknikari eta asmatzaile espainiarrenak ere. XX. mendearen lehen hamarkadan bereziki aktiboa izan zen beste enpresa bat “Sestaoko Konpainia” izan zen. Enpresa horrek, adibidez, Bilboko Alondegia zaharra eraiki zuen jatorri frantseseko Blanc patentea erabiliz.

Egiturazko patente desberdinen formulazioak antzeko ikuspegia izan ohi du: patentatutako objektua modu orokor eta laburrean deskribatzen da, eta, batez ere, dokumentazio grafikora jotzen da proposatutako soluzioak azaltzeko. Eraikuntza-sistema bakoitzaren azalpena, oro har, oso sintetikoa da eta armaduren antolaera zehaztera mugatzen da, egituraren kontzepzioa eta funtzionamendua ulertzeko

funtsezko alderdiak garatu gabe, hala nola dimentsioak, alanbre, zumitz eta barren sekzioak, dosifikazioak edo erabilitako materialen ezaugarriak. Horregatik, kalkulu- edo dimentsionatzearizpideei buruzko informazioa lortzeko, iturri osagarrietara jo behar da; normalean, ingeniartzako edo arkitekturako profesionalen zuzendutako dokumentazio teknikora, kalkuluak justifikatzeko beharra sortu ahala zabaltzen hasi zena.

Patenteen sistemaren gainbeherak funtsezko hainbat alderditan du jatorria: i) egituren diseinu- eta kalkulu-irizpideen gardentasunik eza, asmatzaile gehienek euren ezagutza-gabezia handia ezkutatzeko erabiltzen zutena; ii) patente-sistemarekin eraikitako egituretan gertatutako istripu-segidan (hala nola Bernan, Milanen edo Parisen [16]), egituren segurtasuna bermatzeko gaitasun teknikoa zalantzan jarri baitzuten; eta iii) patente bakoitza erabiltzeak zekartzen kanon edo ordainsarrietan, Riberaren ustez egitura osoaren kostuaren %20raino irits zitezkeenak.

Mende-aldaketaren inguruan, bazegoen jada hormigoi armatuari buruzko ikerketa multzo garrantzitsu bat. Horrek, patente-sistemen opakutasun-sentsazioari eta ezagutza zientifiko-teknikoaren gabeziari gehituta, material berri horrekin garatutako egituren segurtasuna bermatzeko eskakizuna sortu zuen. Europako hainbat herrialdetan eta Ameriketako Estatu Batuetan, XX. mendeko lehen hamarkadan, hainbat araudi onartzen hasi ziren, hormigoiaren eta haren osagaien propietateak zein aplikatu beharreko kalkulu-irizpideak arautzeko. Aldi batez, formulazio zientifikoak eta sistema patentatuei zegozkien formulazio esperimentalak elkarrekin bizi izan ziren. Azken horietako batzuk publiko egin ziren enpresak euren sistemen kalkuluak justifikatzera behartuta ikusi zirenean. Lehen arauen artean aipa daitezke Suitzakoak (1903 eta 1909), Prusiakoak (1904 eta 1907), Italiakoa (1907), Estatubatuarra (1908) edo Frantziako zirkularra (1906). Patenteak ustiatzen zituzten enpresa batzuek emandako azalpen horietatik abiatuta, euren kalkuluak egiteko erabilitako ezaugarrietako batzuk finka daitezke; betiere formulazio “esperimentalen” pean eta armaduretan altzairu leuna erabiliz [17]:

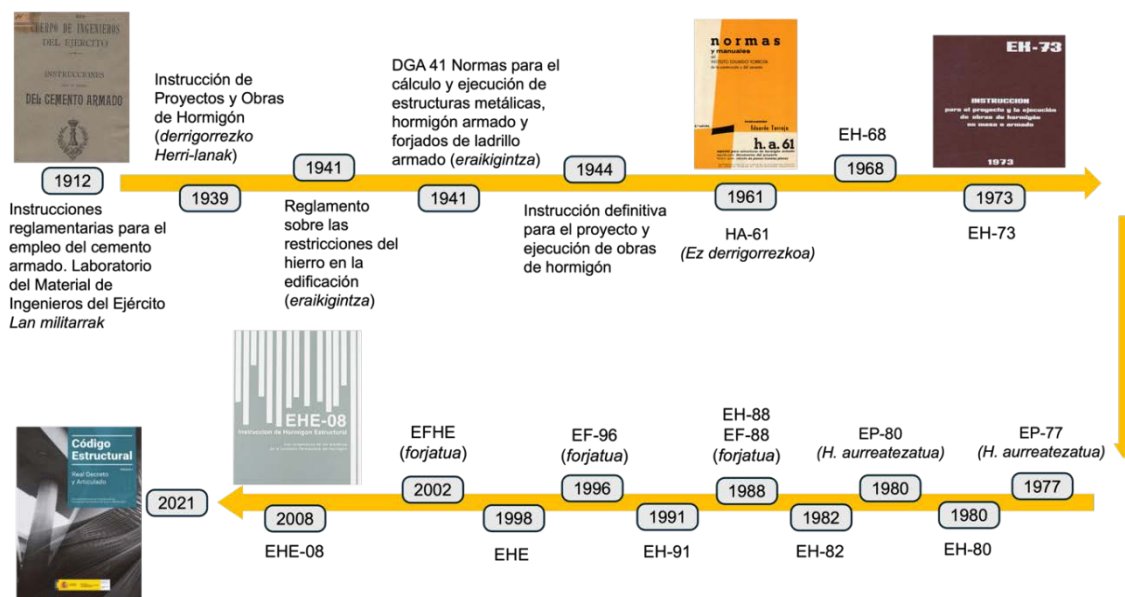
- Hormigoiaren kalkulu-tentsioa. Hennebique: 2,5 MPa; Blanc:  $2,0 \div 4,0$  MPa
- Altzairuaren kalkulu-tentsioa. Hennebique:  $120 \div 150$  MPa; Blanc: 120 MPa

## **2.2. Hormigoi armatuari buruzko araudiak Espainian: sekuentzia historikoa eta propietate nagusiak**

Tradizionalki, 1939ko “Hormigoizko proiektu eta obren instrukzioa” jo izan da esparru horretako Espainiako lehen arautzat, nahiz eta lehendik 1912ko arau militarra existitu; azken hau, batez ere, Prusiako eta Frantziako araudietan oinarrituta zegoen. Patenteen garaia gainditu ondoren eta 1939ko

instrukziora arte, teknikariek frantses eta alemaniar jatorriko araudietan oinarritzen zituzten bereziki euren egituren kalkuluak.

