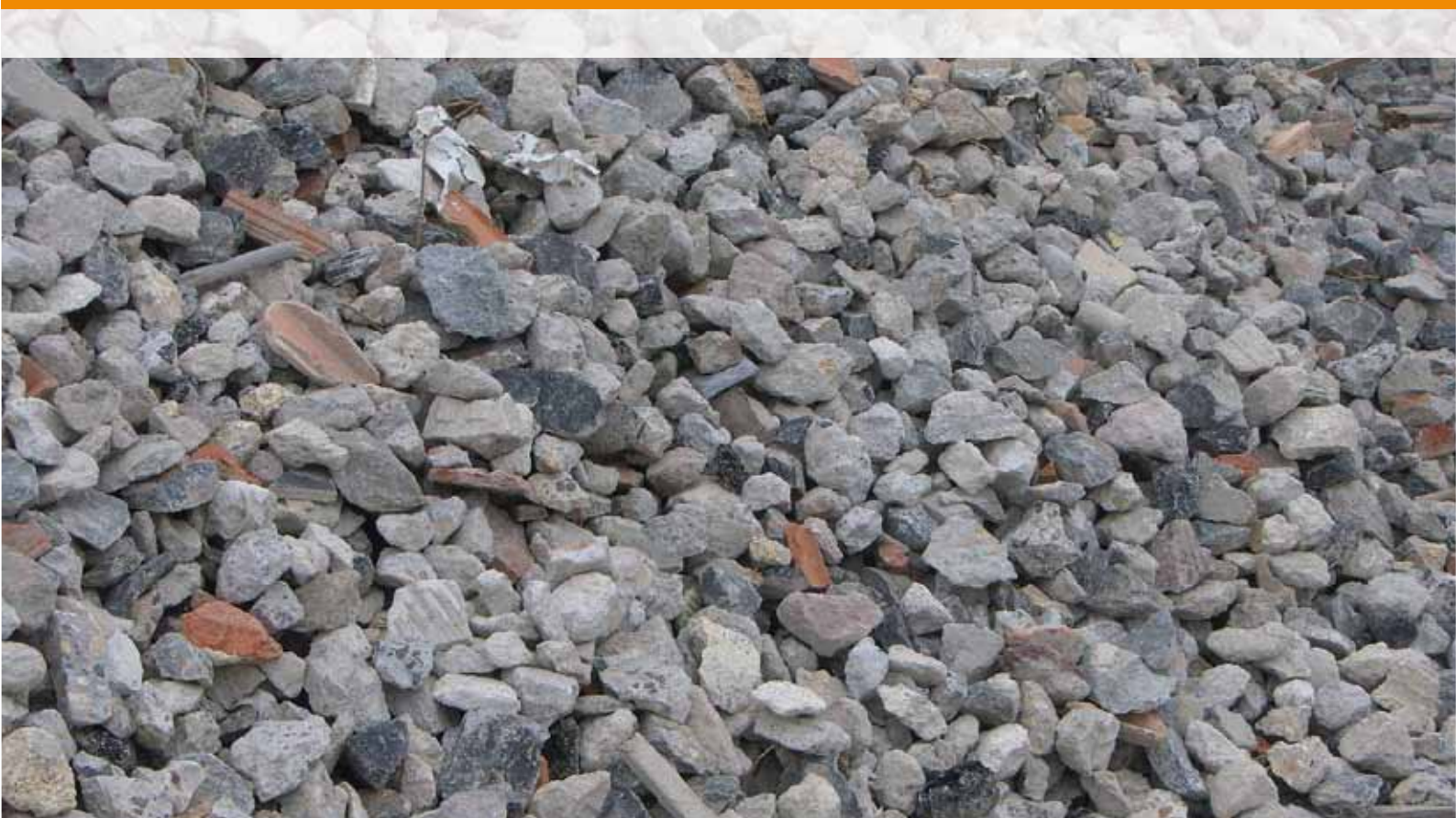


# Eraikuntza- eta eraispen- -hondakinetatik datozen agregakin birziklatu mistoen erabilpenak



## Arau-aurreko ikerketa



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE FOMENTO

MINISTERIO  
DE MEDIO AMBIENTE Y  
MEDIO RURAL Y MARINO

**CEDEX**  
CENTRO DE ESTUDIOS  
Y EXPERIMENTACIÓN  
DE OBRAS PÚBLICAS

**EUSKO JAURLARITZA**



**GOBIERNO VASCO**

ETXEBIZITZA, HERRI LAN  
ETA GARRAIO SAILA  
Garraio eta  
Herri Lan Sailordetza

INGURUMEN, LURRALDE  
PLANGINTZA, NEKAZARITZA  
ETA ARRANTZA SAILA

DEPARTAMENTO DE VIVIENDA,  
OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES  
Viceconsejería de  
Transportes y Obras Públicas

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE,  
PLANIFICACIÓN TERRITORIAL,  
AGRICULTURA Y PESCA



# Aurkibidea

<b>1. AURKEZPENA</b>	<b>4</b>
<b>2. IKERKETAREN TESTUINGURUA ETA ZIOAK</b>	<b>6</b>
<b>3. XEDEA ETA IRISMENA</b>	<b>8</b>
<b>4. ARAU-AURREKO IKERKETA</b>	<b>9</b>
4.1. Agregakin birziklatu mistoen erabilerari buruzko ohar teknikoak	9
4.1.1 Nahasi gabeko aplikazioak errepide-zoruetarako	9
4.1.1.1 Laginak jasotzeko eta prestatzeko protokoloa	9
4.1.1.2 Metodologia esperimentalak	10
4.1.1.3 Laborategiko emaitzak, eta eztabaida	11
4.1.1.4 Agregakin birziklatuaren osagaien eta agregakinaren berezko propietateen arteko korrelazio-azterketa	25
4.1.1.5 Probaguneak	26
4.1.2 Ez-egiturazko hormigoien aplikazioak	30
4.1.2.1 Helburua	30
4.1.2.2 Birziklatutako agregakinen gaineko egungo araudiaren azterketa	31
4.1.2.3 Agregakin birziklatuen propietate teknologikoak	31
4.1.2.4 EEHak (eraikuntza- eta eraipen-hondakinak) tratatzeko teknologien eta egindako agregakin birziklatuen ezaugarrien arteko konparazio-azterketa	37
4.1.2.5 Dosifikazio-azterketa	39
4.1.2.6 Hormigoi birziklatuaren propietateak	40
4.2. Agregakin birziklatuen erabilerak ingurumenean duen eraginari buruzko hausnarketak	43
4.2.1 Agregakin birziklatu mistoen lixibiazio-arriskuaren analisia	43
4.2.2 Lurrarekin kontaktuan dauden pikor-aplikaziotan erabiltzeko agregakin birziklatuak	43
4.2.3 Hormigoi birziklatuaren lixibiazioa	46
4.3. Ondorioak	47
4.3.1 Hondakinak birziklatzeko instalazioetarako gomendioak	47
4.3.2 Parametro teknikoak	47
4.3.2.1 Nahasi gabeko aplikazioak errepide-zoruetan	47
4.3.2.2 Egiturretarako ez den hormigoian agregakin birziklatu mistoa erabiltzeko gomendioak	48
4.3.3 Ingurumen-parametroak	49
4.3.3.1 Nahasi gabeko aplikazioak errepide-zoruetan – Agregakin birziklatuko laginen ingurumen-azterketa	49
4.3.3.2 Egiturretarako ez den hormigoian agregakin birziklatu mistoa erabiltzeko gomendioak	53
<b>5. ERANSKINAK</b>	<b>54</b>
5.1. Termino-glosarioa	54
5.2. Saiakuntzetan aplikatzeko arauak	56
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>57</b>

# 1. Aurkezpena

Euskal Autonomia Erkidegoko eraikuntzako eta eraisketako hondakinen egungo balorizazio-ratioak Europako Batasunak eta autonomia-erkidegoetako hondakin-planek ezarritako helburuen oso azpitik daude. Zehazki, eraikuntzako eta eraisketako hondakinen % 15-%40 bitarte balorizatzen dugu. Ratio hori ez da, inondik ere, jasangarria, hondakin-mota horretatik urteko eta biztanleko tona bat sortzen baita.

Adierazle horiek errotik aldatzeko abiapuntu izan nahi du aurkezten dugun lan honek, nabarmen lagunduko baitu Eraikuntzako eta Eraisketako Hondakinen Kudeaketari buruzko 105/2008 Errege Dekretuaren bigarren xedapena — administrazio publikoek obretan material birziklatuak erabiltzea aldarrikatzen duena— gorpuzten. Garapen iraunkorarekin lotura hain estua duen azpisektore ekonomiko horren sendotzea ekarriko du horrek.

Agregakin birziklatuen karakterizazio teknikoari eta ingurumenekoari buruz, eraikuntza-aplikazioetako erabilera normalizatzeko helburuarekin, zenbait erakundetatik egin diren lanak hedatuz eraikuntzako eragileei eraikuntzako eta eraisketako hondakinak modu egokian eta masiboan balorizatzen lagundu nahi diegu, akabera egokia eman eta material horiek ekoizpen-zikloan berriro sartzeko.

Aipamen berezia merezi dute Eraikuntzako eta Eraisketako Hondakinak karakterizatzeko errepideen alorrean egindako lanek eta material horiek zabor-legarretan eta zelaiguneetan izan duten portaeraren behaketatik ateratako ondorioek, baliagarriak izango baitira erabileraren onurak eta aplikazio-mugak zehazteko eta erabilpenerako espezifikazio teknikoen oinarriak ezartzeko. Nolanahi ere, aipatutako materialek erabilera horietan eta beste batzuetan duten portaeraren azterketa oraindik itxi gabe dagoen prozesu bat da.

Beste eraikuntza-aplikazio batzuetan aintzat hartu beharreko ohar tekniko garrantzitsuak ere zehazten dira, eta, gure inguruan lehenbizikoz, agian, material horien erabilera ingurumen-ikuspegitik argitzen da.

Eusko Jaurlaritzako Etxebizitza, Herri Lan eta Garraio Sailaren eta Ingurumen, Lurralde Plangintza, Nekazaritza eta Arrantza Sailaren arteko lankidetzaren emaitza dira dokumentu honen ondorioak, gure ingurunean jasangarriki txertatutako azpiegiturak sortzeko konpromisoaren ondorio.

Ikerteta-prozesuaren eraginkortasuna areagotzeko eta gizarteari balio-ekarpina egiten dioten prozesuak garatzeko kudeaketa eraginkorreko politikak ezartzea sustatzeko behar diren sinergien adibide bat duzue argitalpen hau.



**Pilar Unzué Pérez de Eulate**

[Ingurumen, Lurralde Plangintza, Nekazaritza eta Arrantza sailburua](#)  
[Eusko Jaurlaritza](#)



**Iñaki Arriola López**

Etxebizitza, Herri Lan eta Garraio sailburua  
Eusko Jaurlaritza

## Aurkezpena

Eraikuntzaren alorrean, gero eta handiagoa da herritarren kontzientziazioak eragiten duen presio soziala eraikuntzak nahiz beste jarduera batzuek sortzen dituzten hondakinak birziklarazteko. Birziklatzearen onurarik nabarmenena da probetxurik atera gabe zabortegian amaitzen duten hondakin-kantitate handiak sortzen duen arazoa konpondu egiten duela, eta, aldi berean, lehengai berriak sortzen direla eta, hala, baliabide natural gutxiago erauzi behar izaten dela.

Eraikuntzako materialen birziklapenaren alorrean, agregakin birziklatuak dira nagusi, horiek erabiltzeak nabarmen gutxitu baitezake eraikuntzako eta eraisketako hondakin-bolumena. Espainian urtean horrelako tona bat hondakin sortzen dela —biztanleko— diote kalkuluek, eta kantitate horretatik % 80 zabortegian biltegitratzen dela. Komeniko litzateke etorkizun hurbilean egoerak hobera egitea eta gutxienez Europako batez besteko birziklatze-tasara (% 40) hurbiltzea.

Birziklatzearen kultura sustatze aldera, agregakin birziklatuen erabilera areagotzeko era askotako neurriak hartzen ari dira administrazio publikoak (estatuko, gure autonomia-erkidegoko eta tokiko administrazioak): eraikuntza-teknologia jasangarriagoak baliatzera bultzatzeko, edo are gehiago, behartzeko, lege-neurriak edo Eraikuntzako eta Eraisketako Hondakinen erabilera bermatua eta segurua ziurtatzeko arautegi teknikoak, adibidez.

Eginkizun horretan parte-hartze aktiboa duen CEDEXek zenbait lan egin ditu eraikuntzan birziklatzeko aukerak izan ditzaketen hondakinak hobeto ezagutarazteko.

Lehenetako bat, Eraikuntzan Erabilgarriak diren Hondakinen Katalogoa, Ingurumen Ministerioak eskatuta egin zen, 2002an (2009ko eguneraketa [www.cedexmateriales.vsf.es/view/default.aspx](http://www.cedexmateriales.vsf.es/view/default.aspx) webgunean dago), eraikuntza-jardueretan erabilgarriak izan daitezkeen hondakinak ezagutzera emateko.

Lan horrek beste batzuetarako bidea eman du; esate baterako, CEDEXen Egituren eta Materialen Laborategi Nagusiaren parte-hartzea Egiturazko Hormigoi Birziklatuak aztertze eta Egiturazko Hormigoiari buruzko Jarraibidean (EHE-08) sartzeko lanetan eta agregakin birziklatuak erabiltzeko lehenengo saiakuntzetan (adibidez, Manises eta Paterna elkarlotzen dituen CV-371 errepedeko zubi tenkatua, administrazioen eta enpresa pribatuen elkarlan estuari eta koordinatuari esker egindako proiektua) aholku ematea.



**Mariano Navas Gutiérrez**

Herri Lanen Ikerketa eta Saiakuntza Zentroko zuzendaria (CEDEX)



## 2. Ikerketaren testuingurua eta zioak

Duela gutxi argitaratu den hondakinei buruzko 2008/98/EE<sup>(1)</sup> Direktibak dio, besteak beste, “baliabideen erabilpena murrizteko eta hondakin-hierarkiaren aplikazio praktikoa sustatzeko” premia dagoela, hau da, “lehentasun-hurrenke-ra hau ezarri behar dela hondakinen gaineko prebentzio-politikan eta kudeaketan”:

- Prebentzioa (hondakinik ez sortzea)
- Berrerabiltzeko prestatzea
- Birziklatzea
- Beste balorizazio-motaren bat (adibidez, balioztatze energetikoa)
- Ezabatzea

Hondakinen direktibak, halaber, “Europako Batasuna hondakinen sorrera saihesten saiatzen eta hondakinak baliabide gisa erabiltzen dituen gizarte birziklatzaile bilakatzea” bultzatzen du. 11. artikulua (“Berrerabilpena eta birziklatzea”) 2. atalak dio EBko estatuak behar diren neurriak hartu behar dituztela Europak birziklapenaren gizarterantz egin dezan eta baliabideak eraginkortasun handiz erabil ditzan. Iradokitzen du, zehazki, “2020a baino lehen, eraikuntzako eta eraisketako hondakin ez-arriskutsuetako materialen berrerabilpena, birziklapena eta balorizazioa —modu naturalean agertzen diren materialak, hondakinen zerrendako 17 05 04 kategorian zehaztuak, kanpo utzita—, gutxienez ere % 70era (pisuan) handitu behar dela”.

2007-2015 Hondakinen Plan Nazional Integratuan (PNIR) dagoen Eraikuntza eta Eraisketako Plan Nazionalaren (II PNRCD) arabera, eraikuntzako eta eraisketako hondakintzat (EEH) hartzen da 1998ko apirilaren 21eko 10/1998 Legearen 3.a) artikuluko “hondakin” hitzaren definizioari jarraiki eraikuntzako edo eraisketako obretan sortzen den edozein substantzia edo objektu.

Eraikuntzako eta eraisketako obraren kontzeptuak, Plan horren ondorioetarako, ondasun higiezin bat —esate baterako, eraikinak, errepideak, portuak, aireportuak, trenbideak, kanalak, presak, kirol- edo aisialdi-instalazioak, baita ingeniari-tza zibileko beste edozein elementu ere— eraikitzeko, konpontzeko, berritzeko edo eraisteko jarduerak barne hartzen ditu, hauek izan ezik:

- a) Substantzia arriskutsuek kutsatu ez dituzten lurrak eta harriak.
- b) Legeria espezifikoren batek araututako eraikuntza eta/edo eraisketako obretan sortzen diren hondakinak, baldin eta eraikuntzako eta eraisketako beste hondakin batzuekin nahasita ez badaude (erabilitako industria-olioen hondakinak, hondakin oro har arriskutsuak, ontzi-hondakinak, erabiltzen ez diren pneumatikoak, pilak eta bateriak eta gailu elektriko eta elektronikoen hondakinak).
- c) Erauzteko industrien hondakinen kudeaketari buruzko Europako Parlamentuaren eta Kontseiluaren 2006ko martxoaren 15eko 2006/21/EE Direktibak arautzen dituen hondakinak.

MAM/304/2002 aginduaren bidez onartutako Hondakinen Europako Zerrendaren 17. kapituluaren honela kodetuta agertzen dira EEHak:

- 17 01 Hormigoia, adreiluak, teilak eta material zeramikoak
- 17 02 Zuragurra, beira eta plastikoa
- 17 03 Nahasira bituminosoak, harrikatz-mundruna eta harrikatzezko beste produktu batzuk
- 17 04 Metalak (horien aleazioak barne)
- 17 05 Lurra (ingurune kutsatuetan hondeatutakoa barne), harriak eta drainatze-lohiak
- 17 06 Amiantodun material isolatzaileak eta eraikuntzako materialak
- 17 08 Igeltsutik eratorritako eraikuntzako materialak
- 17 09 Eraikuntzako eta eraisketako beste hondakin batzuk

EEHen Espainiako egungo egoeraren diagnosia egiten duen eta ezabatzearen edo isurtzearen ordeztu berrerabiltzea eta birziklatzea sustatzen duen II. Eraikuntzako eta Eraisketako Hondakinen Plan Nazionalak (2007-2015)<sup>(2)</sup> hondakin-multzo hori eraginkortasunez kudeatzeko lortu beharreko helburu kuantitatiboak ezartzen ditu. Hauek dira:

- 2011tik aurrera, EEHen % 95 kontrolpean biltzea eta egoki kudeatzea
- 2011an, % 15 EEH gutxiago sortzea, edo portzentaje hori berrerabiltzea
- 2011tik aurrera, EEHen % 40 birziklatzea
- 2010etik aurrera, eraikuntzako materialen ontzi-hondakinen % 70 balorizatzea

Bestalde, 2010erako hondakinen % 70 birziklatzea du helburu 2007-2010<sup>(3)</sup> epealdirako Euskal Autonomia Erkidegoko II. Esparru Programak. Testuinguru horretan, EAEko ingurumen-administrazioa hainbat ekimen egiten ari da, ezarritako birziklapen-ratioak betetzeko ez ezik, jarduera horiei benetako zentzua emateko ere, eta, hartara, ekoizpen-ziklo potentzialetatik ateratako materialak aprobetxatu ahal izateko.