Zementu-edukiak eta ur/zementu erlazioak eragin nabarmena dauka hormigoia konpresioarekiko erresistentzian eta iraunkortasunean; batetik, zementu-eduki handiak armaturari ematen dion babes kimikoagatik, eta, bestetik, ur-eduki handiek eragiten duten porositate-hazkundeagatik, horrek kanpoko agente erasokorrak sartzea ahalbidetzen duen sare kapilarra errazten baitu. Horregatik, bi parametro horiek gutxieneko eta gehieneko balioak dituzte, hurrenez hurren, eta arau-esparruaren bilakaerarekin batera eboluzionatu dute. Kalitate txikiko hormigoia definitzeko duten garrantzia dela eta, parametro horietako batzuen bilakaera aztertu da, baita garrantzitsuak diren beste batzuk ere, hala nola altzairuan eta hormigoian onar daitezkeen gutxieneko erresistentziak edota estaldura-lodierak. Aztertutako aldia jatorritik gaur egunera artekoa da, eta arreta handiagoa jartzen zaie arau zaharrenei; izan ere, horiek daude erresistentzia txikiagoko eta iraunkortasun apalagoko hormigoiegoerekin lotuta. 1. irudiak egiturazko hormigoiarekin lotutako araudien denbora-lerroa erakusten du, 1912tik gaur egunera arte.



## 1. Irudia. Espainian egiturazko hormigoari buruzko araudien denbora-lerroa (norberak egina)

1968ko instrukzioak segurtasun-koefiziente partzialak ezarri arte, lehen araudiek tentsio onargarrien bidezko kalkulua erabiltzen zuten. Ordura arte, akzioek ez zuten inolako maioraziorik. Segurtasuna, soilik, hormigoia eta altzairuaren propietateen minorazioari egozten zitzaion. Denbora-lerroan Eduardo Torroja Institutuko HA61 araua sartu da [18]; testu hori ez zen nahitaezkoa, baina EH-

68aren aurrekaria izan zen. Dokumentu horrek teknikarientzako orientabide gisa balio izan zuen, eta kalkulu-sistema tentsio onargarrietatik muga-egoeretara aldatu zuen (“erresistentzia-agortzearen eta agortze funtzionalaren muga-egoerak”).

#### 2.2.1. Zementu armatua erabiltzeko arauzko jarraibideak (1912)

Dosifikazioa definitzeko, patenteetan ohikoa zen sistema erabiltzen da: zementua pisuan zehazten da, eta agregakinak, berriz, bolumenean neurtzen dira. Ez du ur-edukiari buruzko inongo gomendiorik jasotzen.

Hormigoia erresistentziak zementu-edukiaren arabera ezartzen dira eta beraien balioak 10 MPa (300 kg zementu/m<sup>3</sup>) eta 14 MPa (400 kg zementu/m<sup>3</sup>) artean daude. Kalkulu-tentsioak (“lan-koefizienteak”) 2,5 eta 3,5 MPa artekoak dira, patentatutako sistemen gomendioekin bat etorriz. Altzairuen kalkulu-tentsioak 90 eta 120 MPa bitarteko tartean daude.

#### 2.2.2. Hormigoizko Proiektu eta Obren Instrukzioa (1939). Hormigoizko Obren Proiektu Eta Egikaritzarako Behin Betiko Instrukzioa (1944)

Obra zibilen arloan nahitaezko instrukzioa izan arren, 1939ko Instrukzioa [7] erreferentzia gisa erabili zen hormigoi armatuzko egituren kalkuluan, 1944koarekin [19] ordezkatu zen arte; azken horrek ez zuen berrikuntza esanguratsurik ekarri aztertutako alderdietan. 1. taulan jarraibide horren dosifikazioak jasotzen dira, eta garai hartan fabrikatzen ziren hormigoien konpresioarekiko erresistentzia txikiak direla nabarmentzen dira.

**1. taula** Erreduzko dosifikazioak eta erresistentziak 1939ko Instrukzioan; ondoriozko ur/zementu (U/Z) erlazioak

| <b>Zementua<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Ura<br/>(l)</b> | <b>Konpresioarekiko<br/>erresistentzia (MPa)</b> | <b>U/Z<br/>erlazioa</b> |
|----------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------|-------------------------|
| <b>400</b>                             | 200                | 17                                               | 0,50                    |
| <b>375</b>                             | 200                | 15                                               | 0,53                    |
| <b>360</b>                             | 220                | 12                                               | 0,61                    |
| <b>300</b>                             | 220                | 9                                                | 0,73                    |
| <b>250</b>                             | 220                | 6                                                | 0,88                    |
| <b>200</b>                             | 250                | 3                                                | 1,25                    |

Altzairu gozo eta leunen propietate nagusiak 2. taulan laburbiltzen dira. Tentsio onargarriak lortzeko, materialen jatorrizko propietateak minoratuz egiten dira: 3ko koefizientearen bidez hormigoiaren kasuan, eta 2koarekin altzairuarenean

**2. taula** Altzairu leunen ezaugarri mekanikoak 1939ko Instrukzioan

| <b>Gutxieneko muga elastikoa<br/>(MPa)</b> | <b>Azken tentsioa<br/>(MPa)</b> | <b>Gutxieneko deformazioa<br/>(%)</b> |
|--------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| <b>240</b>                                 | 360                             | 18                                    |
| <b>360</b>                                 | 540                             | 20                                    |

Bestalde, estaldura-lodierak 10 mm-ko balioaren edo diametro baten arteko txikiena izatea ezartzen da, eta 30 mm-ra mugatzen da hezetasun- edo sute-arriskua dagoenean.

2.2.3. *Eraikuntzan burdinaren erabilerari ezarritako murrizketei buruzko erregelamendua (1941). Egitura metalikoak, hormigoi armatua eta adreilu armatuzko forjatuak kalkulatzeko eta gauzatzeko arauak (Arkitekturako Zuzendaritza Nagusia, 1941)*

Azpiegituren eta ondasun suntsiketak, eskasiak, nazioarteko isolamenduak eta Estatuaren esku-hartze gogorrak gerraosteko Espainiako ekonomia baldintzatu zuten. Berrogeiko hamarkadan autarkia nagusitu zen: prezioen kontrola, arrazionamendua, inportazioen murrizketak eta industria nahiz nekazaritza ekoizpen eskasak eman ziren. Lehengai, energia eta kapital faltak berreraikuntza zaildu eta hazkundera moteldu zuen [20]. Testuinguru horretan, eraikuntza eta industria altzairu, zementu eta bestelako baliabide faltara egokitu behar izan ziren. Horrek irtenbide ekonomikoak, materialen aurrezpena eta eraikuntza-metodo alternatiboak bultzatzea ekarri zuen. Horren ondorioz, 1941ean “eraikuntzan burdina erabiltzeko murrizketei” buruzko Dekretua [21,22] onartu zen. Dekretu hori berariazko erregelamendu baten bidez garatu zen [22], eta Arkitekturako Zuzendaritza Nagusiaren araudiarekin osatu zen, metalezko egiturak, hormigoi armatua eta adreiluzko forjatuak kalkulatzeko. Azpimarragarriena altzairuzko eraikuntza-teknikak hormigoi armatuzko sistemekin ordezkatzeko izan zen. Horrez gain, proiektuak gainbegiratzeko eta obrak ikuskatzeko irizpideak ezarri ziren, aurrezteko dekretutik eratorritako araudia eta arauak betetzen direla ziurtatzeko.

Maila teknikoan, Erregelamenduak zehaztaperen urriak ditu hormigoi armaturako: pilareen gehieneko armadura-kantitateak mugatzen ditu eta gutxieneko 120 MPa-ko tentsioak ezartzen ditu armadurentzat. Hala ere, Arkitekturako Zuzendaritza Nagusiaren arauak [23] mugak ezarri zizkien “erresistentzia-koefizientei” (tentsio onargarriari), erabilitako zementuaren erresistentziaren eta egitura-elementuen funtzioaren arabera (xehetasunak 3. taulan jasotzen dira).

**3. taula.** 1941eko hormigoiaren tentsio onargarriak, egitura-elementuaren eta zementuaren arabera

|                  | <b>Zementuaren<br/>erresistentzia<br/>(MPa)</b> | <b>Kokapena</b>                                   | <b>Tentsio<br/>onargarriak<br/>(MPa)</b> |
|------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Zutabeak</b>  | $\geq 12$ (arrunta)                             | Orokorra eta azken 3 solairuak                    | 3,5                                      |
|                  |                                                 | Estalkitik zenbatutako 4. solairua                | 4,0                                      |
|                  |                                                 | Estalkitik zenbatutako 5. eta ondorengo solairuak | 4,5                                      |
|                  | $\geq 16$                                       | Orokorra eta azken 3 solairuak                    | 5,5                                      |
|                  |                                                 | Estalkitik zenbatutako 4. solairua                | 6,0                                      |
|                  |                                                 | Estalkitik zenbatutako 5. eta ondorengo solairuak | 6,5                                      |
| <b>Makurdura</b> | $\geq 12$                                       | -                                                 | 4,0                                      |
|                  | $\geq 16$                                       | -                                                 | 5,0                                      |

Estatuak lehengaien kontrola eta banaketa bereganatu zituen, eta horrek material horien merkatu beltza [20] zein proiektu eta obra guztien fiskalizazioa ekarri zituen. Zalantzarik gabe, egoera horrek praktikan erresistentzia oso apaleko eta armadura oso eskaseko hormigoiak erabiltzea eragin zuen.

#### 2.2.4. Masa-hormigoizko edo hormigoi armaturako obrak proiektatzeko eta gauzatzeko EH-68 jarraibidea (1968)

Arau hau garapen ekonomiko betean onartu zen, materialen hornidura-baldintzak ordurako normalizatuagoak zirenean. EH-68 arauak [24] hainbat berrikuntza ekarri zituen nahitaez bete beharreko araudira. Lehenik eta behin, haren aplikazioa ingeniaritza zibilaren esparru hutsetik harago zabaldu zen. Era berean, “haustura-egoerako” kalkulua barneratu zen, tentsio onargarrien bidezko kalkuluek sistematikoki aldatuz, H-61 arauan ezarritakoari jarraituz.

Halaber, magnitude karakteristikoen kontzeptuak eta segurtasun-koefiziente partzialak sartu ziren, ekintzetarako (1,5) eta materialetarako (1,10 altzairuarentzat eta 1,5 hormigoiarentzat). Jarraibidean altzairu korrugatua ere jaso zen, bai gogortasun naturalekoa bai hotzean deformatutakoa, 1960ko hamarkadan erabiltzen hasi zena. Altzairuak ez ziren tipifikatzen; hala ere, gutxieneko muga elastikoa ezin zen 360 MPa baino txikiagoa izan.

Hormigoi armatuan onartutako gutxieneko erresistentzia bereizgarria ( $f_{ck}$ ) 12 MPa-koa zen, material horren muga altzairuaren ezaugarrien arabera arautzen baitzen. Hori bete ezean, armaduraren tentsio txikiagoa hartu behar zen kontuan. Gutxi armatutako hormigoia zementu-kantitate minimoa ere finkatzen zen: onartutako gutxieneko edukia 200 kg/m<sup>3</sup>-koa zen, eta 250 kg/m<sup>3</sup>-ra igotzen zen ohiko hormigoi armatuaren kasuan. Gehienekoa 400 kg/m<sup>3</sup>-koa zen.

Zehaztasun handiagoz arautu ziren estaldurak: ingurune erasokorren eraginpean ez zeuden egituretan, estaldura 10 mm-koa zen gainazal babestuetan, eta 20 mm-koa higadura jasateko arriskua zegoenean edo urarekin nahiz kondentsazioekin kontaktuan egonez gero (bainugelak, sukaldeak eta abar), 1939ko arauan adierazitakoaren antzera. Nolanahi ere, estaldurak beti izan behar zuen gutxienez barraren diametroaren adinakoa. Ingurune kimikoki erasokorretan, estalduraren balioa proiektugileak zehaztu behar zuen. Preskripzio horiek, zementu-edukiari dagozkionekin batera, hurrengo jarraibidean ere mantendu ziren.