Espainiako birziklapen-tasa % 15 ingurukoa da; Euskal Autonomia Erkidegokoa, berriz, % 40 ingurukoa. EEH birziklatzeko instalazioetan, harrizko frakzio ez-organikotik ateratako agregakin birziklatua sortzen da gehien, eta guztira tratatutako hondakinen % 80a baino gehiago izaten da.

Azken urteetan, eraikuntza-sektorean gero eta gehiago erabiltzen da agregakin birziklatua, gehiena balio erantsi gutxiko aplikazioetan erabiltzen den arren (adibidez, betegarriak, hondakindegietako estalki-geruzak edo eraikuntza-lanetan ibilgailuak pasatzeko egiten diren behin-behineko pistak).

Beraz, material pikortsu alternatibo hori erabiltzea bultzatzen duten tresnak sortzen jarraitu behar da, batez ere hainbat administrazioek sustatuta, balio erantsi handiagoa duten eta material pikortsu asko kontsumitzen duten merkatuetan.

Besteak beste, hauek dira agregakin birziklatuak balio erantsi handiagoko aplikazioetan erabiltzea galarazten duten arrazoiak:

- Orain arte, ez da berariazko arau-esparrurik egon agregakin-mota horiei buruz; agregakin birziklatuen erabilera bultzatzeko helburua izan duten ekimen partikularrak eta unean uneko saiakuntzak besterik ez. Egiturako Hormigoia buruzko Arauaren (EHE 08)<sup>(4)</sup> 15. eranskinean, "Hormigoi birziklatuak erabiltzeko gomendioak" jasotzen dira, eta, 18. eranskinean ("Egiturazko erabilera ez duten hormigoiak"), hormigoi-hondakinetatik ateratako agregakin birziklatuak erabiltzea onartzen da, ehuneko txikietan. Aplikazio horrek muga handiak ditu; batetik, ezaugarri zorrotzetakoak dituen erabilera delako, eta, bestetik, hormigoi hautatuko hondakinetatik ateratako agregakin lodiak bakarrik onartzen direlako (sortutako EHE guztien % 12a, gutxi gorabehera). Beraz, alde batera uzten dira agregakin birziklatu mistoak (nahastutako obra-hondakinen tratamendutik ateratako material pikortsua, gehienbat hormigoia eta material zeramikoa duena). FOM/891/2004 AGINDUAren bidez, errepideak eta zubiak egiteko eraikuntza-lanen betebeharrak tekniko orriko (PG3) artikuluko batzuk eguneratzen dira, eta agregakin birziklatuak erabiltzeko aukera ematen du. Lehen azaldutako kasuan bezala, PG3ren eguneratze horretan ez da onartzen agregakin birziklatu mistoak erabiltzea, lubeta-erako betegarrien aplikazioetarako berariazko agindurik ez baitu ematen (330. artikulua).
- Agregakin birziklatuak mesfidantza sortzen du, eta kontrol handiagoa behar du, erabiltzen den aplikazioetako baldintzak betetzen dituela bermatzeko.
- Agregakin birziklatu egokia egiteko, hondakinak ondo prozesatu behar dira, eta, horrez gainera, instalazioan sartzen diren materialak ondo kontrolatu behar dira. Halaber, hondakinak prozesatzeko teknika egokiak jarri behar dira martxan, kalitate oneko agregakin birziklatua nahi bada.

**Sarrera honekin amaitzeko, agregakin birziklatuak osoki eta sistematikoki erabiltzen hasteko, agregakin horien kalitatea bermatu egin behar da eta berariazko araudiak sortu eta saiakuntzak –material horien izaerarekin lotutako ziurgabetasunak alde batera uzten dituztenak– egin behar dira.**

### 3. Xedea eta irismena

Agregakin birziklatu mistoen ezaugarri eta hainbat eraikuntza-aplikaziotan dituzten erabilerei buruz (betegarri, zelaigune eta zagorren lotu gabeko aplikazioak eta egiturazkoak ez diren hormigoiak) hainbat erakundek eta entitatek duela gutxi egin dituzten ikerketen emaitzak biltzea da dokumentu honen xedea. Horren bidez, mota horretako agregakin birziklatuen erabileran etorkizunean aplikatu daitezkeen arauen oinarri zientifiko-teknologikoak jartzea da helburua.

Jasotako informazioa ikerketa-proiektu hauetakoa da:

#### PREAR proiektua “EEHen agregakin birziklatuak errepide-zoruekin loturarik ez duten erabileretan erabiltzeko arau-aurreko ikerketa”

- **Ihobeko koordinatzailea:** Aitor Sáez de Cortázar jauna.
- **Ikerketaren koordinatzaile zientifikoa:** Iñigo Vegas doktorea (TECNALIA-eraikuntza).
- **Laguntza zientifikoa:** Amaia Lisbona andrea eta Ekain Cagigal jauna (TECNALIA-eraikuntza).
- **Bide-zoruen mahaiko kideak:** Ana Isabel Fonseca andrea (Eusko Jaurlaritzako Garraio Saila); José Luis Ruiz Ojeda jauna, Carlos Gascón jauna (Bizkaiko Foru Aldundia); José Antonio Navarro jauna (Gipuzkoako Foru Aldundia); Miguel Ángel Ortiz de Landaluce jauna (Arabako Foru Aldundia); Aurelio Ruiz (Intevia)

Proiektu honen helburu nagusia da agregakin birziklatu mistoek errepide-zoruetan duten erabileraren oinarri teknikoak finkatzea, zehazki, betegarri, zelaigune eta zagorren lotu gabeko aplikazioetan.

Horretarako, EAEko tratamendu-instalazio egonkorretan sortutako agregakin-laginen karakterizazio eta azterketa estatistiko sakona egin da eta, horrez gainera, hainbat proba-tartetan, lotu gabeko geruzak egitearekin, geruza horien portaera mekanikoarekin eta trinkotutako materialaren libixbioarekin lotutako alderdiak aztertu dira.

Proiektu horren emaitzak oinarritzat hartuta, EAEko errepide-zoruen eraikuntzan agregakin birziklatuen erabilera arautuko duten agindu bereziak egitea da helburua.

#### CLEAM proiektua – 2.2 eginkizuna: “EEHak egiturazkoak ez diren hormigoien agregakin gisa birziklatzea”

- **SACYReko koordinatzailea:** Antonio Ramírez jauna eta María Dolores Carvajal andrea (SACYR),
- **Ikerketaren koordinatzaile zientifikoa:** Marta Sánchez de Juan doktorea (CEDEX).
- **Kideak:** Pilar Alaejos doktorea (CEDEX), Victor-Luis Geraldés jauna (CEDEX), Iñigo Vegas jauna (TECNALIA - eraikuntza), Isabel Girbes doktorea, Pilar Martí andrea (AIDICO), Francisco Agrela doktorea (Eraikuntzako Ingeniaritzaren arloa. Kordobako Unibertsitatea), Jesús Ayuso doktorea (Eraikuntzako Ingeniaritzaren arloa. Kordobako Unibertsitatea).

CLEAM proiektua 7 gai edo jarduera orokorretan banatu zen. Hemen sakondutako gaia, “EEHak egiturazkoak ez diren hormigoien agregakin gisa birziklatzea”, 2. jardueraren barruan sailkatu zen: HONDAKINAK. LURZORUEN BERRERABILPENA, BIRZIKLAKETA ETA KONPONKETA.

Egiturazkoa ez den hormigoia egitean agregakin birziklatu mistoa erabiltzea bultzatzeko helburuarekin sortu zen lan hori, eta, saiakuntzen bidez, agregakin birziklatua eta harekin fabrikatutako hormigoia baliagarriak direla justifikatzeko.

Dokumentu honetako inongo aplikaziok EZ du agindurik ematen; emaitza zientifikoak adierazten ditu, erakunde agindu-emaleei beren lana egiten laguntzeko.



## 4. Arau-urreko ikerketa

### 4.1. Agregakin birziklatu mistoen erabilerari buruzko ohar teknikoak

#### 4.1.1 Nahasi gabeko aplikazioak errepide-zoruetarako

##### 4.1.1.1 Laginak jasotzeko eta prestatzeko protokoloa

Agregakin birziklatu mistoen heterogeneotasuna kontuan izanik, ezinbestekoa da laginak jasotzeko eta prestatzeko prozedura sistematiko bat izatea, hartara, saiakuntza-prozesuaren lehenengo zati horretan ziurgabetasun gutxiago izateko, eta, hala, karakterizazio-erantz nahikoa esanguratsua jasotzeko.

TECNALIAko Eraikuntza Unitateko teknikariek hartu zituzten laginak, EAeko hiru tratamendu-instalazio finkotatik. I. taulan daude laginak jasotako data eta lagin horien identifikazio-datuak.

Laginareneko identifikazioa	Tipologia	Jasotze-lekua	Jasotze-data
ARB-1	Agregakin birziklatu mistoa	BTB, S.A. (Bizkaia)	2009/06/17
ARG-1	Agregakin birziklatu mistoa, material zeramiko gutxirekin	Gardelegi (Araba)	2009/06/17
ARV-1	Agregakin birziklatu mistoa	VOLBAS, S.A. (Bizkaia)	2009/06/17
ARB-2	Agregakin birziklatu mistoa	BTB, S.A. (Bizkaia)	2009/07/01
ARG-2	Agregakin birziklatu mistoa, material zeramiko gutxirekin	Gardelegi (Araba)	2009/07/01
ARV-2	Agregakin birziklatu mistoa	VOLBAS, S.A. (Bizkaia)	2009/07/01
ARB-3	Agregakin birziklatu mistoa	BTB, S.A. (Bizkaia)	2009/07/15
ARG-3	Agregakin birziklatu mistoa, material zeramiko gutxirekin	Gardelegi (Araba)	2009/07/15
ARV-3	Agregakin birziklatu mistoa	VOLBAS, S.A. (Bizkaia)	2009/07/15
ARB-4	Agregakin birziklatu mistoa	BTB, S.A. (Bizkaia)	2009/07/29
ARG-4	Agregakin birziklatu mistoa, material zeramiko gutxirekin	Gardelegui (Araba)	2009/07/29
ARV-4	Agregakin birziklatu mistoa	VOLBAS, S.A. (Bizkaia)	2009/07/29
ARB-5	Agregakin birziklatu hautatua, % 100 hormigoizkoak diren obra-hondakinetatik sortua	BTB, S.A. (Bizkaia)	2009/09/09
ARG-5	Agregakin birziklatu hautatua, % 100 aglomeratu asfaltikotik sortua	Gardelegi (Araba)	2009/09/09
ARV-5	Agregakin birziklatu hautatua, % 100 zeramika gorriaren hondakina jatorri duena	VOLBAS, S.A. (Bizkaia)	2009/09/09
ARB-6	Agregakin birziklatu mistoa	BTB, S.A. (Bizkaia)	2009/09/23
ARG-6	Agregakin birziklatu mistoa, material zeramiko gutxirekin	Gardelegui (Araba)	2009/09/23
ARV-6	Agregakin birziklatu mistoa	VOLBAS, S.A. (Bizkaia)	2009/09/23
ARB- I	Orkonerako proba-tartean erabilitako agregakin birziklatu mistoa	BTB, S.A. (Bizkaia)	2010eko maiatza
ARV- II	Txorierriko proba-tartean erabilitako agregakin birziklatu mistoa	VOLBAS, S.A. (Bizkaia)	2010eko ekaina

1. taula. Laginen identifikazioa.

Bosgarren bilketako laginak (ARB-5; ARG-5 eta ARV-5) ikerketa honetarako ex profeso hautatutako obra-hondakinetako agregakin birziklatuetatik ateratakoak dira. Agregakin birziklatu mistoko material nagusien portaera berezia zehazteko karakterizatu ziren lagin horiek.

Laginketa UNE EN 932-1 arauaren arabera egin zen, instalazio bakoitzean egunero ekoizten diren 6 eta 10 tona arteko agregakin birziklatuak oinarri hartuta. Bilketa egin ondoren, bost pegar jarri ziren inguruan, eta arauan ezarritakoaren arabera bete ziren. Material pikortsua laborategian homogeneizatu zen, iraulketa- eta pitzatze-tekniken bidez.

Azterketaren helburu ziren ezaugarri kimikoak zehazteko, protokolo honen arabera prestatu ziren laginak:

- Lagin bakoitzaren kurba granulometrikoa UNE EN 933-1 arauaren arabera zehaztea.
- 4 mm-ko bahean atxikita geratzen den eta pasatzen den material pikortsuaren ehunekoak kalkulatzeko.
- Frakzio lodi batekin (> 4 mm) osatutako 5 kg inguruko azpilagin bat —“atxikitako ehunekoaren” proportzionala— eta frakzio fin bat (< 4 mm) —“pasatutako ehunekoaren” proportzionala— prestatzea.
- Frakzio lodia eta fina batera ehotzea, 2 mm-tik beherako tamainak bermatuz, azterketa honetan kontuan izan beharreko analitika kimikoko prozeduren arabera.

Protokolo horren bidez, ziurtatzen da agregakin birziklatuaren ezaugarri kimikoak materia pikortsuaren ezaugarri orokorrekin bat datozela, eta ez frakzio finaren ezaugarriekin bakarrik.

#### 4.1.1.2 Metodologia esperimentalak

Betegarri, zelaigune eta zagorren aplikazioei dagokienez, zalantzak sortzen dituzten zenbait parametro —saiakuntza-prozedurari eta aplikatu beharreko mugari dagokionak— sakonago azaldu behar dira, aurretiaz egindako azterketetan ezarritakoarekin bat(5). Hona hemen egindako saiakuntzen deskribapena, haien izaeraren arabera banatuta.

Agregakin lodi birziklatuen osagaien azterketa UNE EN 933-11 arauaren arabera egin zen. Saiakuntza horren bidez, agregakin birziklatua osatzen duten materialek material pikortsu horren portaera fisiko-mekanikoan eta kimikoan duten eragina zehaztu ahal izan zen, emaitzei buruzko eztabaidan azalduko den moduan. Agregakin birziklatuek errepideen nahasi gabeko aplikazioetan izan beharreko araudiaren oinarriak argumentatzeko helburuarekin egin zen hori guztia.

Karakterizazio fisiko-mekanikoa PG-3ren 330. eta 510. artikuluetan ezarritako metodo normalizatuaren arabera egin zen. 2. taulan daude egindako karakterizazio fisiko-mekanikoko saiakuntzak.

Saiakuntza	Araua
Banaketa granulometrikoa	UNE EN 933-1
Harlauza-indizea	UNE EN 933-3
Zatiketarekiko erresistentzia (Los Angeles higadura)	UNE EN 1097-2
CBR indizea (uretan 4 eta 90 egunez murgilduta egon ondoren)	UNE 103502
Plastikotasuna	UNE 103103:93 eta UNE 103103:94
Proctor eraldatua	UNE 103501
Kolapso-saiakuntza	NLT-254
Puzte askeko saiakuntza	UNE 103601

2. taula. Karakterizazio fisiko-mekanikoko prozedurak.

Karakterizazio kimikoa egiteko, PG-3ren 330. eta 510. artikuluetan ezarritako metodo normalizatuak eta agregakin birziklatuei aplikatutako saiakuntza batzuen egokitasuna eztabaidatzeko beste prozedura osagarri batzuk erabili ziren. 3. taulan, egindako karakterizazio kimikoko saiakuntzak biltzen dira.

Saiakuntza	Araua
Materia organikoa zehaztea	UNE 103204
	00°C-n kaltzinazioa galtzea
Sufre totalaren konposatuak zehaztea	UNE EN 1744-1
Uretan disolbatzen diren sulfatoak zehaztea	UNE EN 103201
Igeltsu-edukia	NLT 115
Uretan disolbatzen diren gatzak	NLT 114 eta balioespen kimikoa

**3. taula.** Karakterizazio kimikoko prozedurak.

Emaitzen eztabaida oinarritze aldera, X izpien difrakzioaren eta analisi termiko diferentzialaren teknikak erabili ziren.

Analisi mineralogikoak X izpien difrakzio-teknikaren bidez egin ziren. Neurketa difraktometrikoak kobrezko tutu zeramiko bat zuen Philips X’Pert Pro MPD pw3040/60 difraktometro batekin egin zituzten. Hauek izan ziren neurketen ezaugarri instrumentalak: etengabeko ekorketa, ordubetez, 2-75° 2Ø artean, sorgailuaren tentsioa 40kV eta 40 mA-koa zela. Ondo prozesatzeko, aztertutako laginak eskuz ehotu eta homogeneizatu zituzten, agata-mortero batean.

Termograbitmetria teknikaren bidez, berriz, substantzia baten masa etengabe neurtzen da, tenperaturaren arabera. Kurba termograbitmetriko batekin laginak une bakoitzean duen pisua irudikatzen du ordenatu-ardatzean, eta tenperatura eta/edo denbora abzisa-ardatzean. Pisua mg-tan edo jatorrizko laginaren ehunekoan (%) adieraz daiteke. TG kurbak informazioa ematen du hasierako laginaren egonkortasun termikoari eta osajerari, bitartean sor daitezkeen produktuei eta hondakinaren osajerari buruz, halakorik baldin badago. Aldi berean analisi termiko diferentzial/termograbitmetrikoa egiteko, STANTON analizatzaile bat erabili zen, STA 781 modelokoa giro-tenperaturatik 1.000 °C ingururainoko lan-tenperaturan jarduten dena.

Horrez gainera, frakzio zeramikoaren potentzial puzzolanikoa aztertu zen. “Jarduera puzzolaniko” terminoak puzzlearen osagai aktiboen (gehiago edo gutxiago aldatutako beira-faseak), kaltzio-hidroxidoaren eta uraren artean izaten diren erreakzio guztiak biltzen ditu. Kaltzio-hidroxidoak material puzzolanikoaren osagai azidoekin (silizea eta alumina) erreakzionatzen du, eta kaltzio-silikato eta -aluminato hidratatuak eratzen ditu. Azterketa honetan, oso xehe ehotako izaera zeramikoko agregakin-laginak (adreiluak, teilak) kontaktuan jarri ziren Ca(OH)<sub>2</sub>-n 40°C-an asetako disoluzio batekin. Agregakin xehe zeramikoen laginak kare-disoluzioan murgildu ziren 1, 7, 28 eta 90 egunez.

**4.1.1.3 Laborategiko emaitzak, eta eztabaida**

4. taulan daude izaera mistoko agregakin birziklatuen 15 laginen karakterizazioaren emaitzak. Halaber, taula horretan dago Orkorenako (ARB-I) eta Txorierriko (ARV-II) proba-tarteetan erabilitako laginen karakterizazioa (hurrengo ataletan azalduko dugu horien garrantzia).