#### *2.2.5. Masa-hormigoizko edo hormigoi armatuzko obrak proiektatzeko eta gauzatzeko EH-73 jarraibidea (1973)*

EH-73 [25] jarraibideak aurrerapauso esanguratsua ekarri zuen Espainiako hormigoia normalizazio teknikoan, nazioarteko ikuspegiarekin bat eginik [26]. Obra gauzatzean materialaren kalitatea kontrolatzeko beharra sendotu zuen, proiektuko irizpideak soilik definitzeaz harago. Materialen (zementua, ura, agregakinak, hormigoia eta altzairua) kalitate-kontrolari zein lanen exekuzioari buruzko artikulua espezifikoak jaso zituen. Ikuspegi sistematikoago, egiaztagarriago eta saiakuntzetan oinarritutako baterantz aldatu zen, kalitate kontrolak ondorengo jarraibideetan izango zuen garrantzia aurreikusiz; horri esker, obran benetan erabilitako materialen ezaugarriak kontrolatzeko gaitasuna lortu zen.

Hormigoia gutxieneko erresistentzia karakteristikoa 12,5 MPa-koa ezarri zen, eta altzairuaren erresistentziaren arabera muga-baldintza mantendu zen. Altzairuei dagokienez, altzairu korrugatuak muga elastiko karakteristikoaren arabera tipifikatu ziren: 42, 46, 50 eta 60. Horietan guztietan, gogortasun naturaleko altzairuak eta hotzean luzatutako altzairuak bereizten ziren; azken horiek harikortasun txikiagoa zuten, hotzeko deformazio-prozesuaren ondorioz. Segurtasun-koefiziente partzialek ere aldaketa txikiak izan zituzten: 1,15 ezarri zen altzairuarentzat eta 1,6 ekintzetarako.

#### 2.2.6. Masa-hormigoizko edo hormigoi armatuzko obrak proiektatzeko eta gauzatzeko EH-80 eta EH-82 jarraibideak (1980 eta 1982)

EH-80 [27] araua EH-73 jarraibidearen berrikuspen zabala izan zen, eta hormigoi armatuaren formulazio sistematikoagoa dakar. Proiektuko erresistentziak H-12,5etik H-50era bitartean tipifikatu zituen, eta hormigoiaren gutxieneko erresistentzia zuzenean lotu zuen erabilitako altzairu motarekin; adibidez, gutxienez 12,5 MPa ezarri zen altzairu leunarentzat, eta 15, 17,5 eta 20 MPa, hurrenez hurren, 400, 500 eta 600 MPa-ko muga elastikoa zuten altzairuentzat. Estaldurari dagokionez, berrikuntza bakarra babestutako gainazaletako gutxieneko estaldura 10 mm-tik 15 mm-ra handitzea izan zen. Hala ere, zementu-edukiak aldatu gabe geratu ziren. EH-82 [28] ez zen jarraibide erabat berria izan, EH-80 arauaren aldaketa bat baizik, haren ikuspegi orokorra aldatu gabe.

#### 2.2.7. Masa-hormigoizko eta hormigoi armatuzko obrak proiektatzeko eta gauzatzeko EH-88 eta EH-91 jarraibideak (1988 eta 1991)

EH-88 jarraibideak [29] iraunkortasunaren ikuspegia hobetu zuen, ingurune-sailkapenaren arabera gutxieneko estaldura-lodierak handituz. Horretarako, ingurune hauek definitu zituen: I ingurunea (eraikinen barrualdeak edo hezetasun txikiko kanpoko inguruneak), II ingurunea (kanpoko ingurune ez-erasokorrak edo ur arruntekin edo lur arruntekin kontaktuan daudenak) eta III ingurune erasokorra (industria- edo itsas girokoak, edo lur erasokorrekin edo ur gazi zein apur bat azidoekin kontaktuan daudenak); oinarritzko balioak 20, 30 eta 40 mm-koak izatera igaro ziren, hurrenez hurren.

#### 4. taula U/Z erlazioaren eta zementu-edukiaren mugak (EH-88)

| Ingurunea                  | U/Z erlazioa maximoa | Gutxieneko zementu-edukia (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|----------------------|------------------------------------------------|
| <b>I</b>                   | 0,65                 | 250                                            |
| <b>II</b>                  | 0,60                 | 275                                            |
| <b>IIh</b>                 | 0,55                 | 300                                            |
| <b>IIf</b>                 | 0,50                 | 300                                            |
| <b>III</b>                 | 0,55                 | 300                                            |
| <b>IIIh</b>                | 0,50                 | 300                                            |
| <b>IIIf</b>                | 0,50                 | 325                                            |
| <b>Kimikoki erasokorra</b> | 0,50                 | 325                                            |

Iraunkortasun-arazoen ondorioz, zementu-edukia eta ur-zementu erlazioa esposizio-ingurunearekin lotu ziren esplizituki. Horrela, ur/zementu erlazioak eta zementuaren gutxieneko edukiak hormigoi armatuzko egituren iraunkortasunean duten eragina arautu zen; muga horiek 4. taulan azaltzen dira.

### 2.2.8. Egiturazko Hormigoiaaren Jarraibideak: EHE (1998), EHE-08 (2008) eta Egitura Kodea (2021)

Masa-hormigoizko eta hormigoi armatuzko elementuei buruzko EH jarraibideez gain, 1970eko hamarkadatik aurrera beste zehaztapen batzuk onartu ziren hormigoi aurreatezatuko egituretarako (EP-77 eta EP-80) baita forjatuetarako ere (EF-88, EF-96 eta 2002ko EFHE). EHE jarraibideak [30] arau-esparru bakar batean bateratu zituen hormigoi armatua eta aurreatezatua, Eurokode 2arekin bat datozen irizpideak barneratuz; integrazio osoa, berriz, EHE-08 arauarekin [31] iritsi zen.

EHEren planteamenduak hobekuntza nabarmena ekarri zuen egituren iraunkortasuna ziurtatzera bideratutako zehaztapenetan. Hala, esposizio-inguruneen sailkapen askoz zabalagoa eta xeheagoa ezarri zuen, eta horrek beste hainbat baldintza mugatu zituen: ur-zementu erlazio maximoa, zementuaren gutxieneko edukia, erresistentzia minimo bateragarria eta estaldurak. Oro har, parametro horiek zorrotzagoak bihurtu ziren, hormigoizko egituren narriaduraren aurreko segurtasuna handitzeko asmoz.

Jarraibide honek 25 MPa-ra igo zuen hormigoi armaturako gutxieneko erresistentzia. Armadurei dagokienez, barra leunak eta 600 MPa-ko barra korrugatuak baztertu zituen, eta bi mota ezarri zituen muga elastiko bakoitzerako: soldagarria (B400S eta B500S) eta harikortasun handiko soldagarria (B400SD). Dena dela, EHEaren indarraldian zehar B500SD altzairua ere merkaturatu zen, eta azken hori EHE-08 arauan jaso zen.