Ezaugarria	Proba-tarteak		Laborategiko arau-aurreko ikerketa																		
	ARB-I	ARV-II	Batez.	Min.	Max.	ARB1	ARG1	ARV1	ARB2	ARG2	ARV2	ARB3	ARG3	ARV3	ARB4	ARG4	ARV4	ARB6	ARG6	ARV6	
Komposizioa																					
Rc	Hornigola eta morteroa	51,3	51,1	57	42	79	79	56	48	52	73	59	48	71	57	45	69	42	49	63	48
Ru	Harr naturala	34,7	34,78	16	4	29	4	29	5	13	17	17	14	16	18	17	04	20	20	23	16
	Rc+Ru	86	85,8	74	53	90	83	85	53	65	90	76	62	87	75	62	86	62	69	86	64
Rb	Adreiluak, lauzak	11,6	9,1	19	1	43	16	1	43	31	2	12	34	4	14	30	3	34	28	5	32
Ra	Material bituminosak	1,2	4,9	6	0	14	0	14	2	2	8	12	3	9	10	7	11	3	1	9	2
Rg	Betra	0,3	0,02	0,2	0,0	0,7	0,4	0	0,6	0,7	0	0	0,3	0	0,3	0,1	0	0	0,2	0	0,4
Rx1	Igeltsua	0,4	0,13	0,4	0,0	1,0	0,6	0	0,6	0,9	0	0	0,8	0	0,7	0,3	0	0,3	1,0	0	0,9
Rx2	Materia, zur ez-flotatzaila, plastikoa	0,4	0,03	0,2	0,0	0,8	0	0	0,8	0,4	0	0	0	0	0,6	0	0,7	0,5	0	0,3	
Granulometria (metatutako %)																					
	40 mm	100	100	100,0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	25 mm	73,1	92,3	83,1	71,9	95,8	72,9	93,1	85	95,6	85,0	84	95,8	84,1	89,8	71,9	82,6	77	73,6	77,6	78,5
	20 mm	61,8	87,1	73,7	56,5	87,6	68,2	87,6	70,4	86,4	78,5	76,4	85,3	78,2	81,2	62,4	75,4	63	68,2	67,4	56,5
	8 mm	30,4	62,2	42,3	23,2	62,8	48,2	49,7	17,7	50,9	42,5	59,4	51,2	40,2	62,8	34,6	45,2	24,3	47,2	37,1	23,2
	4 mm	20,0	46,8	29,6	10,0	49,5	37,8	29,5	7,3	38,6	30,0	46,5	39,3	28,1	49,5	22,0	28,6	10	37,8	23,0	15,5
	2 mm	15,4	35,8	20,6	3,8	34,9	29,4	19,1	6,9	27,7	20,8	33,1	28,5	20,0	34,9	14,1	17,8	3,8	27,2	14,2	11
	0,5 mm	10,2	15,9	9,0	0,8	20,0	16,9	8,2	5,6	12,9	8,4	13,8	13,4	8,1	14,5	5,5	7,3	0,8	9,7	5,5	4,9
	0,25 mm	8,1	9,8	5,9	0,4	19,2	11,0	4,6	4,9	9,0	5,4	9,6	9,2	5,3	9,8	3,6	4,6	0,4	4,0	2,8	3,6
	0,063 mm	5,2	3,1	2,9	0,3	17,7	5,1	1,3	3,1	4,0	1,8	4	4,3	2,0	3,8	2,0	2,3	0,3	3,2	2,6	3,3

4a. taula. Agregakin birziklatu mistoen karakterizazioa erreptide-zonuen nahasi gabeko aplikazioetan erabiltzeko.

Ezaugarria	Proba-tarteak		Laborategiko arau-aurreko ikerketak																	
	ARB-I	ARV-II	Batez.	Min.	Max.	ARB1	ARG1	ARV1	ARB2	ARG2	ARV2	ARB3	ARG3	ARV3	ARB4	ARG4	ARV4	ARB6	ARG6	ARV6
Lauza-indizea (%)	16	13	17	9	32	9	14	31	20	9	17	20	9	20	13	17	14	22	11	32
Plastikotasuna	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	-	-	-	NP	NP	NP	-	-	-	-	-	-
Zaitketarekiko erresistentzia (%)	34	38	38	29	41	39	31	41	40	34	38	39	30	37	39	29	29	39	32	41
Proctor eraldatuaren gehieneko dentsitate (kg/m <sup>3</sup> )	191 5	190 1	2003	1884	2067	1884	2037	1937	-	-	-	2055	2067	2035	-	-	-	-	-	-
Proctor-a trinkotzeko hezetasun optimoa (%)	12,9	13,5	7	5	9,14	7,9	5	5,3	-	-	-	9,14	5,6	6,2	-	-	-	-	-	-
CBR (4 eguneko murgilketa)	100,2	103,1	99	76,7	130,2	89,5	78,7	80,3	-	-	-	130,2	105,4	111,1	-	-	-	-	-	-
CBR (28 eguneko murgilketa)	244,3	187,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materia organikoa. Erreakzioa, permanganatoarekin (%)	-	0,49	0,79	0,59	1,17	0,82	0,83	0,59	0,6	0,82	0,85	1,17	0,95	0,86	0,84	0,85	0,59	0,72	0,88	0,73
Materia organikoa. 500 °C-ko kaltzinazioak eragindako galera	-	-	2,78	2,05	4,41	3,08	2,45	3,34	2,68	2,56	2,18	4,41	2,80	2,95	2,42	2,05	2,12	3,49	2,37	2,81
Sufre totaleko konposatuak (% SO <sub>3</sub> )	-	0,46	0,85	0,21	2,13	0,97	0,21	1,66	1,23	0,23	0,65	1,77	0,28	2,13	0,73	0,13	0,47	0,97	0,38	0,98
Sulfatos solubles en agua (% SO <sub>3</sub> )	0,21	0,13	0,24	0,02	0,6	0,30	0,02	0,47	0,35	0,02	0,19	0,51	0,03	0,8	0,22	0,02	0,14	0,31	0,04	0,32
Uretan disolbatzen diren gaitzen edukia (%)	0,87	0,72	2	0,68	3,74	1,81	0,7	2,48	2,01	0,68	0,99	2,55	0,98	3,74	1,01	0,76	1,05	1,44	0,77	1,87
Igeltsu-edukia, NLT 115en arabera (%)	-	-	0,52	0,03	1,34	0,65	0,07	1,11	0,78	0,03	0,41	1,15	0,07	1,34	0,47	0,04	0,3	0,66	0,1	0,69
Sulfato magnesikoaren disoluzioarekiko egonkortasuna (%)	22	5	19,3	4	25	-	-	-	-	-	-	25	9	24	-	-	-	-	-	-

Tabla 4b. Agregakin birziklatu mistoen karakterizazioa errepede-zoruen nahasi gabeko aplikazioetan erabiltzeko.

## Osagaien analisia

Osagaien analisiaren arabera, EAEn ekoiztutako agregakin birziklatuetan, material hauek dira nagusi:

Osagaia	Proporzioa (%)
Hormigoia	57
Material zeramikoak	19
Material pikortsu naturalak	16
Asfaltoa	6
Igeltua + frakzio organikoak (zura, plastikoa, papera) + beste material desegoki batzuk	<2

### 5. taula.

Prozesu guztiak elkarrekin alderatuta, nolabaiteko antzekotasuna ikusten da  $ARB_i$  eta  $ARV_i$  produktuen osieran.  $ARG_i$ -ren bitarteko balioek, berriz, hormigoizko eta asfaltozko agregakin-eduki handiagoa adierazten dute, eta material zeramiko gutxiago.



1. irudia. Agregakin birziklatuen osagaiak (ARB eta ARG serieak).

## Analisi granulometrikoa

Analisi granulometrikotik ondorioztatzen da EAEn sortutako agregakin birziklatua, zagorren erabilerarako, ZA25era egokitzen dela, % 30etik beherako frakzio fineko ehunekoekin (< 4 mm). Halaber, material pikortsuak zelaiguneetako lurzoru hautatu gisa erabiltzeko baldintza granulometrikoak betetzen ditu.

## Harlau-indizea

Harlauza-indizeari dagokionez, ondorioztatzen da agregakin birziklatu mistoko laginek % 17 inguruko batez besteko balioak dituztela. Aztertutako lagin guztietan, % 35etik beherako indizeak ateratzen dira; hain zuzen, hori da PG3ko 510. artikuluan zagorra-material gisa erabiltzeko ezarritako muga.

## Plastikotasuna

Plastikotasunari dagokionez, agregakin birziklatuak ez dira plastikoak, aurretiaz egindako azterketetan bezala<sup>(5)</sup>.



## Zatiketarekiko erresistentzia

Zatiketarekiko erresistentziari dagokionez, joera hauek aipatu behar dira:

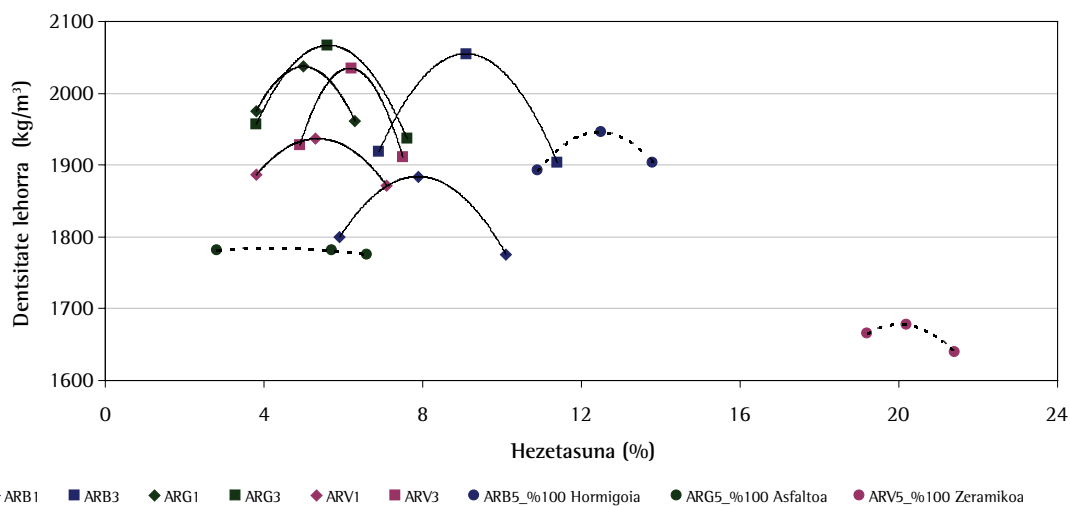
- % 20 eta 30 bitarteko zeramika-ehunekoak dituzten agregakin birziklatu mistoek (ARB eta ARV serieak), gehienbat, 35 eta 40 arteko balioak agertzen dituzte zatiketarekiko erresistentziari dagokionez. Horrek bidezoruetako geruzetan aplikatzeko aukera mugatu egiten du.
- % 5etik beherako zeramika-ehunekoak (ARG seriea eta % 8tik gorako asfalto-edukia duten agregakin birziklatu mistoek 35etik beherako erresistentzia agertzen dute zatiketarekiko.

Gaur egun, PG-3ren arabera, 35 MPa-tik gorako konpresioarekiko amaierako erresistentzia duten eraispenetatik ateratako agregakin birziklatuak erabiltzen badira, Los Angeles koefiziente-balioa eskatutako balioak baino 5 unitate handiagokoa izan daiteke. Zehazpen hori aplikatzea zaila da.

Hala eta guztiz ere, alde horretatik, agregakin xehe zeramikoek eragin ona dute material pikortsuaren kontsolidazioan; izan ere, erreazio puzzolanikoa indartzen laguntzen dute, 4. eta 5. irudietan ikusten den bezala. Hala, material horiek gehiago higatu arren, kohesio hobea dute.

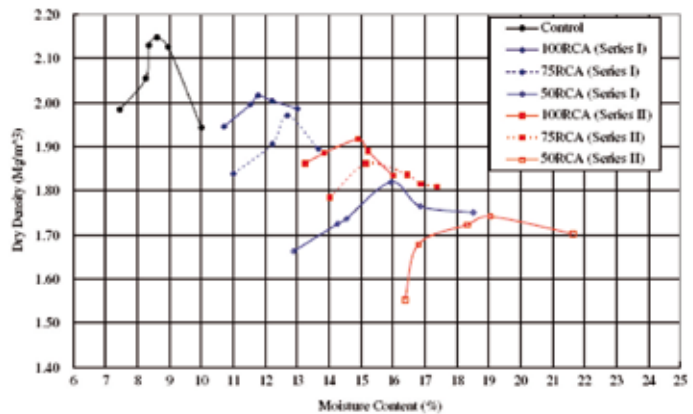
## Trinkotzeko gehieneko dentsitateak eta hezetasun optimoak

Agregakin birziklatu mistoek lurzoru naturalen eta beste mota bateko material pikortsuen<sup>(6)</sup> antzeko gehieneko dentsitateak eta hezetasun optimoak dituzte. Agregakin birziklatuak zenbat eta material zeramikoko eduki handiagoa izan, orduan eta hobea da hezetasun optimoa (ikus 2. irudia). Halaber, hormigoia eta material zeramikoaren konbinazioak trinkotze-dentsitate handiagoak eragin ditzake, hormigoizko agregakin birziklatura atxikitako morteroaren nahiz material zeramikoaren zatiketarik material xehe gehiago sortzen delako. Emaitzek Hong Kongo unibertsitateko Poon irakasleak<sup>(7)</sup> jasotakoak antzeko joerak adierazten dituzte.



2. irudia. Trinkotzeko hezetasun optimoa eta gehieneko dentsitatea.

Blend ratio, % (By weight)				
<i>Control</i>				
Blend	40 mm	20 mm	10 mm	<5 mm
Control	20	10	40	30
<i>Series I (with recycled concrete aggregate as fine aggregate)</i>				
Blend	40 mm	20 mm	10 mm	<5 mm
	RCA	RCA	CB	RCA
100RCA	20	10	0	40
75RCA	20	7.5	2.5	30
50RCA	20	5	5	20
<i>Series II (with crushed clay brick as fine aggregate)</i>				
Blend	40 mm	20 mm	10 mm	<5 mm
	RCA	RCA	CB	RCA
100RCA	20	10	0	40
75RCA	20	7.5	2.5	30
50RCA	20	5	5	20



3. irudia. Trinkotzeko hezetasun-dentsitate erlazioa agregakin birziklatuen hainbat nahastutarako [Poon et al, 2006<sup>[7]</sup>].

### Ahalmen eramailearen analisia, CBR indizetik abiatuta

Ahalmen eramailea handiagoa da —CBR indizearen bidez neurtzen da—, agregakin birziklatuan hormigoia eta material zeramikoa batera daude eta. Erresistentzia mekanikoa handiagoa da, batetik, material xehe zeramikoen eta, urarekin, hormigoian dagoen porlanditaren arteko erreakzio puzzolanikoengatik, eta, bestetik, hormigoizko agregakin birziklatuetan dagoen zementuaren nolabaiteko hondar-hidraulizitatearengatik. Material kimikoaren jardura puzzolanikoa —bilketa desberdinetako material zeramiko hautatuko bi laginetarako— 4. eta 5. irudietan ikusten da.

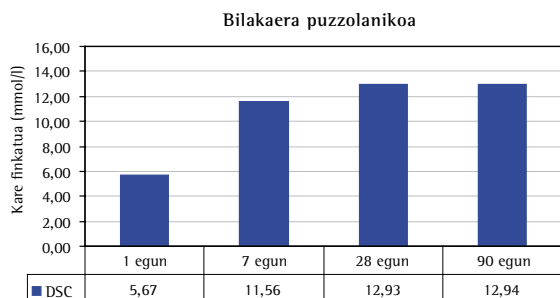
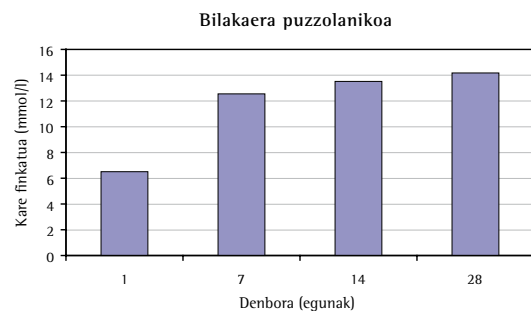


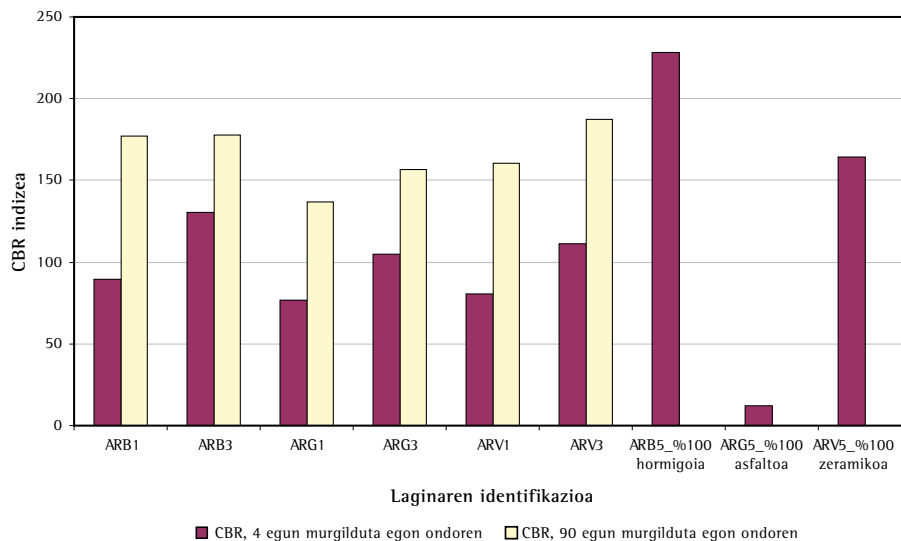
Figura 4. Xehe-xehe ehotako material zeramiko birziklatuaren jardura puzzolanikoa 1. lagina.



5. irudia. Xehe-xehe ehotako material zeramiko birziklatuaren jardura puzzolanikoa 2. lagina.