EHE-08 jarraibideak oinarritzko planteamendu bera mantendu zuen aztertutako alderdietan, baina egituraren zerbitzu-bizitzan zehar ikuskapen- eta mantentze-plan bat idazteko derrigortasuna gehitu zuen; era horretan, arreta handiagoa jarri zen hormigoizko egituren iraunkortasunean.

Egitura Kodeak [32] Eurokode 2a bere gain hartu arren, berezko araudiaren zati bati eutsi zion. Iraunkortasunaren ikuspegitik, eraikinak babesteko, konpontzeko eta indartzeko sistemei buruzko atal espezifikoak jaso ditu kode berriak.

### 2.2.9. Amaierako hausnarketak

Hormigoi armatuari buruzko arau-ibilbidea aztertu ondoren, ondorio hauek atera daitezke:

- Ia berrogeita hamar urtez, Espainiako hormigoi-egitura guztiak nahitaezko araudi espezifikorik gabe eraiki ziren, ez obra zibiletarako, ez eraikuntzarako. Eremu horretara zuzenean bideratutako lehen erregulazioa burdina aurrezteko dekretuak eragin zuen.

- Dekretu horrek, hain zuzen ere, agerian uzten du gerraosteko aldian eta 1950eko hamarkadara arte egindako eraikuntzak oso baldintzatuta egon zirela herrialdearen egoera sozioekonomikoagatik; egoera horrek eragin nabarmena eta kaltegarria izan zuen egituren kalitatean.
- EH-73 jarraibidea inflexio-puntua izan zen, obretan kalitate kontrol sistematikoak eta arautuak egiteko derrigortasuna ezarri baitzuen. Ordura arte, kontrol horien gabeziak egituren erresistentziarekin eta iraunkortasunarekin lotutako arazoak agertzea ahalbidetu zuen, hain zuzen ere.
- EH-88 arauak iraunkortasunari buruzko aginduak hobetu zituen, estaldura handiagoei, gehieneko ur-zementu (U/Z) erlazioei eta gutxieneko zementu-edukiei lotutako esposizio-ingurune desberdinak definituz. Ondoren, irizpide horiek zorrotasuna areagotu zuten EHE jarraibidean (1998); arau horrek nabarmen handitu zituen egiturazko iraunkortasunari buruzko eskakizunak, eta egiturazko hormigoiaren gutxieneko erresistentzia 25 MPa-ra igo zuen.

### **3. EGITURAZKO BIRGAITZE-KASUEN AZTERKETA**

Ebidentzia enpirikoak lortzeko helburuarekin, TECNALIAk garatutako hogeita hamar birgaitze-azterlan eta -proiektutan oinarritutako ikerketa bat egin zen. Kasu bakoitzerako, informazioa eskuragarri zegoen bakoitzean, lesioen eta egituren ezaugarrien analisian garrantzitsutzat jotako aldagaiei buruzko datuak bildu ziren. Laginean sartutako ia egitura guztiak Euskal Autonomia Erkidegoan daude, eta gehienak Bizkaiko lurralde historikoan kontzentratzen dira.

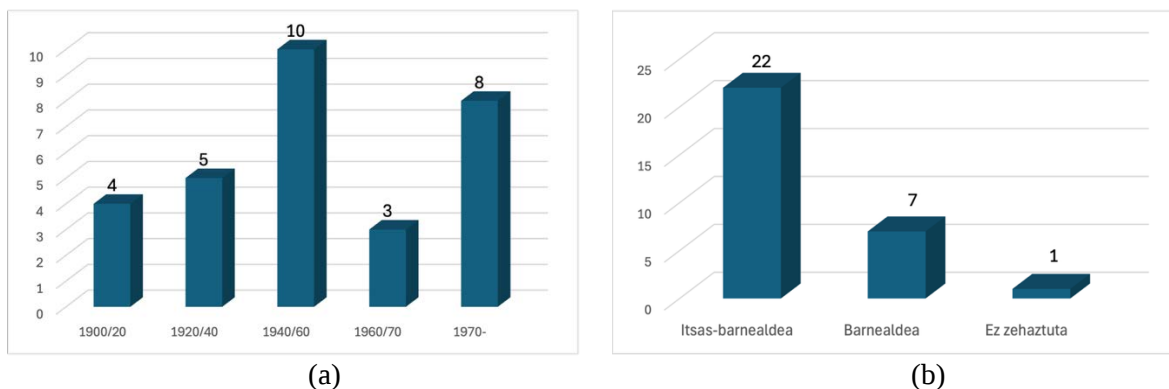
Bildutako informazioa barra-grafikoen eta taulen bidez sintetizatu zen. Hala ere, adierazi behar da proiektu guztietan ez zirela aztertu kontuan hartutako aldagai guztiak; hori dela eta, kasu batzuetan ez dago ikertutako ezaugarri zehatz batzuei buruzko informazio espezifikorik. Beraz, emaitzen interpretazioa egitean, datuen eskuragarritasunean dagoen heterogeneotasuna kontuan hartu behar da.

Azterlan horiek egitea eragin zuten arrazoiaren artean honako hauek zeuden: eraikinen kontserbazio-egoera, egituretan antzemandako lesioak, eta eraberritze-, erabilera-aldaketa- edo mantentze-lanetako esku-hartzeen aurretik informazioa izateko beharra. Ondorioz, lanen irismena (ikuskapena, saiakuntza-kanpaina, egiturazko ebaluazioa edota indartzea) jarduketa bakoitzaren helburu espezifikoek baldintzatzen zuten.

Egituraren ikuspegitik, aztertutako eraikin gehienek egiturazko arrakalak eta pitzadurak zituzten; zehazki, ikertutako 23 kasutan identifikatu ziren. Patologiarik ohikoenak armaduretako korrosio-

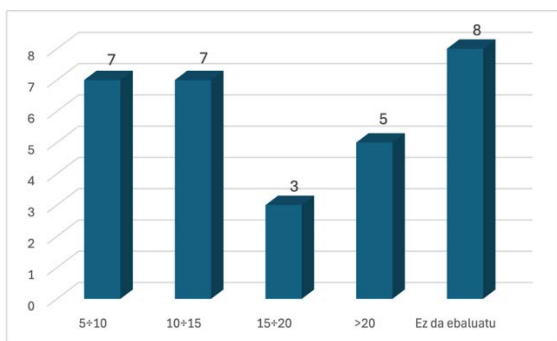
prozesuekin lotuta zeuden. Egituren % 80k, gutxi gorabehera, korrosio horren ondorioz hormigoizko estaldura askatuta zeukan. Era berean, armadura-barren sekzio-galerak maila esanguratsuetara iristen ziren: kasuen % 50 ingurutan habeetako edota zutabeetako estribuen haustura osoak ikusi ziren.