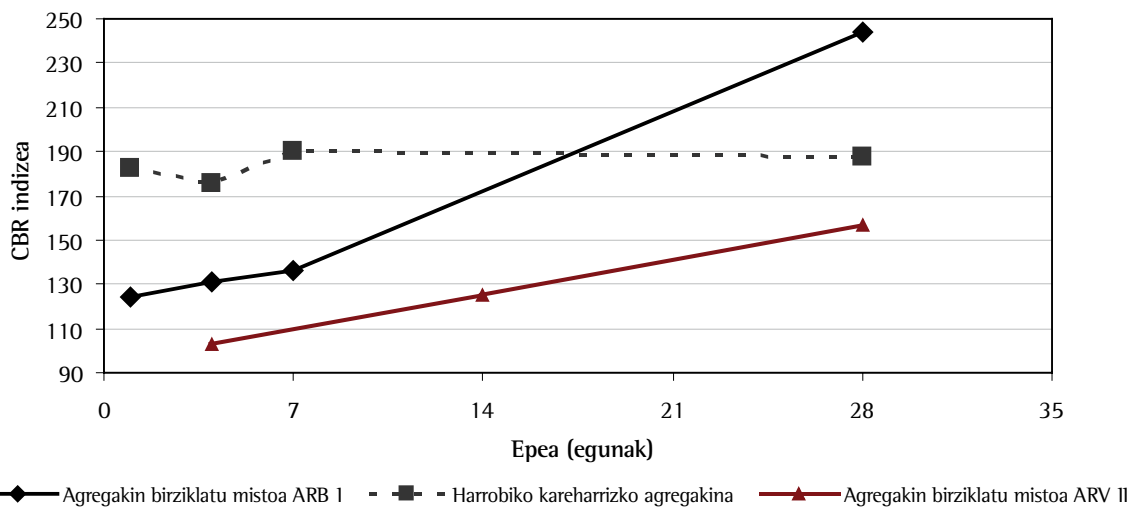
Jardura puzzolanikoko balioek erakusten dute lehenengo erreakzio-egunetan material xehe zeramikoek kare-eduki handiak finkatzen dituztela. Erreakzioan 7 egun egin ondoren, material zeramikoak finkatutako karea disoluzioan dagoen karearen % 65,4ra iristen da. 7 eta 28 egun bitartean, erreakzio puzzolanikoaren zinetika mantsotu egiten da, eta, epe horretan, karearen % 73 inguru finkatzen da. 90. erreakzio-egunean, ia ez da jardura puzzolanikorik atzematen.

Denborak aurrera egin ahala ahalmen eramailea hobetu egiten dela frogatzeko, hainbat laginen CBR indizea zehaztu zen, bi epetan: uretan murgildu eta 4 egunera —entsegu normalizatuaren arabera— eta 90 egunera, gehieneko ahalmen puzzolanikoa bermatzeko. 6. irudian daude lortutako balioen arteko aldeak.



6. irudia. CBR indizearen eboluzioa uretan 4 eta 90 egunetan murgilduta egon ondoren.

Horrez gainera, 7. irudian, agregakin birziklatuko laginen CBR indizearen eboluzioa (proba-tarteetan erabilitako ARB-I eta ARV-II) kareharri izaerako harrobi bateko lagin batekin alderatzen da. Hala, agregakin birziklatu mistoarekin trinkotutako materialaren ahalmen eramailea hobetuz joaten da, uretan 28 egunetz murgilduta egon arte; kareharriko agregakinarekin trinkotutako materialak, berriz, portaera konstantea agertzen du epe horretan.



7. irudia. Ahalmen eramailearen bilakaera: agregakin birziklatua (ARB-I eta ARV-II) eta kareharriko agregakina.

7. irudiko emaitzen arabera, agregakin birziklatu mistoen laginen kasuan, 14 egunetara CBR indizea % 20 eta % 30 artean handiagoa da 4 egunetara lortutakoa baino. Halaber, 28 egunetara, CBR indizea % 50 handiagoa da 4 egunetara lortutakoa baino.

### Materia organikoa

Ikerketa honen aurretik egindako lanetan<sup>(5)</sup> ondorioztatu zen material organikoaren edukia zehazteko potasio permanganatoa erabiltzea agian ez dela egokia, hondakin edo azpiproduktu industrialen balorizaziotik datozen bigarren mailako produktuei aplikatzen bazaie. Alde horretatik, parametro hori 500 °C-ko kaltzinazio-galera bidez lortzea pentsatu zen, material organikoaren eduki handiko hondakinetan (adibidez, papera fabrikatzeko prozesuetan erabiltzen diren lohiak<sup>(8)</sup>) emaitza ona izan baitzuen teknika horrek.

Konposizio-entsegua bidez lortutako materia organikoaren edukia txikiagoa da potasio permanganatoarekin egin-dako balorazioaren bidez lortutakoa baino. Halaber, azken emaitza hori txikiagoa da 500 °C-ko kaltzinazio-galera bidez lortutakoa baino. Beraz, badirudi beharrezkoa dela aztergai ditugun serieetako konposatu mineralai buruzko azterketa sakontzea (ARBI, ARG1 eta ARVI laginak), X izpien difrakzio-tekniken, termograbitriaren eta analisi termiko diferentzialaren bidez eta agregakin naturalen eta Portland zementuen materia organikoa zehaztuz.

6. taulan (Agregakin birziklatu mistoen mineralogia) dago ARBI, ARG1 eta ARVI laginen konposatu kristalinoen identifikazioa.

Fase minerala	ARBI	ARG1	ARVI
Basanita: $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$			<input type="checkbox"/>
Kaltzita: $\text{CaCO}_3$	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Kuartzoa: $\text{SiO}_2$	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Dolomita: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Plagioklasa: $(\text{Ca,Na})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Feldespatu potasikoa: $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$	<input type="checkbox"/>		
Muskobita: $(\text{K,Na})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si}_2\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Portlandita: $\text{Ca}(\text{OH})_2$		<input type="checkbox"/>	

6. taula. Agregakin birziklatu mistoen mineralogia.

Agregakin birziklatu misto baterako egindako difrakzioak hormigoian dauden sulfatoen faseak detektatzea galarazi dezakeenez, zementu-pastan aberastutako frakzioak aztertu ziren, ARBI, ARG1 eta ARVIH laginetako hormigoizati-entzien bidez («ARB-IH», «ARG-IH» eta «ARV-IH» deitu zieten, hurrenez hurren). Zementu-pastan kontzentratutako materiala ateratzeko, agregakin birziklatu mistoaren lagin bakoitzean zegoen hormigoizko material pikortsuaren lagin adierazgarriak hautatu ziren.

Ondoren, zementu-pasta agregakinetik bereizi zen, mazo baten bidez. 500 µm, 230 µm eta 90 µm-eko baheekin osatutako zutabe bat erabiliz bahetu zen materiala. 90 µm-ko bahetik pasatu zen materialarekin egin zen azterketa.

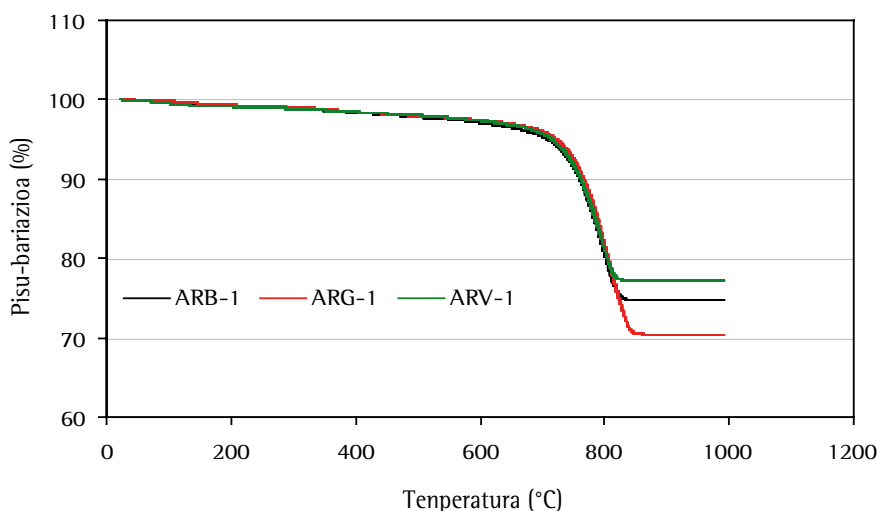
7. taulan (Agregakin birziklatuetan dagoen zementu-pastaren mineralogia) daude zehaztuta ARB-IH, ARG-IH eta ARV-IH laginen konposatu kristalinoak.

Fase minerala	ARB-IH	ARG-IH	ARV-IH
Kaltzita: $\text{CaCO}_3$	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Kuartzoa: $\text{SiO}_2$	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ettringita: $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Feldespatu potasikoa: $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$	<input type="checkbox"/>		
Hidrokalumita: $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{OH})_6\text{Cl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$			<input type="checkbox"/>
Portlandita: $\text{Ca}(\text{OH})_2$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Igeltsua: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. taula. Agregakin birziklatuetan dagoen zementu-pastaren mineralogia.

Aztertutako agregakin birziklatuko hiru laginetan igeltsua, ettringita eta porlandita dagoela ondorioztatu da. Mineral nagusiek (kaltzita eta kuartzoa) alderatuta kontzentrazioa txikia denez, konposatu horiek ez dira detektatzen agregakin birziklatu mistoko laginetatik abiatuta. Hala eta guztiz ere, konposatu horiek egiaztatzea garrantzitsua da agregakin birziklatuetako sulfatoen disolbagarritasunari buruz eztabaidatzeko.

Bestalde, 8. irudian dago ARBI, ARG1 eta ARV1 laginen pisu-galeraren eboluzioarekin lotutako termograbimetria. Emaitzek oso antzeko eboluzioak erakusten dituzte birziklatutako produktuaren jatorri desberdinen artean, X izpien difrakzioarekin ondorioztatutakoarekin bat. 20 °C eta 700 °C arteko temperatura-tartean, agregakin birziklatuek pixkanakako pisu-galera mantsoa adierazten dute. 700 °C eta 830 °C artean, agregakinen pisua bat-batean gutxitzen da, kaltzitaren deskarbonatazio-prozesuaren eraginez. 830 °C-tik aurrera, pisua temperaturaren igoerarekiko konstante mantentzen da.



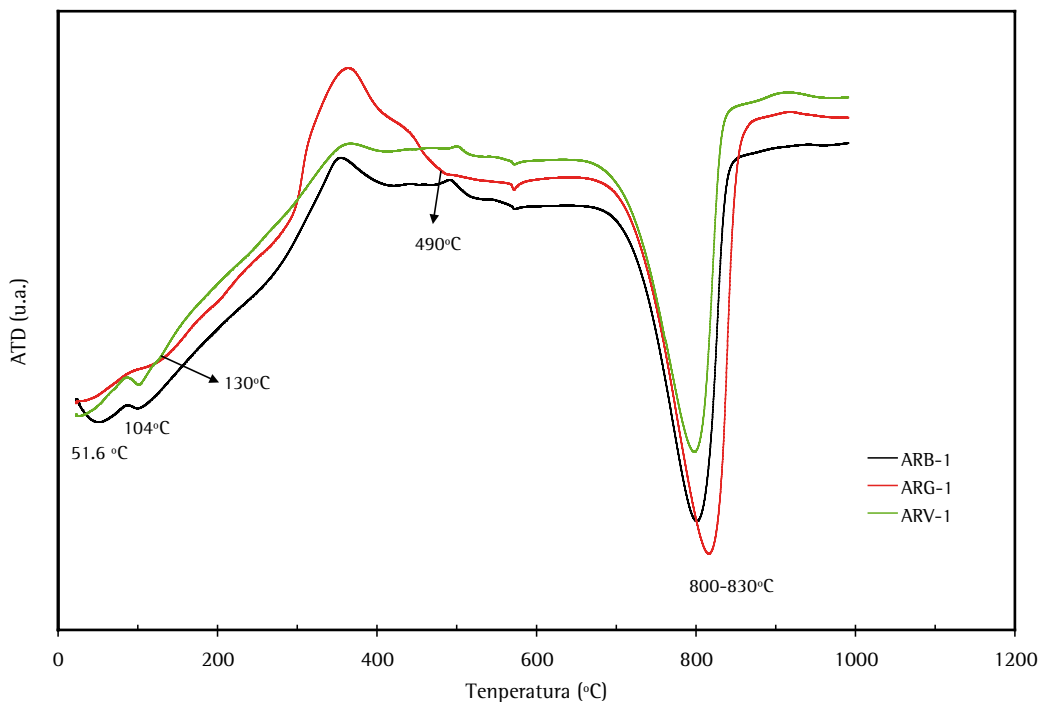
**8. irudia.** Agregakin birziklatu mistoaren laginetan egindako termograbimetria.

8. taulan (8. TAULA ARBI, ARG1 laginen pisu-galerak), pisu-galeraren balioak daude, temperatura-tarte bakoitzerako. Emaitzen arabera, galerak oso antzekoak dituzte hiru agregakinek, kalizaren deskarbonatazio-prozesuan izan ezik. ARG1 agregakinak du kaliza-eduki handiena; segidan, ARBI agregakinak, eta gutxiena, ARV1 agregakinak.

Galerak (%)	0-200°C	200-500°C	500-1000°C	CO <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> Ca)	0-1000°C
ARB-1	0,717	1,446	23,11	21,40	25,27
ARG-1	0,677	1,394	27,60	26,29	29,67
ARV-1	0,885	1,076	20,84	19,56	22,80

**8. taula.** ARBI, ARG1 eta ARV1 laginen pisu-galerak.

9. irudian, analisi temiko diferentzialak (ATD) ageri dira. Grafikoan ikusten denez, 51,6 °C, 104 °C eta 800-830 °C inguruko 3 banda endotermiko ageri dira. 51,6 °C-ko banda hezetasun-galerari dagokio. 104°C-ko banda, berriz, baliteke igeltsu dihidratoa (2\*H<sub>2</sub>O) igeltsu hemihidratatu edo basanita (1/2\*H<sub>2</sub>O) —eta hura anhidrita III.— bihurtzen duen deshidroxilazio partzialaren ondorioa izatea. X izpien difrakzio bidez, ikusi da basanita eta igeltsua daudela. Beste behin ere, hidratazio-aldaera guztietan kaltzio-sulfatoak daudela ondorioztatu da. ARG1 laginak erakusten duenez, bandak temperatura handiagoak hartzen ditu (130 °C inguru), Portland zementuaren hidratatiziotik datozen CSH gelen kontzentrazioa handiagoa delako. 490 °C-ko banda porlandita-aztarnen ondorioa izan daiteke.



#### 9. irudia. ATDek agregakin birziklatu mistoen laginetan duten eboluzioa.

Banda endotermiko nagusia (800-830 °C) kareharrizko materialaren eduki handiekin lotuta dago. Agregakinetatik (xeheak nahiz lodiak) edo, zementua hidratatu ondoren, portlandita karbonatatzetik dator material hori. Bandaren formaren eta deskonposizio-tenperaturaren eraginez, kaltzita-kopuru handiagoa egongo dela ondorioztatzen da, dolomita pixka batekin batera (X izpien difrakzio bidezko analisietan ateratako ondorioen arabera).

300 °C eta 350 °C arteko tartea materia organikoaren deskonposizioarekin lotuta dago, eta antzeko erregistroak ditu ARBI eta ARVI laginetan ere. ARG1 laginean, eragina pixka bat handiagoa da, konposizioan asfalto gehiago dagoelako. Materia organiko biodegradagarri asko egonez gero (zura, papera, plastikoak), ARBI eta ARVI laginetakoen antzerako banda endotermikoak lortuko liriteke. Halaber, denborarekin, zuraren errekuntza mantsoagoa eta luzeagoa da, eta, ondorioz, kontzentrazioa oso txikia bada, zailagoa da ATD bidez detektatzea.

9. taulan (Kareharrizko eta zementuzko agregakinetako materia organikoaren zehaztapena), materia organikoaren emaitzak daude, potasio permanganato bidezko balorazioaren bidez zehaztuta (UNE 103204), harrobiko kareharrizko eta Portland zementuzko agregakinetarako.

Probatutako materiala	Materia organikoaren edukia, UNE 103204-ren arabera (%)
Harrobiko kareharrizko agregakin naturala	0,53
CEM I	0,16
CEM II	0,18

#### 9. taula. Materia organikoaren zehaztapena kareharrizko eta zementuzko agregakinetan.

Agregakin naturalei nahiz zementuei dagokienez, balorazioa handia da. Kareharrizko agregakinetan, permanganatoak arroka sedimentarioaren<sup>(9)</sup> berezko genesiari atxikitako material organikoarekin erreakziona dezake. Aldi berean, erreaktibo horrek zementuetan dauden metal batzuk oxidatu ditzake. Aurreko emaitzak 4. taulan aurkeztutakoekin alderatuta, ondorioztatzen da, materia organikoaren edukari dagokionez, agregakin birziklatuek harrobiko agregakinen antzeko edukiak dituztela.



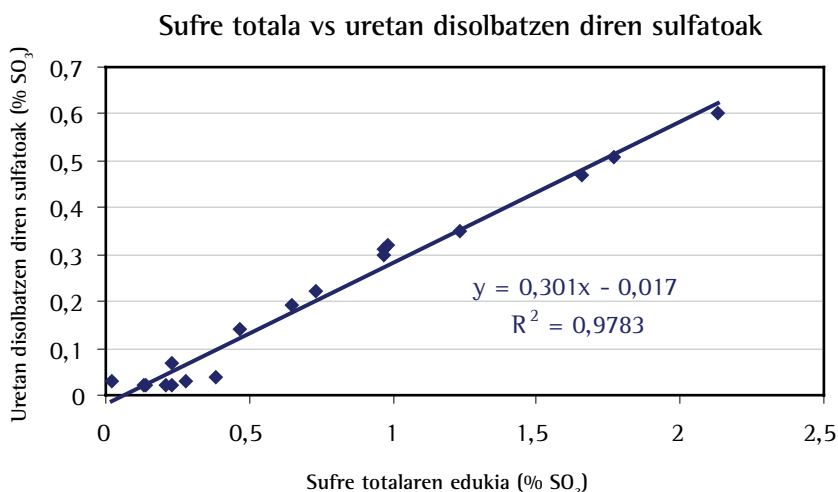
Azalpen horiek guztiak eman ondoren, ondorio hauek ateratzen dira materia organikoaren zehaztapenari buruz:

- 500 °C-ko kaltzinazio bidezko galera ez da baliozkoa helburu horretarako; izan ere, entsegu horrek materia organikoari eragiteaz gain, agregakin birziklatuetan dauden hainbat fase minerali eragiten die (igeltsua, CSH gelak eta porlandita).
- Materia organikoa permanganato-entseguaren bidez zehaztea ez da batere metodo selektiboa, eta ez du agregakin birziklatu mistoetako ezpurutasun organikoen presentzia zehazten (zura, papera, plastikoa).
- Ezpurutasun organikoen edukia zehazteko, eraginkorragoa da EN 933-II arauan jasotako osagaien entsegua erabiltzea.
- Agregakin birziklatuen frakzio xehearen beste ezpurutasun-mota batzuk zehazteko, harearen baliokidetasun-entseguak (UNE-EN 933.8) edo buztin-koskorren edukiari buruzko entseguak (UNE 7133) egin daitezke.