Laginaren analisiak agerian uzten du aztertutako egitura gehienak 1970eko hamarkadaren aurretik eraiki zirela (2a irudia). Identifikatutako erabilerak askotarikoak badira ere, horien ia herena industria-eraikinei dagokie; bizitegi-erabilera, berriz, % 23koa da. Aitzitik, obra zibileko kasu bakar bat dago. Hori garrantzitsua da laginaren baliozkotasuna ez indargabetzeko; izan ere, garai jakin batzuetan, batez ere Gerra Zibilaren eta 1970eko hamarkadaren artean, obra publikoen eraikuntzek obraren eta materialen kalitate- eta kontrol-maila handiagoak zituzten, beste eraikuntza mota batzuen aldean.

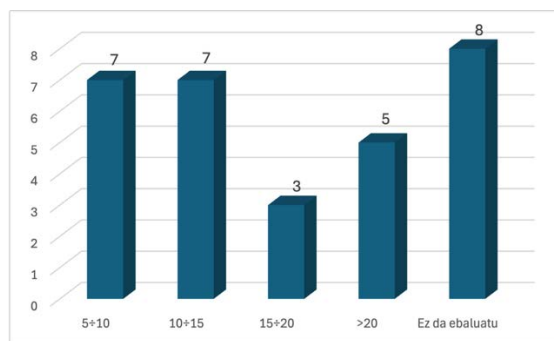


**2. irudia.** (a) Eraikuntza-urtearen eta (b) Esposizio-ingurunearen arabera eraikin kopurua (norberak egina)

Iraunkortasun baldintzak kontuan hartuta, aztertutako eraikinen esposizio-ingurunearen sailkapena egin zen (2b irudia). Egituren bi heren, gutxi gorabehera, itsasoaren eragin eremuetan kokatzen dira, bai kostaldetik gertuko inguruneetan, bai itsasertzeko lerroan; kasu batzuetan, itsasoko uraren zipriztinek eta mareen ekintzak zuzenean eragiten diete. Gainera, zenbait kasutan, jatorrizko hormigoien osagai gisa hondartzako harea erabili zela identifikatu zen. Egoera horren ondorioz, hormigoia kloruro-educia oso altua da egitura gehienetan (3a irudia). Erregistratutako balioek nabarmen gaitzen dute Espainiako araudiak gomendatutako muga, zementu masarekiko % 0,4an ezarrita dagoena

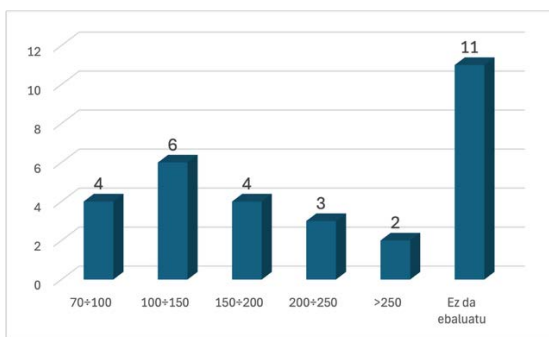


(a)

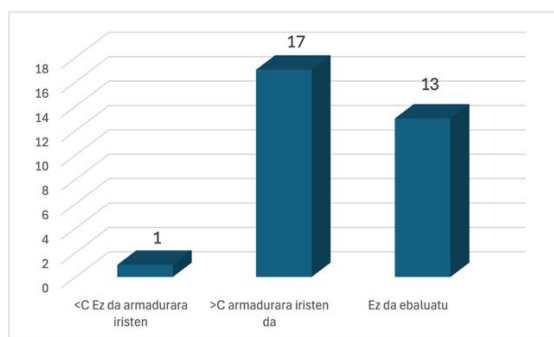


(b)

**3. irudia.** (a) Kloruro edukia [Zementuaren %] eta (b) Konpresio-erresistentzia [MPa] arabera eraikin kopurua (norberak egina).



(a)



(b)

**4. irudia.** (a) Zementu-edukia [kg·m<sup>-3</sup>] eta (b) Karbonatazio-sakonera vs. Estalduraren (C) arabera eraikin kopurua (norberak egina)

Materialaren propietateei dagokienez, konpresio-erresistentzia balioak, eskuarki, oso txikiak dira. Kasuen ia erdietan 15 MPa-tik beherakoak dira, eta laurden batean, gutxi gorabehera, 10 MPa-tik beherako balioak ikusi ziren (3b irudia).

Hormigoiaren erresistentzia txikia, beste faktore batzuen artean, zementu-eduki eskasarekin lotuta dago. Parametro horrek ere balio nabarmen defizitarioak erakusten ditu aztertutako kasu gehienetan. Bi egiturek soilik dituzte 250 kg/m<sup>3</sup>-tik gorako edukiak; hainbat egituretan, ordea, kopuru hori muga horren erdia baino txikiagoa da (4a irudia).

Konpresio-erresistentzia eta zementu-edukia estuki lotuta daude, eta nabarmen baldintzatzen dute materialaren iraunkortasuna. Bi parametroetan balio baxuak konbinatzeak agente erasokorrak sartzea eta jardutea ahalbidetzen du (kloruro-ioiak, adibidez), eta horrek armaduretan korrosio-prozesuak garatzea sustatzen du. Era berean, ezaugarri horiek CO<sub>2</sub>-a hormigoi-masaren barrualderantz hedatzeko

erraztasuna areagotzen dute, haren karbonatazioa eraginez. Karbonatazio-sakonera ebaluatu zen kasu guztietan; batean izan ezik, fronte karbonatua armaduretar iritsia zen. Oro har, hormigoi horiek karbonatazio-maila altua dute eta, ondorioz, korrosio-prozesuen aurreko sentikortasun handiagoa erakusten dute.

Ingurune erasokorren eraginpean dauden egituretan, hormigoiak armadurei ematen dien babes naturala ez da nahikoa izan; horregatik, errefortzu-altzairuak sentikortasun handia du korrosio-prozesuak berehala hasteko. Izan ere, ikertutako ia kasu guztietan ikusten da hormigoiaren pasibazio-gaitasunaren galera, eta egoera horrek modu erabakigarrian laguntzen du armaduretan korrosio-fenomenoak garatzen.

Egiturazko patologien ikuspegitik, aztertutako egitura gehienek eraikinaren portaeran eragina duten pitzadurak dituzte. Gainera, hormigoizko estaldura askatu eta erori zela identifikatu zen. Ildo horretan, emaitzek berresten dute altzairuaren korrosioa patologia bereizgarria dela kalitate txikiko hormigoi mota horietan, eta egitura hauetan narriadura-mekanismo garrantzitsuenetako bat dela.

#### **4. PRESTAZIO BAXUKO HORMIGOIAK**

Lortutako emaitzek erakusten dute ikertutako hormigoi armatuzko egiturek eredu komunak dituztela; ia guztiek pitzadura eta iraunkortasun arazoak dituzte, batez ere ingurune erasokorrek eta kalitate baxuko hormigoiak konbinatzen direnean.

Aztertutako egiturek gehienek, zementu-eduki txikiak, konpresio-erresistentzia baxuak eta karbonatazio maila nahiz kloruro-eduki altuak dituzte; faktore horiek armaduretan korrosio-prozesuak garatzea ahalbidetzen dute. Patologia horiek egiturazko pitzadura, estaldura askatzea eta altzairu barren sekzio galeraren bidez azaleratzen dira.

Aztertutako kasuen emaitzak eta araudiaren bilakaera alderatuz, prestazio baxuko hormigoiaren ezaugarri nagusiak zehaztu daitezke:

- Eraikuntzak, bereziki eraikingintzakoak, 1973a baino lehenagoko aldi historikoetakoak kokatuko dira, garai hartan ezarri baitzen arau bidez kalitate-kontrol zorrotza.
- Konpresio-erresistentzia 15 MPa-tik beherakoa izango da. Nahiz eta jarraibideek erresistentzia txikiagoko hormigoiak ere jaso dituzten eta 1998ra arte 25 MPa-tik beherako erresistentziako hormigoiak erabili zitezkeen, azterketa-kasuek erakusten dute eraikuntza

berrienek kalte txikiagoak dituztela, erresistentzia oso baxuko hormigoiaaren arazoak saihestuz.

- Zementu-edukia  $250 \text{ kg/m}^3$ -tik beherakoa izango da; izan ere, hori da EHE eta EHE-08 arauak barruko eta hezetasunik gabeko inguruneetarako onargarritzat jotzen duten gutxieneko balioa.
- Kloruro ioien eduki handia izango du, zementuaren pisuarekiko %0,4ko gutxieneko muga gaindituz. Kostaldeko eremuetan kloruro ioien presentzia izateko probabilitatea handia da, 1940ko hamarkadara arte hormigoiaaren fabrikazioan itsas agregakinak erabili zirelako, eta baita hurrengo hamarkadan ere, itsas hondarrez egindako malda-osaketako morteroetatik eta fatxadako estalduretatik kloruroen difusioa gertatu zelako. Kostatik gertuko kokapenak arrisku-faktore gehigarri bat dakar.
- Karbonatazio-sakonera armaduretara iritsiko da. Egoera hori, besteak beste, araudiek agintzen zituzten estaldura txikiei eta hamarkadetan zehar (bereziki eraikingintzan) banatzaileak ez erabiltzeko hedatutako ohiturari lotuta dago.

## 5. ONDORIOAK

Hormigoi armatua, ikuspegi historiko batetik, nahiko material berria da harri naturalarekin edo zurarekin alderatuta. Hala ere, bere ezarpen azkarrak hamarkada gutxitan mendebaldeko munduko egitura material nagusi bihurtu zuen. Garapen hori ezagutza tekniko eta zientifikoaren bilakaera bizkorrekin batera gertatu zen, eta kasu askotan ez zuen eraikuntza hedapenaren erritmo berean aurrera egin.

Egindako azterketak agerian uzten du hormigoi armatuak degradazio prozesu progresiboa duela, bai materialaren jatorrizko ezaugarriek baldintzatuta, bai esposizio ingurunearen baldintzek eta gauzatzearen kalitateak eraginda. Ingurune erasokorrek, erresistentzia baxuko hormigoiekin, zementu-eduki txikiekin eta iraunkortasun eskasarekin batera, armaduren korrosioari lotutako patologiak garatzea ahalbidetzen dute. Testuinguru horretan, patologia horien identifikazio goiztiarra eta azterketa funtsezkoak dira esku hartzeko estrategia egokiak definitzeko eta kalte itzulezinak saihesteko.

Araudiaren bilakaerak, halaber, egiturazko hormigoiaaren kontzepzioaren eraldaketa nabarmena islatzen du. Lehenengo erregulazioek, batez ere alderdi erresistenteak eta kalkulu alderdiak zituzten ardatz, eta pixkanaka gehitu zituzten kalitatearekin, iraunkortasunarekin, gauzatze kontrolarekin eta mantentze-lanekin lotutako irizpideak. Era berean, materialen gutxieneko propietateei eta inguru erasokorren aurkako babesari buruzko eskakizunak gogortu egin ziren.

Azterketa-kasuen analisiak, egindako berrikuspen historikoarekin eta araudiarekin batera, aukera ematen du “prestazio baxuko hormigoiari” lotutako ezaugarri komun batzuk identifikatzeko. Gabezia horiek ez dagozkio tipologia jakin bati, ezta aldi historiko jakin bati ere, nahiz eta nagusiki 1970eko hamarkada baino lehenagokoak izan. Aitzitik, eraikuntza, ingurune eta araudi faktore batzuen konbinazioari erantzuten diote. Gaur egungo eraikin parkean horrelako egiturak oraindik ere oso zabalduta daudenez, agerian geratzen da beharrezkoa dela haien berezitasunetara egokitutako ebaluazio, birgaitze eta indartze metodologiak garatzen jarraitzea.