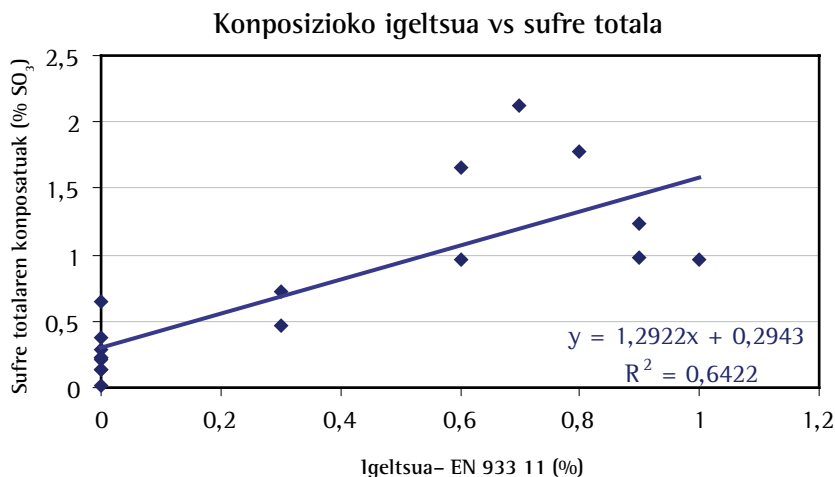
### Sufre totaleko konposatuak, uretan disolbatzen diren sulfatoak eta igeltsu-edukia

Errepide-zoruetako nahasi gabeko egiturazko aplikazioetarako (zelaiguneak eta azpioinarrriak), material pikortsuei dagokienez, mugatu egiten da sulfre-konposatuen erabilera, hiru entsegu-motatan oinarrituta. Zelaiguneak egiteko materialen sulfre-konposatuen edukia zehazteko, uretan disolbatzen diren sulfatoak zehazten dira —UNE 103201 arauaren arabera (ikus PG3-ren 330.4.1.1 atala)— edo igeltsu-edukiaren balorazioa egiten da —NLT 115. arauaren arabera (ikus PG3-ren 330.4.4.3 atala)—. Bestalde, bide-zoruetako geruzak egiteko zagorrei dagokienez, UNE-EN 1744-I arauak zehazten du sulfre total konposatuen edukia (ikus PG-3ren 510.2.2 atala). Bestalde, EN 933-II arauak ikuskapen bidez zehazten du konposizioko igeltsua. Dena den, aipatutako prozedura guztiek helburu bera dute: sulfatoen disolbagarritasuna mugatzea, sekzioaren dimentsio-egonkortasuna bermatzeko eta, hartara, sulfatoen alboko hormigoizko egituretan patologiarik ez sortzeko.

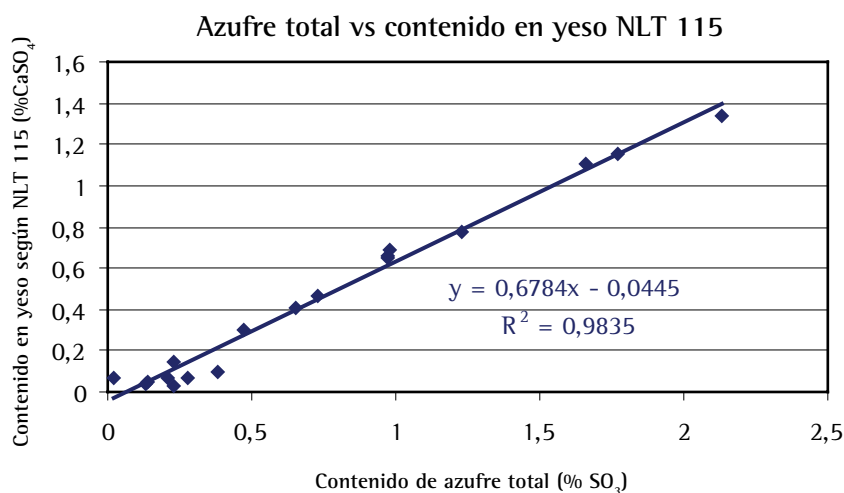
Ikuspegi horretatik, entseguen bidez lortutako emaitzen arteko erlazioa eta disolbagarritasunean eragin handiena duten fase mineralak eztabaidatuko ditugu azpiatal honetan. 10. eta 12. irudietan dago entseguen arteko erlazioa.



**10. irudia.** Sufre totaleko konposatuen eta uretan disolbatzen diren sulfatoen arteko erlazioa.



11. irudia. Konposizioko igeltsuaren eta sufre totaleko konposatuen arteko erlazioa.

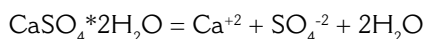


12. irudia. Sufre totaleko konposatuen eta igeltsu-edukiaren arteko erlazioa NLT 115en arabera.

Hiru grafiko horien bidez, sufre-konposatuekin egindako 4 entsegu-motak erlazioatzen dira. *Sufre totaleko konposatuen eta horiek uretan duten disolbagarritasunaren artean korrelazio ezin hobea dagoela ikusi da. Hala, esan daiteke sufre-konposatuen 1/3 inguru disolbagarriak direla ur-ingurunean (ikus erregresio-zuzenaren malda 10. irudian). Hala-ber, NLT 115. arabera, korrelazio ona dago sufre totaleko konposatuen eta balorazio kimiko bidez lortutako igeltsu-edukiaren artean. Ebidentzia horiek kontuan izanik, ondorioztatzen da entsegu bakar bat nahikoa dela sufre totaleko konposatuei, horien disolbagarritasunari eta igeltsu-edukiari buruzko informazioa ateratzeko.*

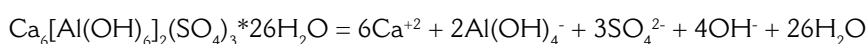
Bestalde, 11. irudian ikustenenez, igeltsu pikortsua ikusten ez den laginetan, % 0,3 inguruko sufre totaleko konposatuak daude (ikus erregresio-zuzenaren eta ordenatu-ardatzaren arteko elkargunea). Hormigoizko agregakin birziklatuak igeltsua eta ettringita dituelako gertatzen da hori, 7. taulan ikusten den bezala. Konposatu horiei dagokienez, zer disolbagarritasun duten azaldu behar da. Bi fase mineral horien disoluzio-erreakzioak —25 °C-ko ur garbian— honela deskriba daitezke<sup>(10)</sup>:

(1) **Igeltsuaren disoluzio-erreakzioa:**



Erreakzio horretan, ur garbiko disolbagarritasunaren eta diluzio infinituaren arteko biderkaduraren logaritmoa  $\log K_{\text{sp}} = -4,58$ .

(2) **Ettringitaren disoluzio-erreakzioa:**



Erreakzio horretarako, ur garbiko disolbagarritasunaren eta diluzio infinituaren arteko biderkaduraren logaritmoa  $\log K_{sp} = -44,91$  da.

Adierazitako erreakzioen disolbagarritasun-balioek zalantzarik gabe adierazten dute igeltsua askoz ere disolbagarritasun delat ettringita baino. Beraz, ingurune alkalino batean, sulfato disolbagarriaren iturri nagusia igeltsua izango da, seguruenik.

$Ca(OH)_2-Al_2(SO_4)_3-H_2O$ , a pH > 10,5 sisteman, posible dira fase hauek: ettringita, monosulfoaluminatoa, igeltsua, hidrogranatea, portlandita eta aluminio hidroxidoa (gibsita). *Disoluzio oso alkalinoetan eta sulfatoan aberatsak diren disoluzioetan, ettringita da fase egonkorrena*; izan ere, pHak, temperaturak, disolbatutako CO<sub>2</sub>-ak eta ur-kantitateak konposatu horren egonkortasunari eragiten diote<sup>(1)</sup>. Ettringita egonkorra da 11 eta 12,5 arteko pHarekin. pHa 10,5etik beherakoa izanez gero, errazagoa da disolbatzea. *Hormigoian portlandita egoteak alkalinitasun-maila altuak mantentzen laguntzen du*. Konposatu horrek igeltsuak baino disolbagarritasun-biderkadura handiagoa du ( $\log K_{sp} = 22,8$ ), eta ura portlanditaz asetzean, pHa 12,4 baliora iristen da.

Aipatutako faktoreak kontuan izanik, sulfato disolbagarri gehienak igeltsuaren disoluziotik etorriko dira. Ettringita egonkor mantentzen da material pikortsuak alkalinitatea mantentzen duen bitartean, hormigoian dagoen portlanditaz lagunduta. Testuinguru horretan, *uretan disolbatzen diren sulfatoen entsegua garrantzitsua da agregakin birziklatu mistoekin egindako sekzioen portaera ona bermatzeko*.

Igeltsu pikortsurik gabeko materialei dagokienez (emokaduretatik, eskaoletatik... datozenak), egiaztatu da sufretotalerako konposatuak % 0,3 inguru direla. Horiei dagokien disolbagarritasuna, berriz, % 0,1 ingurukoa da. Horrek adierazten du, zagorra-aplikazioetan, sufretotalerako konposatuaren gehieneko muga % 1,3ra igo daitekeela. *Onartutako gehieneko maila % 1,3an jarritz, % 0,4 inguruko disolbagarritasuna lortuko litzateke*. Baldintza horiek betetzeko, igeltsu pikortsuko materialen edukia % 0,8tik beherakoa izan behar du.

### Gatz disolbagarriak

Betelanean eta zelaiguneetan, gatz disolbagarriak erabili behar dira, egin beharreko sekzioen dimentsio-egonkortasuna ziurtatzeko. Aztertutako laginetan jasotako emaitzak % 0,68 eta % 3,74 artekoak dira. Hain zuzen, ARB3 (% 2,55) eta ARV3 (% 3,74) laginetan jaso dira gatz disolbagarrien balio handienak. Material bakoitzarekin lotutako gatz disolbagarri mota zehazteko, uretan disolbatutako ioiak aztertu ziren, batetik, hormigoizko agregakin birziklatu hautatuetan (ARB5) eta, bestetik, izaera zeramikoko agregakin (ARV5). Espezie ionikoen zehaztapena oinarritzeko, material bakoitzari dagozkion fase mineralak aztertu dira, 10. taulan adierazitakoaren arabera. Bestalde, 11. taulan daude ioi-kontzentrazioak.

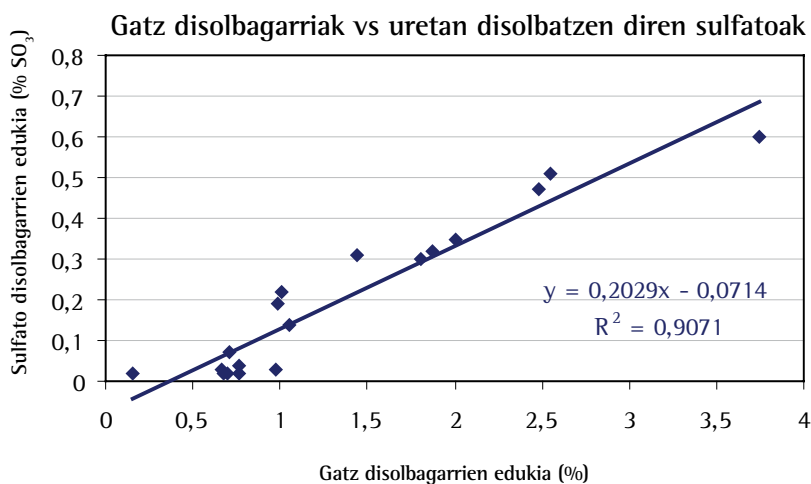
Fase minerala	ARB5 Hormigoi hautatua	ARG5 Asfalto hautatua	ARV5 Material zeramiko hautatua
Kaltzita: CaCO <sub>3</sub>	□□□□□	□□□□□	□□□□□
Klorita: (Mg,Fe) <sub>6</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>		□	
Kuartzoa: SiO <sub>2</sub>	□□	□□	□□□□□
Dolomita: CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	□		
Hematitea: Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			□
Illita: (K,H <sub>3</sub> O)Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	□		□□
Plagioklasa: (Ca,Na)(Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>		□□	
Feldespatu potasikoa (mikroklina): KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>			□□

10. taula. Agregakin birziklatu hautatuen mineralogia.

Kontzentrazioa	ARB5 Hormigoizko hautatua	ARV5 Material zeramiko hautatua
pH	11,5	10,1
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	14	11
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	81	100
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	120	47
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	0,54	0,97
Na <sup>+</sup> (mg/l)	13,4	16,6
K <sup>+</sup> (mg/l)	27,1	32,8
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	25	50
Bikarbonatoa (mg/l)		32
OH <sup>-</sup> (mg/l)	180	

11. taula. Uretan disolbatutako agregakin birziklatuen espezie ionikoak.

Hormigoizko agregakin birziklatuetan, gatz disolbagarri nagusiak kaltzio-hidroxidoa (portlandita), sulfatoak eta karbonatoak dira. Beste batzuek (adibidez, sodio kloruroa) kontzentrazio baxuak dituzte. Bestalde, material zeramikotik datozen gatzak sulfatoak dira (sodikoa edo magnesikoa), eta, gutxiago, karbonatoak, bikarbonatoak eta sodio kloruroa. Agregakin birziklatu mistoetan, sulfatoak espezie ionikoen 1/5 inguru dira, 13. irudian lortutako korrelazio onean ikusten den bezala, Ondorioz, *gatz disolbagarrien parametroa uretan disolbatzen diren sulfatoekin ere kontrola daiteke, eta horrek indartu egiten du konposatu disolbagarrien edukia aipatutako entseguaren bidez kontrolatzeko argumentua.*



13. irudia. Gatz disolbagarrien eta uretan disolbatzen diren sulfatoen arteko erlazioa.

Material birziklatua trinkotu ondorengo gatz disolbagarritasunari buruz gehiago sakontzeko, entsegu hau egin zen laborategian (14. irudia): erreferentziatzeko gehieneko dentsitate-mailaraino trinkotutako agregakin birziklatuzko probeta bat (Proctor eraldatua) uretan murgildu zen erabat. Proba-tarte batean (ARV-II) ezarritako materialarekin fabrikatu zen probeta, CBR moldeak erabiliz. Lau egunen ondoren, moldea atera zen, eta CBR entseguaren gainkarga mantenduz, material trinkotua uretan murgildu zen, 28 egunez. Epe horretan, probeta ez zen hondatu, eta dimentsio-bariazioaren segimendurako konparadoreak 0 hanpadura adierazi zuen. 28 egun igaro ondoren, uretan disolbatzen diren uren edukia zehaztu zen, eta emaitza hori NLT 114ren arabera entsegu normalizatuarekin lortutako emaitzarekin alderatu zen. Hauek izan ziren emaitzak:

- Agregakin birziklatuaren gatz disolbagarriak, NLT 114ren arabera: % 0,74
- Deskribatutako entseguaren bidez zehaztutako gatz disolbagarriak: % 0,12

Proba horrek erakusten du material trinkotuan uretan disolbatutako gatz disolbagarrien edukia txikiagoa dela NLT 114. entseguan lortutakoa baino. Emaitza hori bat dator sulfato disolbagarrien emaitzarekin.



**14. irudia.** Disolbagarritasun-entsegua lagin trinkotuan.

Gatz disolbagarri gehiago dituzten laginen dimentsio-egonkortasunari buruz sakontzeko, kolapso-indizea (NLT-254) eta hanpadura askeko balioa (UNE 103601) zehaztu ziren. Emaitzek erakusten dutenez, kolapso-indizearen (ARB3=% 0,19; ARV3=% 0,23) eta hanpadura askearen (ARB3=% 0,095; ARV3=% 0,004) balioak nahiko urrun daude PG3ren 330.4.4.1 atalean —lurzoru kolapsagarriei buruzkoa— eta 330.4.4.2 atalean —lurzoru hedagarriei buruzkoa— ezarritako % 1eko eta % 3ko balioetatik. Bestalde, CBRren entseguko 28 egunetan lortutako hanpadura ere nulua da. Beraz, ondorioztatzen da % 3,74tik beherako gatz disolbagarrien edukiek ez dutela dimentsio-egonkortasuneko arazorik sortzen.

**4.1.1.4 Agregakin birziklatuaren osagaien eta agregakinaren berezko propietateen arteko korrelazio-azterketa**

Korrelazio-koefizienteek bi aldagaien arteko lotura-maila neurtzen dute. Aldagai-pare bakoitzarentzat kalkulatu-tako korrelazio zuzeneko koefizienteak edo Pearsonen koefizienteak -I eta +I arteko balioa hartzen du. Balio negati-boek alderantzizko erlazioa adierazten dute; balio positiboek, berriz, zuzenekoak. Zerotik gertuko balioek adierazten dute ez dagoela zuzeneko erlaziorik bi aldagaien artean.

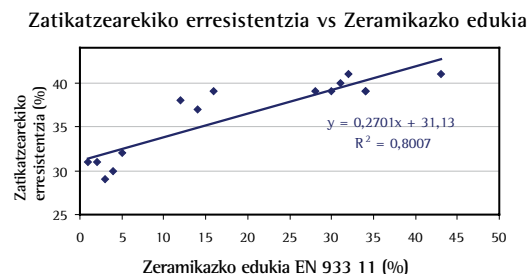
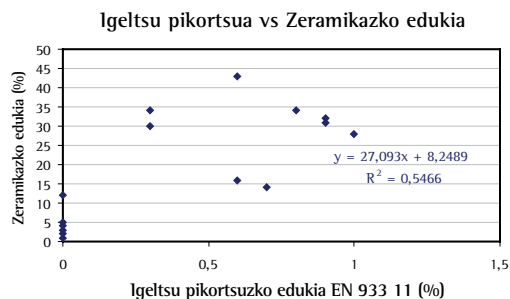
12. taulan duzue Korrelazio-matrizea, aztertutako aldagaientzako kalkulatuak. Korrelazio-koefizienterik handienak nabarmendu egin dira. Era berean, korrelazio linealak % 95eko konfiantza-mailaz esanguratsua direla esateko, korrelazioaren balioa 0,54tik gorakoa izatea erabaki da. Bestalde, aipatzekoa da 0,65etik gorako korrelazio-balioen konfiantza-maila % 99koa dela.