## 6. ESKER ONAK

Egileek eskerrak eman nahi dizkiete erakunde finantzatzaile hauei: [MCIN/AEI/10.13039/501100011033 ERDF, EU [PID2021-124203OB-I00 & PID2025-172549OB-I00] eta Eusko Jaurlaritzaren Hezkuntza Sailari ere [IT1954-26 SAREN ikerketa-taldea]

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] WILKIE, S., DYER, T. 2021. «Design and Durability of Early 20Th Century Concrete Bridges in Scotland: A Review of Historic Test Data». *International Journal of Architectural Heritage* ,00, 1–21.
- [2] MARCOS, I., SAN-JOSÉ, J.-T., GARMENDIA, L., SANTAMARÍA, A., MANSO, J. M. 2016. “Central lessons from the historical analysis of 24 reinforced-concrete structures in northern Spain”. *Journal of Cultural Heritage* ,20, 649–659.
- [3] SAGARNA, M., ETXEPARE, L., LIZUNDIA, I., URANGA, E. J. 2017. “Hormigoi armatuaren eboluzioa linealki irakurtzeko ezintasuna. Espainiaren kasua (1896-1973)”. *EKAIA Euskal Herriko Unibertsitateko Zientzia eta Teknologia Aldizkaria* 167–178.
- [4] ALMEIDA, L., SILVA, A. S., VEIGA, M. DO R., VIEIRA, M., MIRÃO, J. 2022. “Physical and Mechanical Properties of Reinforced Concrete from 20th-Century Architecture Award-Winning Buildings in Lisbon (Portugal): A Contribution to the Knowledge of Their Evolution and Durability”. *Construction Materials* ,2, 127–147.
- [5] DU, Q., LI, Y., QIU, B., REN, L., HE, X. 2025. “Exploration of the Composition and Microstructure of the Historic Concrete Material in Shanghai”. *International Journal of Architectural Heritage* ,19, 2369–2389.
- [6] CARMONA-QUIROGA, P. M., PACHÓN-MONTAÑO, A., QUEIPO-DE-LLANO, J., MARTÍN-CARO, J. A., LÓPEZ, D., PANIAGUA, I., MARTÍNEZ, I., RUBIANO, F., GARCÍA-LODEIRO, I., FERNÁNDEZ-ORDÓÑEZ, L., BLANCO-VARELA, M. T., FRÍAS-LÓPEZ, E. 2021. “Characterisation and diagnosis of heritage concrete: case studies at the Eduardo Torroja Institute, Madrid, Spain”. *Materiales de Construcción* ,71, DOI: 10.3989/mc.2021.11021.
- [7] ALFONSO PEÑA BOEUF - MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. 1939. *Instrucción Para El Proyecto y Ejecución de Obras de Hormigón*. Santander.
- [8] CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO. 1912. *Instrucciones Para El Empleo Del Cemento Armado*. Cuerpo de Ingenieros del Ejército, Madrid.
- [9] MINISTERIO DE FOMENTO. 1917. “Gaceta de Madrid. Real Decreto 1 de Junio de 1917”.
- [10] MINISTERIO DE FOMENTO. 1917. “Gaceta de Madrid. Real Orden de 2 de junio de 1917”.

- [11] COLLINS, PETER. 2004. *Concrete : The Vision of a New Architecture*. McGill-Queen's University Press.
- [12] SIMONNET, CYRILLE., GRACÍA, CRISTINA., MARCOS, M. JOSEFA. 2009. *Hormigón : Historia de Un Material : Economía, Técnica, Arquitectura*. Nerea.
- [13] MONIER, J.P\_4433 Monier.Pdf, 4433, publ. date 1884.
- [14] MONIER, J.Patente de Invención 6156, 6156, publ. date 1886.
- [15] REBOLLO, G. 1901. "Construcciones sobre hormigón armado sistema Hennebique. Fábrica de harinas "La Ceres" - Bilbao.". *Revista de Obras Públicas* ,I, 233–234.
- [16] COLBY, A. L. 1909. *Reinforced Concrete in Europe*. The Chemical Publishing Company, Easton, Pennsylvania.
- [17] MARCOS, I., SAN-JOSÉ, J. T., SANTAMARÍA, A., GARMENDIA, L. 2018. "Early Concrete Structures: Patented Systems and Construction Features". *International Journal of Architectural Heritage* ,12, 310–319.
- [18] EDUARDO TORROJA, F. ARREDONDO, J. BATANERO, C. BENITO, M. BOUSO, F. CASSINELLO, G. ECHEGARAY, A. GARCÍA MESEGUER, M. LAMANA, J. NADAL, A. PAEZ, J.M. PEDREGAL, R. PIÑEIRO, F. DEL POZO, A.PRADO, S. ROCCI, J.A. TORROJA, J.M.URCELAY. 1967. *H.a.61 Instrucción Especial Para Estructuras de Hormigón Armado*. Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento, Madrid.
- [19] ALFONSO PEÑA BOEUF - MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. 1944. "Orden de 23 de marzo de 1944 por la que se aprueba la instrucción definitiva para el proyecto de ejecución de obras de hormigón".
- [20] AZPILICUETA ASTARLOA, E. 2004. *La Construcción de La Arquitectura de Postguerra En España*.
- [21] BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (ED.). 1941. "Decreto de 11 de marzo de 1941 sobre restricciones del hierro en la edificación".
- [22] BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (ED.). 1941. "Decreto de 22 de julio de 1941 por el que se aprueba el Reglamento sobre las restricciones del hierro en la edificación".
- [23] DIRECCIÓN GENERAL DE ARQUITECTURA. 1941. "Normas para el cálculo de ejecución de estructuras metálicas, hormigón armado y forjados de ladrillo armado". *Ministerio de la Gobernación* 62.
- [24] 1968. "Decreto 2987/1968, de 20 de septiembre, por el que se aprueba la instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado".
- [25] 1973. "Decreto 2987/1973, de 16 de noviembre, por el que se aprueba la «Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH-73)»".
- [26] GARCÍA MESEGUER, Á. 1974. "Panorama europeo del control de calidad del hormigón". *Informes de la Construcción* ,26, 65–83.
- [27] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO. 1981. "Real Decreto 2868/1980, de 17 de octubre, por el que se aprueba la «Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH-80)»".
- [28] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO. 1982. "Real Decreto 2252, de 24 de julio, por el que se modifica la «Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH88)»".
- [29] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO. 1988. "Real Decreto 824/1988, de 15 de julio, por el que se aprueba la Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH-88)".
- [30] COMISIÓN PERMANENTE DEL HORMIGÓN. 1999. "Instrucción de hormigón estructural EHE". 470.
- [31] COMISIÓN PERMANENTE DE HORMIGÓN. 2011. "Instrucción de hormigón estructural EHE-08". 722.
- [32] 2021. "Real Decreto 470/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba el Código Estructural".