	Asfaltoa	Zeramikoak	Hormigoia	Nahasi gabeko agregakinak	Igeltsu pikortsua	Beira	Harlauza-indizea	Los Angeles higadura	Materia organikoa UNE103204	500 °C-ra galdutako materia organikoa	SO <sub>2</sub> -a, guztira	SO <sub>2</sub> -a, (uretan disolbagarria)	Igeltsua (NLT 115)	Gatz disolbagarriak
Asfaltoa	1,00													
Zeramikoak	-0,77	1,00												
Hormigoia	0,30	-0,77	1,00											
Nahasi gabeko agregakinak	0,63	-0,46	-0,18	1,00										
Igeltsu pikortsua	-0,78	0,74	-0,47	-0,40	1,00									
Beira	-0,68	0,66	-0,26	-0,67	0,80	1,00								
Harlauza-indizea	-0,39	0,66	-0,61	-0,25	0,65	0,62	1,00							
Los Angeles higadura	-0,74	0,90	-0,63	-0,49	0,78	0,69	0,60	1,00						
Materia organikoa UNE103204	0,24	-0,34	0,29	0,14	-0,13	-0,29	-0,34	-0,40	1,00					
500 °C-ra galdutako materia organikoa	0,54	0,47	-0,20	-0,40	0,67	0,50	0,37	0,42	0,44	1,00				
SO <sub>2</sub> -a, guztira	-0,44	0,61	-0,39	-0,47	0,76	0,73	0,58	0,68	0,05	0,69	1,00			
SO <sub>2</sub> -a, (uretan disolbagarria)	-0,51	0,68	-0,44	-0,49	0,82	0,75	0,62	0,76	0,00	0,69	0,99	1,00		
Igeltsua (NLT 115)	-0,50	0,67	-0,44	-0,50	0,80	0,75	0,63	0,74	0,00	0,69	0,99	0,99	1,00	
Gatz disolbagarriak	-0,37	0,49	-0,27	-0,44	0,72	0,70	0,54	0,56	0,07	0,61	0,97	0,95	0,95	1,00

**12. taula.** Korrelazio-matrizea.

Korrelazio-matrize hori erabiliz, baieztapen hauek egin daitezke:

- Konposizioaren ikusizko azterketaren bidez neurtutako *igeltsu pikortsuen edukia* zuzeneko korrelazioa du *material zeramikoaren edukiarekin*. Izan ere, zeramikazko hormen gainean emandako igeltsu-luzituak dira kaltzio-sulfatoaren iturri nagusiak. Alde horretatik, igeltsu-edukia % lera mugatuz gero, zuzenean mugatuko litzateke material zeramikoaren edukia % 35 inguruko balio maximoetara.



15. irudia. Material zeramiko maximoen azterketa agregakin birziklatuetan.

- *Zatikatzearen aurkako erresistentziak edo Los Angeles higadurak zuzeneko korrelazio-koefizienteko balio handia hartzen du material zeramikoekiko eta, neurri txikiagoan, igeltsu pikortsuekiko*. Hortaz, zenbat eta handiagoa material zeramikoaren eta igeltsu-pikorren edukia, orduan eta handiagoa agregakin birziklatu mistoen higadura. Aldiz, zenbat eta handiagoa asfalto-edukia, orduan eta txikiagoa higadura. Aurreko paragrafoan esandakoaren antzera, % 40ko higadura-balio maximoak material zeramikoaren % 35eko eduki maximoekin bat datoz.
- *Permanganatoaren metodoaz zehaztutako materia organikoak korrelazio-koefiziente txikiak ditu agregakin birziklatuen osagaiekiko*. Horrek garbi baieztatzen digu saiakuntza hori ez dela egokia halako material-mota pikortsuak karakterizatzeke.
- *Sufre-konposatuen gaineko datu guztiek (sufre-eduki osoa, sulfato disolbagarriak eta igeltsu-balorazioa NLT-115 arauaren arabera) elkarren arteko korrelazio-koefiziente handiak hartzen dituzte (10etik 12rako grafikoetan garbi ikusten da)*. Berriz ere ikusten da sulfato-edukia ezagutzeko saiakuntza bakar bat egitea dela egokiena. Era berean, *sulfato disolbagarriak gehienbat igeltsu pikortsutik datozela* ikusi da eta, maila txikiagoan, material zeramikoetatik. Aipatzekoa da *uretan disolbagarriak diren sulfatoek alderantzizko korrelazioa dutela hormigoiarekiko*. Datu horrek ezbaian jartzen du Ettringitaren disolbagarritasun baxuaren inguruko eztabaida gutzia.
- *Gatz disolbagarriak igeltsu-edukiaren ondorio dira* batik bat eta, maila txikiagoan, material zeramikoena. Azken parametro horri dagokionez, *sufre-konposatuekiko duen erlazio handia ere aipatzekoa da*. Hortaz, propietate hori mugatzeko sulfato disolbagarrien edukia mugatzea komeni da.

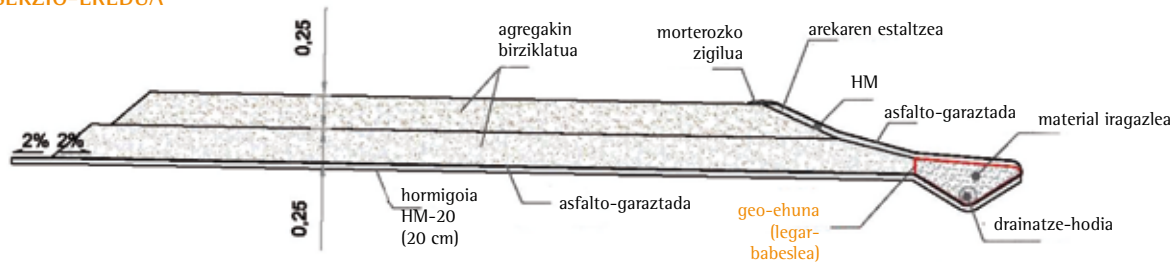
#### 4.1.1.5 Probaguneak

Laborategiko azterketak bi probagunetan egindako saiakuntzekin osatu ziren. Probagune horietan, eskala errealean aztertu ziren agregakin birziklatuaren zenbait ezaugarri, hala nola obra-erabilera, erantzun mekanikoa eta libibazio-arriskuari lotutakoak.

Bi saiakuntza-gune horietako lehenengoa, proba-bankua, Ortuellako (Bizkaia) Orkonera auzoan dago. Eskala txikiko proba-gune bat da eta materialaren libibazio-azterketa kontrolatu bat egiteko berariaz diseinatuta dago. Beste saiakuntzagune bat Txorierriko N-637 errepidearen handitze-lanetan eraiki zen: agregakin birziklatua zabalguneko hobetu gisara hedatu zen. Errepide horretan, autoen zirkulazioa handia da (T00 zirkulazio-maila).



SEKZIO-EREDUA



16 irudia. Orkonerako probagunearen sekzio-eredua.

Orkonerako proba-bankuak 25 metroko luzera eta 4,5 metroko gutxieneko zabalera ditu. Agregakin birziklatua (ARB-I lagina), 25 zentimetroko lodierako bi geruzatan bota zen, hormigoizko lauza baten gainean. Hormigoizko lauza eraikitzearen helburua zen zeharkako malda txikiko gainazal iragazgaitz bat sortzea eta, horrela, infiltratu beharreko ura albo batera bideratzea agregakin birziklatuzko 50 cm-etan zehar. Lixibiatua luzetarako areka baten bidez garraiatzen zen, eta, azkenik, andel batean jasotzen zen. Hainbatean behin, lixibiatua jaso eta aztertu egiten zen. Agregakinean zehar infiltratutako lixibiatua bestelako jatorriko urekin ez nahasteko eta arekan ez disolbatzeko (esaterako, arekara zuzenean eroritako euriarekin edo hormigoiairen gainetik isurketaz zuzenean arekara eroritako urarekin), birziklatutako materialezko bi geruzen altueraraino legar drainatzailez bete zen areka eta, jarraian, hormigoiz (ikus 17. irudia). Horrela, aztertu beharreko lixibiatua isolatzea lortu zen. Azterlan horren emaitzak 4.2 *Agregakin birziklatuen erabilerak ingurumenean duen eraginari buruzko hausnarketak: Agregakin birziklatuak lurrarekin kontaktuan dauden pikor-erabileretarako atalean jaso dira.*



17. irudia. Orkonerako probagunea.



Zabalguneako trinkotze-lanak. Txorierriko probagunea.

Bigarren saiakuntzagunea “BI-631, Bilbo (A8)–Bermeo errepidearen Galbarriatuko lotunea eta aireportuko ekialdeko sarbidearen (Txorierrirako lotunea) arteko bide-zatiaren ahalmen-gehikuntzarako proiektuaren proiektu osagarria” lanetan dago. Zehazki, bide-zati hori Txorierrirako ingurabidearen ezker-erreiaren (Santandererako noranzkoa) hedapen-ingurunean dago, hots, zirkulazio geldoarentzako erreian. Proiektuaren zirkulazio-kategoria T00 da. Aztertutako agregakin birziklatu mistoa (ARV-II lagina) 85 metroko errepide-zati batean bota zen, zabalgunehobetuko bide-zati bat egiteko. Errepidearen gainerako lanetan, harrobiko materiala erabili zen. Harrobiko agregakinez egindako errepideko emaitzak erabili ziren material birziklatuaren erantzuna alderatzeko erreferentziatzat.

### Agregakin birziklatuaren trinkotze-lanak

Agregakin birziklatua trinkotzeko, 12 tonako zapaltzeko makina lau bibratzailea erabili zen; Txorierrin, berriz, 14,5 tonako zapaltzeko makina.

Trinkotzearekin lortutako dentsitatearen bilakaera kontrolatzeko eta aldiune bakoitzeko hezetasuna zehazteko, metodo nuklear ez-hondatzaileak erabili ziren (Isotopo Erradioaktibo bidezko Saiakuntza Ez Hondatzaileak, ASTM D 3017 arauari jarraituz) bi probaguneetan. Horrez gain, hondarraren metodoa (UNE 103 503) erabili da trinkotutako materialaren dentsitatea beste metodo osagarri batez ere zehazteko. Emaitzak 13. taulan, Trinkotze-lanen dentsitatea eta hezetasuna Orkonerako bide-zatian, eta 14. taulan, Trinkotze-lanen dentsitatea eta hezetasuna Txorierrirako bide-zatian, jaso dira.

Geruza	Iraganaldi-kopurua (bakunak)	Hezetasuna (%)	Dentsitate lehorra (dmax %, Proctor aldatua)
1. geruza	2	11,7	87,0
	4	12,2	90,6
	6	11,7	94,8
	8	12,0	98,8
	10	12,8	98,1
2. geruza	2	11,4	92,9
	4	12,4	94,4
	6	12,5	98,3
	8	12,3	98,6
	10	12,3	99,7

13. taula. Trinkotze-lanen dentsitatea eta hezetasuna. ORKONERAKO BIDE-ZATIA.

Geruza	Iraganaldi-kopurua (bakunak)	Hezetasuna (%)	Dentsitate lehorra (dmax %, Proctor aldatua)
1. geruza	3	9,2	95,3
	5	9,0	97,5
	7	10,5	98,1
2. geruza	4	11,7	99,9
	5	11,7	99,2

14.taula. Trinkotze-lanen dentsitatea eta hezetasuna. TXORIERRIKO BIDE-ZATIA.

*Emaitzek erakusten dutenez, agregakin birziklatuek ongi erantzuten diote trinkotzeari, eta dentsitate optimoaren inguruko balioak lortzen dira ohiko iraganaldi-kopuruekin.*

Agregakin birziklatuaren trinkotzea harrobiko agregakinarenarekin alderatuz, hau ikusi da:

- Agregakin birziklatuaren dentsitatea harrobiko agregakinarena baino txikiagoa da, haren berezko ezaugarrien-gatik.
- Agregakin birziklatuaren trinkotze-hezetasun optimoa harrobiko agregakinaren trinkotze-hezetasuna baino handiagoa da, agregakin birziklatuaren osagaien xurgapen-ezaugarrien eraginez.

### Agregakin birziklatu trinkoaren euste-ahalmena

Agregakin birziklatuz egindako elementuen euste-ahalmena aztertzeo, bi saiakuntza-mota egin ziren: plaka bidezko karga-saiakuntzak (Txorierriko probagunean) eta inpaktu-deflektometro bidezko auskultazioak (bi probaguneetan).

Plaka bidezko karga-saiakuntzen emaitzak (NLT-357/98) 15. taulan (Plaka bidezko karga-saiakuntzak) daude. Emaitzek erakusten dutenez, agregakin birziklatuak euste-ahalmen handia du, Txorierriko zabalgunee horretan ordezkatu-tako harrobi-agregakinaren antzekoa.

Bestalde, aipatzekoa da saiakuntza hori eraikuntza-lanak heltzen utzi gabe egin zela (handik 6 egunera); horrenbes-tez, agregakin birziklatuaren berezko ezaugarriak kontuan hartuta denborak aurrera egin ahala gogortze-erreakzioei esker emaitzak asko hobetu daitezke epe ertainean.

Materiala	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E2/E1
Harrobiko materiala	132,35	281,25	2,13
	140,63	250,00	1,78
	80,36	180,00	2,24
ARV-II agregakin birziklatua	109,76	225,00	2,05
	100,00	225,00	2,25
	118,42	236,84	2,00

15. taula. Plaka bidezko karga-saiakuntza.

Inpaktu-deflektometro egindako auskultazioz jasotako datuen azterketak, lehenik eta behin, saiakuntza egin zaion bloke trinkoaren moduluaren zenbatespen bat ematen digu. Balio hori interesgarria da multzo osoaren ezaugarriak ezagutzeko, karga-plakaren saiakuntzak zenbatetsitako balioen antzera. Jasotako emaitzen alderantzizko kalkulu iteratiboaren metodoa erabiliz emaitzak aztertzen baditugu, aldiz, agregakin birziklatuaren deformazio-modulua zehaztu dezakegu. Agregakin birziklatuaren modulu horrek bidea ematen digu agregakin birziklatu horren eta zabor-legar artifizialen alderaketa erraza egiteko, batetik, eta material hori bide-zoruen kalkulu analitikoetan erabiltzeko moduko erreferentzia-datuak izateko, bestetik.

Deflektometro bidezko neurketa hauek egin ziren:

- Orkonerako probagunean: bukatutako gainazalean (agregakin birziklatuaren bigarren geruzan).
- Txorierriko probagunean:
  - Agregakin birziklatuzko zabalgunean eta harrobi-agregakineko zabalgunean.
  - Zabalgunearen gainean botatako legar-zementuan (agregakin birziklatuzko zabalgunean zein harrobi-agregakinezkoan).

Alderantzizko kalkuluaren bidez kalkulatu-tako modulu elastikoen balioa, 18. taulan (Bloke trinkoaren modulu balio-kideak eta modulu elastikoak).

Txorierriko probaguneko emaitzak aztertuz, ikusten da agregakin birziklatuzko zabalgunearen erantzun mekanikoa harrobizko agregakinez eraikitako zabalgunearen antzekoa dela, bai zabalguneari egindako esfortzuei bai legar-ze-mentuari egindako esfortzuei dagokienez.

Gunea	Saiakuntza-gainazala	Zabalgune-materiala	Modulu baliokidea (MPa)	Agregakinaren modulua (MPa)
Orkonera	Agregakin birziklatua	Agregakin birziklatua	322	322
Txorierrri	Zabalgunea	Harrobi-materiala	209	361
		Agregakin birziklatua	214	326
	Legar-zementua	Harrobi-materiala	3429	1028
		Agregakin birziklatua	3814	1275

16. taula. Bloke trinkoaren modulu baliokideak eta modulu elastikoak.

Agregakin birziklatuaren modulua harrobi-agregakinaren moduluaren multzo berekoa da. Bi materialek erantzun ez-lineal garbia daukate, lurzoruenaren antzekoa, hau da, modulua handiagotu egiten da jasotzen dituen tentsioak gutxitzean. Erantzun hori hainbat mailatako kolpeak emanda ikusten da, baina bereziki nabarmentzen da legar-zementuaren azpian (kasu horretan, tentsioak oso txikiak izaten dira).

Bestalde, kontuan izan behar da material pikortsuek garatutako modulu elastikoa pikorren azpiko geruzaren araberakoa dela. Azpiko geruzaren modulu elastikoa zenbat eta handiagoa, orduan eta handiagoa izaten da material pikortsuena ere, balio maximora (materialaren euste-ahalmenari dagokiona) iritsi arte. Orkonera probagunean agregakin birziklatua hormigoizko lauza baten gainean jarri zenez, materialaren modulu maximoa mugiarazi egiten zela josten. Hala ere, zuzeneko esfortzuekiko Txorierrriko probaguneko materialak garatu zuen modulua ere balio berekoa izan zen, nahiz eta, kasu horretan, lurzoruen betelaren gainean jarrita egon agregakin birziklatua.

*Materialaren ahalmen eramaile guztia oraindik garatu gabe izaki lortutako modulu-balioak minimoak direla kontuan hartuta, agregakin birziklatuaren euste-ahalmena harrobitik ateratako material pikortsuen parekoa da, gutxienik.*

## 4.1.2 Ez-egiturazko hormigoien aplikazioak

### 4.1.2.1 Helburua

Dokumentu honetan aurkeztutako proiektuak Espainian indarrean dagoen legearen zenbait alderdi osatzea du xede, e bereziki jatorri mistoko agregakin birziklatuen aplikazioa aztertzea, agregakin horiek ez-egiturazko hormigoietan erabili ahal izateko.

17. taulan daude agregakin birziklatuen gaineko nazioarteko hainbat araudiren eskakizunak, zeramikazko agregakinei (Rilem, Belgika, Erresuma Batua eta Alemania) eta agregakin mistoei (Erresuma Batua, Alemania eta Brasil) dagozkienak. Araudi horien muga-balioetan alde handiak ageri dira. Desberdintasun horiek herrialde bakoitzaren ezaugarri eragindakoak izango dira, ziurrenik (baliabide naturalen eskuragarritasuna, aurreko eskarmentua eta abar).

Ikerketa bibliografikoaren azterketan (17. eta 18. taulak), birziklatutako agregakinen heterogeneotasun handia aurkitu da. Hori dela eta, hainbat eremu geografikoko (EAE, Andaluzia, Valentzia eta Madrilko autonomia-erkidegoak) EEHen (Eraikuntza eta Eraipen Hondakinak) birziklatze-instalazioak aukeratu dira, eta instalazio bakoitzak ekoizten duen agregakin misto birziklatuen aldizkako kontrola egin da (guztira, 36 lagin karakterizatu dira).

Ebaluatutako propietateen arteko korrelazioak aztertu dira, instalazio horietan birziklatutako agregakinen hautaketa-irizpideak finkatzeko. Bestalde, birziklatze-instalazio bakoitzaren ekoizpen-teknologiak birziklatutako agregakin mistoen ezaugarrietan duen eragina ere aztertu da.

Azkenik, propietate horien arabera, onarpenerako muga-ezaugarriak dituen agregakin birziklatu bat aukeratu da, eta birziklatutako agregakin hutsez fabrikatutako hormigoiak egiturazkoak ez diren erabileretarako egokiak diren aztertu da.

### 4.1.2.2 Birziklatutako agregakinen gaineko egungo araudiaren azterketa

EHE-08 arauaren “Egituz kanpoko erabileretarako hormigoiak” izeneko 18. eranskinean xedatzen denez, hormigoi-hondakinak birrinduta egindako agregakin birziklatu lodia % 100eraino erabil daiteke, betiere agregakin horretarako 15. eranskineko (“Hormigoi birziklatuak erabiltzeko gomendioak”) baldintzak betetzen baditu (*Agregakin birziklatu zeramiko edo mistoarentzako nazioarteko espezifikazioak*<sup>(12)tik (17)ra</sup>).

Eranskinean jasotzen ez diren propietateei dagokienez, berezko agregakinei ezarritako espezifikazio berak dagozkie (Los Angeles koefizientea, buztin-zokorrak, kloruro- eta sulfato-edukiak). Espainiako mugak askoz zorrotzagoak dira gainerako araudietakoak baino, EHE arauko espezifikazioak hormigoi-jatorriko agregakin birziklatuentzako ezarritakoak dira eta.

	AGREGAKIN BIRZIKLATU ZERAMIKOAK				AGREGAKIN BIRZIKLATU MISTOA			HORMIGOI-JATORRIKO AGREGAKIN BIRZIKLATUA
	Rilem (1. mota)	Belgika (GBSB-1)	Erresuma Batua DIGEST 433 (RCA 1)	Alemania (3. mota)	Erresuma Batua DIGEST 433 (RA)	Brasil (MRA)	Alemania (2. mota)	ESPAINIA EHE-08 <sup>(***)</sup>
Dentsitate lehorra kg/m <sup>3</sup>	≥1500	>1600	-	≥1800	-	-	≥2000	-
Xurgapena	≤%20	<%18	-	≤%20	-	≤%12	≤%15	≤%7
Materialaren dentsitatea ≤1800 kg/m <sup>3</sup>	≤%10	≤%10	-	-	-	-	-	-
Materialaren dentsitatea ≤1000 kg/m <sup>3</sup>	≤%1	≤%1	≤%1	-	≤%1	-	-	≤%1
Metal-, beira-, material bigun eta betun-edukia	≤%5	≤%1	≤%5	(*)	≤%1	≤%3	(*)	≤%1
Asfalto-edukia	-	-	≤%5	≤%1	≤%10	-	≤%1	≤%1
Material zeramikoaren edukia	≤%100	≤%100	≤%100	≥80	≤%100	-	≤%30	≤%5
Fin-edukia (<0.063 mm)	≤%3	<%5	-	<%4	≤%3	-	<%4	-
Hondar-edukia (<4 mm)	≤%5	-	-	-	-	-	-	≤%5
Sailkatu gabeko finak (%)	-	-	-	-	-	-	-	≤10%
Sulfato-edukia (SO <sub>3</sub> ) <sup>(**)</sup>	≤%1	<%1	≤%1	-	≤%1	≤%1	-	≤%0,8
Kloruro-edukia	-	<%0,06	-	<%0,15	-	≤%1	<0,04	≤%0,05

(\*) Agregakin birziklatu zeramikoetarako (zeramikoak, > %80tik gora), osagai mineralen (beira, etab.) % 2ko muga dago, eta eduki ez-mineralen (plastikoa, zura, papera, etab.) % 0,5ekoa. Agregakin birziklatu mistorako (eraikuntza- eta eraispén-hondakin nahastea, % 80tik gora hormigoizko agregakina duena), % 20koa da osagai mineralen, asfaltoaren, hormigoi arinaren, zeramiken eta antzekoen muga, eta % 0,5ekoa material ez-mineralena.

(\*\*) Azidoan disolbagarriak diren sulfato-edukiei jarritako muga, SO<sub>3</sub>-n adierazita, Rilem-en espezifikazioen kasuan salbu. Kasu horretan, uretan disolbagarriak diren sulfato-edukiak mugatzen ditu, horiek ere SO<sub>3</sub>-n adierazita.

(\*\*\*) Hormigoitik lortutako agregakin birziklatuentzat jarritako muga.

17. taula. Agregakin birziklatu zeramiko eta mistoentzako nazioarteko espezifikazioak<sup>(12)tik (17)ra</sup>.

### 4.1.2.3 Agregakin birziklatuen propietate teknologikoak

Agregakin birziklatu mistoen karakterizazioa egiteko, EEHen (Eraikuntza eta Eraispén Hondakinak) hainbat eremu geografikotako hamar birziklatze-instalaziotan ekoiztutako materiala aztertu da. Era berean, instalazioan egiten den prozesatze-mota ere aztertu da, ekoiztutako agregakin birziklatuaren kalitatean izan dezakeen eragina aztertzeko.

Instalazio bakoitzean, agregakin birziklatu mistoaren laginak hartu dira hainbatean behin, instalazio bakoitzak ekoiztutako granulometria-frakzioaren arabera, baina laginak 4-40 mm-ko frakziotik ahalik eta gertuen egon daitezten saiatuz, azterketa frakzio horretako agregakinen gainean egin baita. Azkenik, 36 lagin jaso dira, guztira (19. taula: Agregakin birziklatu mistoaren laginen emaitza esperimentalak).



Agregakin birziklatu mistoaren azterketa bi fasetan egin da.

*Lehenengo fasean*, agregakin birziklatuen 36 laginen aurre-karakterizazioa egin zen, eta laginen xurgapena, konposizioa eta sufrezko eta sulfato disolbagarritzko konposatu totalen eduki totala zehaztu ziren.

Horrelako agregakin-motentzat garrantzi handikoak direlako aukeratu dira aurre-karakterizazio horretan egindako entseguak.

- *Sulfato-edukia* handia izaten da agregakin birziklatu mistoetan (igeltsu-jatorrikoak, gehienbat), eta eduki horrek hormigoia hedatzea eta, ondorioz, hondatzea eragin dezake.
- *Edukiaren entseguak*, beste gauza askoren artean, nahi ez diren partikulen ehuneko handiak detektatzeko aukera ematen du, hala nola beira (alkali-silize erreakzioak eragin ditzake) edo igeltsua (aurreko puntuan aipatutako eragina izan dezake).
- Agregakin birziklatuaren kalitate-indize bat ematen duelako ere aukeratu da xurgapen-entsegua.

*Bigarren fasean*, 17 laginen karakterizazio osoa egin zen. Hona hemen haien ezaugarriak:

- Beira-edukia, % 1 baino txikiagoa (UNE-EN 933-11), EHE-08 arauaren 15. eranskinari jarraituz.
- Azidotan disolbagarriak diren sulfatoen edukia ( $\text{SO}_3$ -n adierazita), % 1 baino txikiagoa (UNE EN 1744-1), agregakin zeramiko edo mistoei buruzko aztertutako nazioarteko araudirik gehienei jarraituz (17. taula. Agregakin birziklatu zeramiko eta mistoentzako nazioarteko espezifikazioak (12)tik (17)ra).

Karakterizazio horretarako, entsegu hauek egin ziren:

- Granulometria
- Fin-edukia
- Harlauza-indizea
- Los Angeles koefizientea
- Partikula arinak
- Izoztearen aurkako erresistentzia

Agregakin birziklatuen azterlan horretatik, lehenengo fasean aztertutako propietateen arteko erlazioak nabarmendu dira. Izan ere, hormigoizko birziklatuan erabiltzeko agregakin birziklatu mistoentzako kalitate-irizpideak proposatzeko bidea ematen digute korrelazio horiek.

Agregakin birziklatu mistoa (18. irudia) zeramikazko, hormigoizko edo agregakin naturalezko legarrez osatuta egoten da nagusiki eta, neurri txikiagoan, ezpurutasuntzat jo ditzakegun beste zenbait materialez (plastikoak, zura, beira, metalak eta abar).



18. irudia. Agregakin birziklatu mistoa.

Aztertutako agregakin birziklatu mistoen konposizioaren % 2-54 bitarte **material zeramikoak** dira (19. taula. *Agregakin birziklatu mistoaren laginen emaitza esperimentalak*). Beste osagai nagusi batzuk hormigoi-jatorriko agregakinak (agregakin gehi morteroaren ehunekoak, % 17-75 bitartekoak) eta agregakin naturalak (% 2-73 artean) dira.

Agregakin birziklatu mistoen propietateak oso heterogeneoak izan daitezke, birziklatze-lerroan sartutako material-kalitatea eta instalazioko prozesatze-mota direla medio, batez ere. Dena den, bi parametro horiek behar bezala kontrolatuz gero, zenbait erabileretarako kalitate egokiko agregakina egiten da.

### Agregakin birziklatu mistoen propietate fisikoak eta kimikoak

Agregakin birziklatu mistoen parametro fisikoen balio-tarteak izeneko 18. taulan daude agregakin birziklatu mistoaren propietate fisikoak eta kimikoak. Era berean, saiakuntza-balio horiek azterketa bibliografikoan jasotako tarteen alderatzen dira.

Propietateak	Gaur egungo egoera	Azterketa esperimentalak
Xurgapena, 24 ordutan (%)	5-15 <sup>(1)</sup>	2-14
Gainazal lehorreko partikula asean dentsitatea (kg/dm <sup>3</sup> )	2,1-2,5 <sup>(1)</sup>	2,0-2,6
Labean lehortu ondorengo dentsitatea (kg/dm <sup>3</sup> )	1,0-1,9 <sup>(1)</sup>	1,8-2,5
Fin-edukia (%)	-	0,5-18,0
Harlauza-indizea (%)	12,5-44,0 <sup>(1)</sup>	6,0-30,0
LA koefizientea (%)	28-43 <sup>(1)</sup>	33-47

<sup>(1)</sup> 6 datu horiek 10-11 erreferentziatik atera dira.

<sup>(1)</sup> Balio-tarte horiek 12. erreferentziatik hartutakoak dira.

**18. taula.** Agregakin birziklatu mistoen parametro fisikoen balio-tarteak.

Saiakuntzetako emaitzak bibliografian aurkitutako balioekin alderatuta, antzeko tarreak aurkituko ditugu bietan.

Era berean, 18. taulan daude aztertutako instalazio bakoitzean hartutako laginen propietateetan jasotako tarreak.

Frakzio fina frakzio lodia baino kalitate txarragokoa izaten denez, kontsultatutako araudi gehienek agregakin birziklatu lodiak bakarrik erabiltzen uzten dute.

Agregakin birziklatuek fin-eduki oso aldakorra izaten dute, % 0,5etik % 18 tartekoa. “Hormigoirako agregakinak” izeneko UNE-EN 12620:03 arauaren sailkapenaren arabera, agregakin birziklatu mistoen % 85  $f_{10}$  mailakoak dira.

Xurgapena da agregakin birziklatu mistoak agregakin naturalekiko duen desberdintasun handieneko propietate fisikoetako bat. Nazioarteko arau gehienek agregakin birziklatu mistoen xurgapenari mugak jartzen dizkiote, baina arauen artean alde handiak daude (ikus 16. taula): % 12 eta % 20ko balioen artekoak izaten dira muga horiek, egiturazko zein ez-egiturazko hormigoietarako EHE-08 arauak gaur egun ezarritako % 7ko mugatik askoz goragokoak. Ikerketa honetan aztertutako agregakin birziklatu mistoen ur-xurgapena % 2tik % 14ra artekoa da aztertutako 36 laginetan. Aztertutako laginen % 36k baino ez du betetzen xurgapenarentzako % 7ko muga. Horregatik, egituretarako ez diren aplikazioetarako egokiagoa den muga berri bat ezarri behar litzateke, betiere hormigoiaren kalitate egokia bermatzen bada. Horrela, aplikazio horretan pikor birziklatuen askoz kantitate handiagori irteera emateko aukera egongo litzateke.

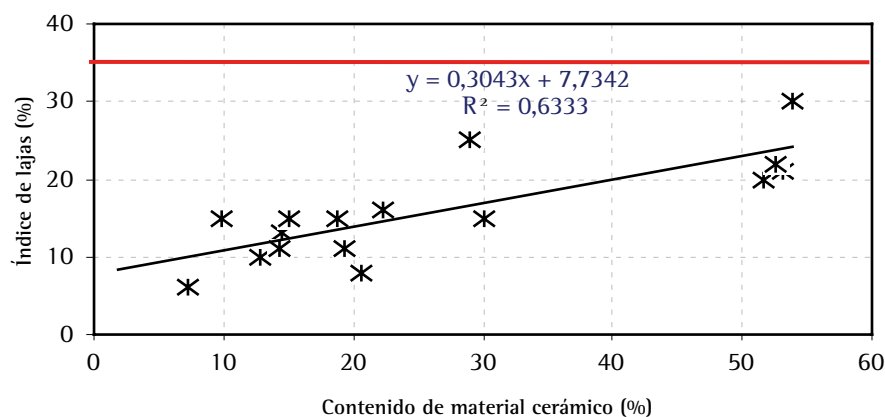
Xurgapenari ez ezik, araudiek agregakin birziklatuen dentsitate lehorrari ere mugak jartzen dizkiote. Muga horiek 1.500 eta 1.600 kg/m<sup>3</sup>-ko tartea ezartzen diete agregakin zeramikoak, eta 1.800 kg/m<sup>3</sup>-ko dentsitate minimoa agregakin mistoak (17. taula Agregakin birziklatu zeramiko edo mistoarentzako nazioarteko espezifikazioak (12)tik (17)ra). Saiakuntzetako emaitzek eskakizun horiek betetzen dituzten arren, azterketa bibliografikoan jasotako zenbait balioak dentsitate txikiagoak dituzte (18. taula. Agregakin birziklatu mistoen parametro fisikoen balio-tarteak).



Agregakin birziklatuek, oro har, forma egokia dute eta harlauza-indizea % 6-44 bitartekoa da (18. taula. Agregakin birziklatu mistoen parametro fisikoen balio-tarteak). Oro har, material zeramikoen edukia zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoa da agregakin birziklatuaren harlauza-edukia (18. taula. Agregakin birziklatu mistoen parametro fisikoen balio-tarteak). Kasu guztietan, dena den, aztertutako agregakin mistoek % 35etik beherako harlauza-indizea dute eta, ondorioz,  $Fl_{35}$  mailan sartzen dira, "Hormigoirako agregakinak" izeneko UNE-EN 12620 arauaren sailkapenean.

	Madrileko erkidegoa		Andaluzia		Euskal Autonomia Erkidegoa			Valentziako erkidegoa		
	1. instalazioa	2. instalazioa	3. instalazioa	4. instalazioa	5. instalazioa	6. instalazioa	7. instalazioa	8. instalazioa	9. instalazioa	10. instalazioa
Aztertutako lagin-kopuru osoa	3	5	3	4	2	1	2	7	6	3
Asfaltoa (%)	0,8-4,7	3-5	0,3-0,6	0,1-0,3	0-1	0	0-1	0-5,1	1-17	0-7
Baztertutakoak (% 1)	%0	%100	%0	%0	%0	%0	%0	%57	%100	%66
Baztertutakoak (% 51)	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%66	%33
Zeramikoak (%)	36-48	15-30	14-20	52-53	7-33	15	2-21	13-40	7-17	39-49
Zementu-oinarria (%)	22-54	24-57	46-49	33-34	47-75	61	65-86	27-43	17-42	19-47
Nahasi gabeko agregakinak (%)	2-14	20-41	29-38	10-12	11-17	19	11	20-50	41-73	10-26
Buztina (%)	3-7	0-1	0,2-0,7	0,3-0,5	0-4	4	0-2	0	0	0
Beira (%)	0,3-2,1	0,0-0,3	0,3-0,5	0,3-0,4	0-1	0	0-0	0-1,5	0	0,8-10
Baztertutakoak	%67	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%43	%0	%67
Igeltsua (%)	7,5-19,0	1,0-2,7	0,42-1,1	1,1-1,7	4	1	0-1	0-3	0-1	0,1-10
Bestelakoak (plastikoak, materia organikoa, zura, papera eta abar)	0,24-2,67	0-0,4	-	-	-	-	-	-	-	-
Xurgapena 10 minutura (%)	5,0-11,5	5,0-6,2	6,7-8,5	11,4-12,7	6,7-10,5	8,2	4,5-5,9	-	-	-
Xurgapena 24 ordura (%)	5,3-14,4	6,9-8,8	7,4-8,8	13,2-14,3	7,3-12,2	7,8	5,2-7,3	4,7-8,8	2,1-5,5	7,3-12,5
Baztertutakoak (% 10)	%100	0%	0%	%100	%50	0%	0%	0%	0%	%67
Baztertutakoak (% 12)	%100	0%	0%	%100	%50	0%	0%	0%	0%	%33
Dentsitate lehorra (kg/dm <sup>3</sup> )	1,66-1,88	2,08-2,15	2,06-2,18	1,80-1,87	1,9-2,2	2,10	2,11-2,23	2,09-2,35	2,22-2,52	1,83-2,26
Gainazal lehorreko partikula asean dentsitatea (kg/dm <sup>3</sup> )	2,0-2,15	2,23-2,29	2,24-2,34	2,06-2,12	2,10-2,35	2,30	2,27-2,34	2,22-2,44	2,35-2,58	2,06-2,15
Sulfato disolbagarriak (% SO <sub>3</sub> )	-	0,5-0,6	0,38-0,75	0,7-1,7	0,2-0,6	0,23	0,3-0,4	0,8-2,1	0,1-0,7	0,4-4,4
Baztertutakoak (% 0,8)	%100	%0	%0	%75	%0	%0	%0	%86	%0	%66
Sufre-konposatuak, guztira (% S)	-	0,26-0,5	0,2-0,35	0,35-0,76	0,6-0,7	0,76	0,5-0,6	0,5-0,9	0,1-0,7	0,4-4,4
Baztertutakoak (% 1 S)	%100	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%0	%33
Aurreko irizpideen arabera baztertutako laginen %	%100	%0	%0	%75	%50	%0	%0	%70	%0	%70
Aztertutako lagin-kopuru osoa	0	3	3	4	1	1	1	1	2	1
Fin-edukia (%)	-	3,2-8,4	0,8-1,6	0,4-1,5	3,0	2,8	1,3	5,3-17,9	1,0-10,4	3,8-16,7
Harlau-indizea (%)	-	13-16	11-15	20-30	6	15	8	25	10-15	15
Los Angeles koefizientea (%)	-	42-47	35-36	37-38	38	33	34	38	34-35	42
Izoztearekiko erresistentzia (%)	-	13-25	8	47-55	18	11	7	18	16-39	17
Partikula arinak (%)	-	6-9,3	11	12-14	1,2	4,9	8,6	1,0	1,2-3,0	1,5

19. taula. Agregakin birziklatu mistoaren laginen emaitza esperimentalak.



19. irudia. Material zeramikoen edukia eta harlauza-indizearen arteko erlazioa.

Agregakin naturalek baino **Los Angeles koefiziente** handiagoa dute eta % 28tik % 47ra artekoa izan ohi da. Hor-taz, EHE-08 arauak egituretarako ez diren hormigoientzat jarritako mugak (% 40) gehienetan bete egiten dituzte. Orokorrean, balio handiagokoak mortero-partikulen eduki handia duten laginei dagozkie eta balio txikienekoak jatorri zeramikoaren laginei dagozkie batez ere. "Hormigoirako agregakinak" izeneko UNE-EN 12620:03 arauaren sailka-penari jarraituz, aztertutako lagin guztiak LA<sub>50</sub> mailan (Los Angeles koefizientea % 50 baino txikiagoa) sartzen dira (19. taula. Agregakin birziklatu mistoaren laginen emaitza esperimentalak).

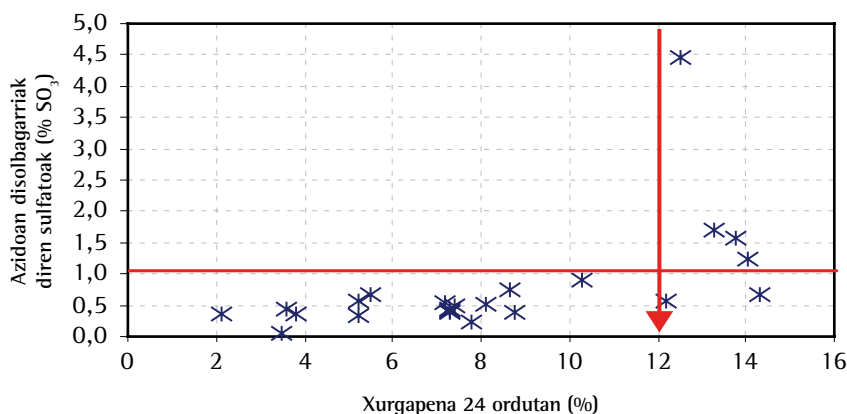
Agregakin birziklatu mistoetan **partikula arinen** edukia handia izaten da, % 1 eta % 14 artekoa (19. taula. Agregakin birziklatu mistoaren laginen emaitza esperimentalak). Hala ere, saiakuntza horietan detektatutako partikularik ge-hienak 2,0 baino dentsitate txikiagoko mortero arineko partikulak edo partikula zeramikoak direnez, saiakuntza hori ez da egokitzat jotzen anpuluak sor ditzaketen eta gainazala altxatzea eragin dezaketen partikula-edukiak ebalua-tzeko. Partikula horien edukia zehazteko agregakin birziklatuaren konposizio-entsegua egitea edo 1,0 baino dentsitate txikiagoko partikulak detektatzeko entsegua egitea gomendatzen da, EHE-k finkatutako % leko mugari eutsiz.



20. irudia. Agregakin birziklatu mistoa jatorri duten partikula arinak.

Agregakin birziklatu mistoek ez dute ongi erreakzionatzen izozte-urtze zikloekiko, batez ere material zeramikoan eduki handia badute.

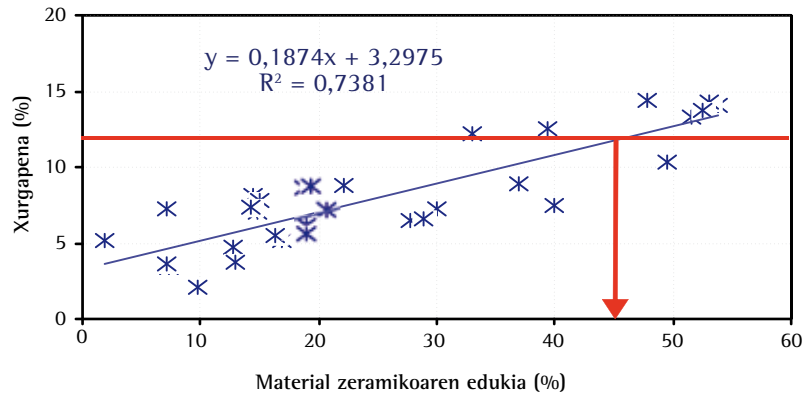
Hormigoian erabiltzen diren agregakinei jarritako beste eskakizun bat sulfato-edukia da. Izan ere, sulfatoek hedatze-erreakzioak eragin diezazkiokete hormigoia. Hormigoia (egituretarako zein bestelakoa) agregakinei EHE-08k jarritako egungo mugak hauek dira: **sufre-konposatuen eduki totala** (S gisa adierazita), % 1en azpikoa, eta azidoan disolbagarriak diren sulfatoen edukia (SO<sub>3</sub> gisa adierazita), % 0,8tik beherakoa. Hala ere, bigarren parametro hori % lera mugatzea proposatzen da, nazioarteko araudi gehienek finkatutako balioekin bat (17. taula Agregakin birziklatu zeramiko edo mistoarentzako nazioarteko espezifikazioak<sup>(12)tik (17)ra</sup>).



21. irudia. Xurgapenaren eta azidoan disolbagarriak diren sulfatoen (SO<sub>3</sub>) edukiaren arteko erlazioa.

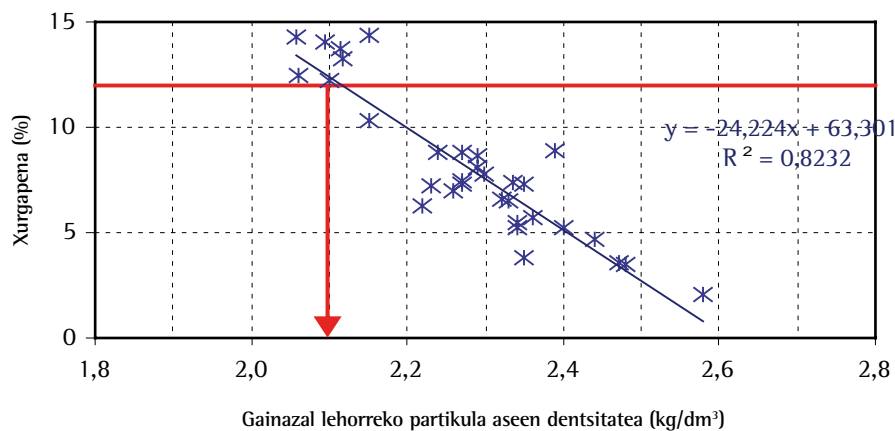
21. irudian ikusten da azidoan disolbagarriak diren sulfato-edukiaren eta agregakin birziklatuen xurgapenaren arteko erlazioa. Grafiko hori aztertuta, xurgapen-koefiziente maximoari % 12ko muga jartzea proposatzen da. Izan ere, azidoan disolbagarriak diren sulfatoen edukia ( $\text{SO}_3$ ) % 1,0etik beherakoa dute baldintza hori betetzen duten laginek.

Bi propietate horiek —xurgapen-koefizientea eta sulfato-edukia— elkarri lotuta daude. Izan ere, material zeramikoaren eduki handiagoa eta, hortaz, xurgapen handiagoa duten laginak izan ohi dira igeltsu- edo antzeko ezpurutasun-edukirik handieneko laginak, eraikuntza-lanetako agregakinak izan ohi direlako gehienbat.

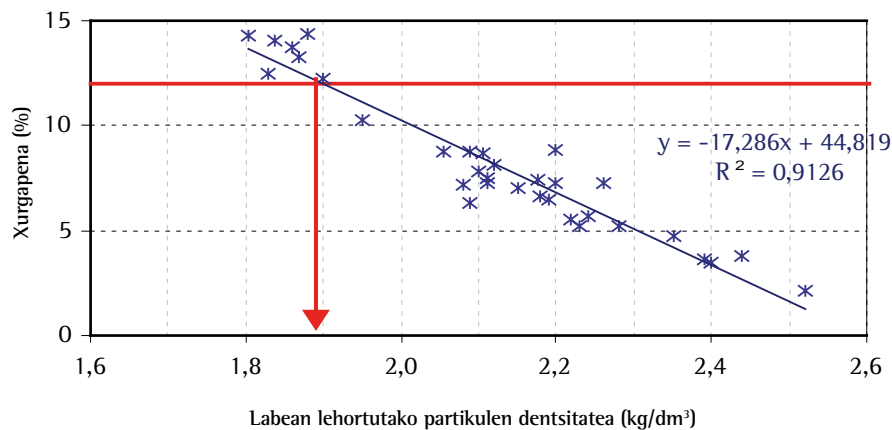


22. irudia. Xurgapenaren eta material zeramikoaren edukiaren arteko erlazioa.

Muga hori erabiliz xurgapenari lotutako beste zenbait parametroren balio orientagarriak ere finka daitezke, hala nola material zeramikoaren edukia (< %45, 22. irudia), gainazal lehorreko partikula asean dentsitatea (>2,1  $\text{kg}/\text{dm}^3$ , 23. irudia) edo labean lehortutako partikularen itxurazko dentsitatea (>1,9  $\text{kg}/\text{dm}^3$ , 24. irudia).



23. irudia. Xurgapenaren eta gainazal lehorreko partikula asean dentsitatearen arteko erlazioa.



24. irudia. Xurgapenaren eta labean lehortutako partikularen itxurazko dentsitatearen arteko erlazioa.

Birziklatze-instalazioak egoki tratatzen ez badira, agregakin birziklatu mistoek ezpurutasun-portzentaje handiak izan ditzakete, hala nola beira, metalak, zura, igeltsua, lurra eta abar. Ezpurutasun horiek hormigoia-aren propietateak kalte egin ditzakete. Aztertutako araudiak ez datoz bat ezpurutasun-edukien mugetan, eta % 5era bitarteko mugak daude (17. taula Agregakin birziklatu zeramikoko edo mistoarentzako nazioarteko espezifikazioak (12)tik (17)ra).

Aztertutako laginetan gehien agertzen diren ezpurutasunak asfaltoa eta igeltsua dira, % 17ra eta % 19ra arteko balioekin, hurrenez hurren.

Gaur egun asfalto-edukiari jarritako muga (% 1) oso zorrotza da agregakin-mota horrentzat eta, ondorioz, aztertutako laginen % 57k ez du eskakizun hori bete. Hori dela eta, muga-balio hori % 5era jasotzea gomendatzen da (Ingalaterrako DIGEST 433 arauak finkatutako baliora, alegia).

Igeltsu-eduki maximoa sulfato-eduki maximoak mugatzen du. Hala ere, balio orientagarri gisa, igeltsu-edukiarentzat % 2,1eko balio maximo bat finka daiteke erlazio estekiometrikoa erabiliz (igeltsu-jatorriko  $SO_3$  ehunekoak x 2,15 = igeltsuaren %).

Bestalde, beira-edukia % 1 baino txikiagoa izan da aztertutako laginen % 80an (19. taula. Agregakin birziklatu mistoaren laginen emaitza esperimentalak).

#### 4.1.2.4 EEHak (eraikuntza- eta eraispén-hondakinak) tratatzeko teknologien eta egindako agregakin birziklatuen ezaugarrien arteko konparazio-azterketa

EEHak tratatzeko teknologiei buruzko bibliografia espezializatuak hiru teknologia-maila zehazten ditu tratamendu-instalazioei dagokienez. Oinarriko teknologia-mailako instalazioek birrinketa-ekipo autonomoak erabiltzen dituzte. Ekipo horiek elementu hauek izaten dituzte: elikadura-toberak, birrintze-sistemak, bereizgailu magnetikoak eta zinta garraiatzaileak. Teknologia-maila ertaineko ekipoek edo instalazio erdi-finkoek, ekipo mugikorrek erabiltzen dituzte, kokapen finkoan jarriak. Azkenik, teknologia-maila handiko instalazioak egokituta daude nahasketa handiko sarrera-hondakinak tratatzeko. Instalazio egonkorrek dira eta ekipo hauetako batzuk izan ohi dituzte: birrintze-sistemak (talkazkoak edo kakodunak), sailkapen-kabinak eta bereizgailu pneumatikoak (hidrozikloiak eta haizagailuak), hidraulikoak (flotaziokoak) edo magnetikoak. Azkenaldian, tratamendu-lanetan igeltsu-zatiak hobeto bereizteko berrikuntza teknologikoak erabiltzen hasi dira; adibidez, igeltsua eta bestelako ezpurutasunak infragorritz detektatu eta, ondoren, putz eginez bereizteko sistema automatikoak.

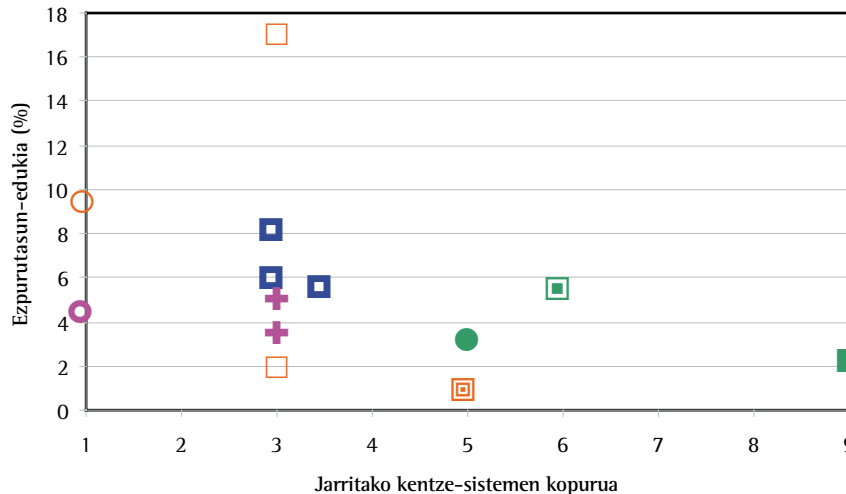
EEHen tratamendu-prozesuak agregakin birziklatu mistoaren ezaugarrietan duen eraginaren azterketak oinarri hauek izan zituen: instalazio bakoitzean prozesatutako sarrera-materialaren mota finkatzea, tratamendu-prozesuaren azterketa sakona eta datu horien eta ekoiztutako azken produktuaren ezaugarrien arteko korrelazioa egitea.

Tratamendu-instalazioan onartutako EEH-motaren arabera, instalazio-kategoria hauek finkatu dira:

- **1. kategoria:** Asko nahasitako EEHak onartzen dituzten instalazioak (4., 7. eta 10. instalazioak).
- **2. kategoria:** Jatorri nahasiko baina nagusiki harri-edukiko EEHak onartzen dituztenak (2., 5., 6., 8. eta 9. instalazioak)
- **3. kategoria:** Hautatutako EEHak baino onartzen ez dituzten instalazioak (3. instalazioa)

EEHak tratatzeko teknologiek agregakin birziklatu mistoen egokitasunean duten eragina aztertuta, , prozesuaren giltzarriak identifikatu ziren. Hain zuzen ere, prozesuaren gako horiek bermatzen dute produktu birziklatuek ez-egiturazko hormigoirako eta eraikuntzako beste zenbait aplikaziotarako nahikoa kalitate izatea.

Agregakin birziklatu mistoetan agertzen diren ezpurutasun-edukiak gutxitu egiten dira jarritako kentze-sistema hauen kopurua gehitu ahala: bereizgailu magnetikoak eta pneumatikoak, flotazio bidezko eta eskuzko hautaketa bidezko bereizgailuak, 2. irudian ikusten den bezala. Tratamendu-instalazioetan onartutako EEHetan eduki desegokiak murriztu ahala, azken produktuaren ezpurutasun-edukiak ere txikiagoak izaten dira eta produktuak aldagarritasun txikiagoa izaten du, bestelako kategorietako produktuetan aurkitutako ezpurutasun-edukiekin alderatuta.



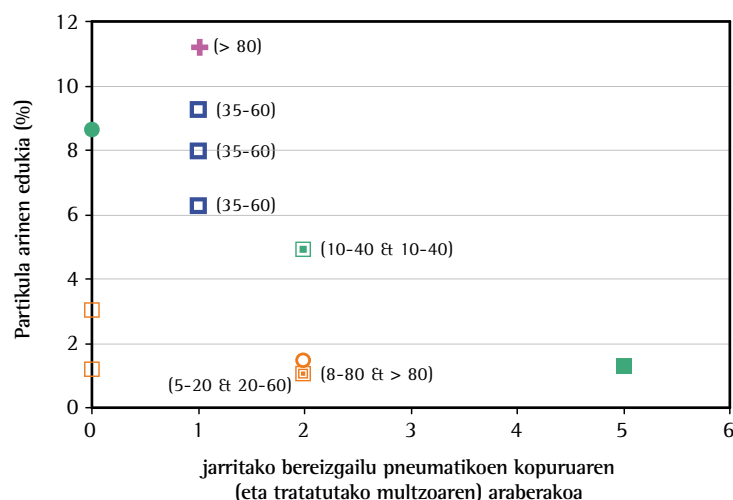
**25. irudia.** Instalaturako bereizketa-sistemen kopuruaren eta ezpurutasun-edukiaren arteko erlazioa.

Igeltsu-edukia hautaketa-puntuaren eta sarrerako EEHen aukeratze-mailaren arabera izaten da.

Zenbat eta hautaketa-puntu gehiago, orduan eta txikiagoa igeltsu-edukia. Infragorritzko detekzio-sistema automatiko bat jartzeak igeltsu-edukiak % len azpitik edukitzen lagundu egiten du.

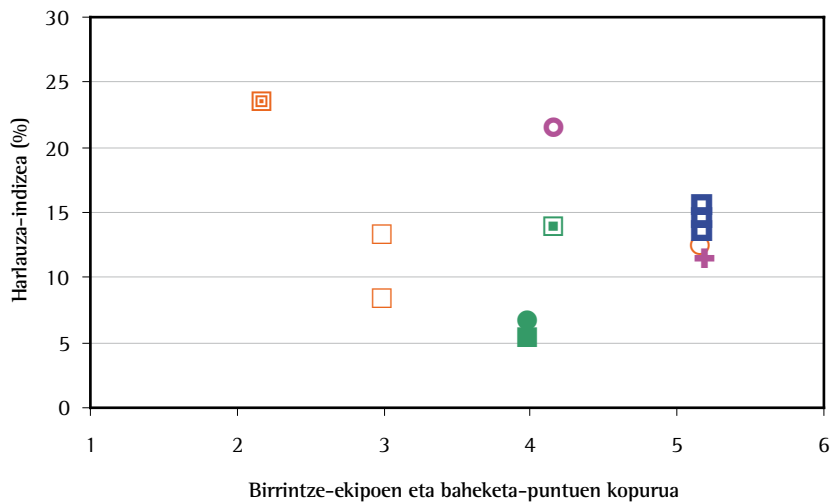
Partikula arinen edukia jarritako bereizgailu pneumatikoen kopuruaren eta, aldi berean, trataturako agregakinen neurri maximoaren eta minimoaren arteko aldearen arabera izaten da (26. irudia). Zenbat eta haizagailu eta zirklo gehiago jarri, orduan eta txikiagoa izaten da trataturako partikulen neurrien arteko aldea, baita elementu desegokien edukia ere.

Multzo bera bi aldiz bereizketa pneumatikopean jartzea baino eraginkorragoa da (gainerako aldagaiak mantenduz gero) material bera bi multzotan banatzea eta bakoitzari dagokion bereizketa pneumatikoa egitea.



**26. irudia.** Partikula arinen edukia, jarritako bereizgailu pneumatikoen kopuruaren (eta trataturako multzoaren) arabera.

Harlauza-indizea birrintze-ekipoen kopuruaren arabera eta baheketa-puntuaren kopuruaren arabera da. Zenbat eta birrintze-elementu eta bahetze-puntu gehiago jarri, orduan eta harlauza-indize txikiagoko agregakinak sortuko dira (27. irudia).



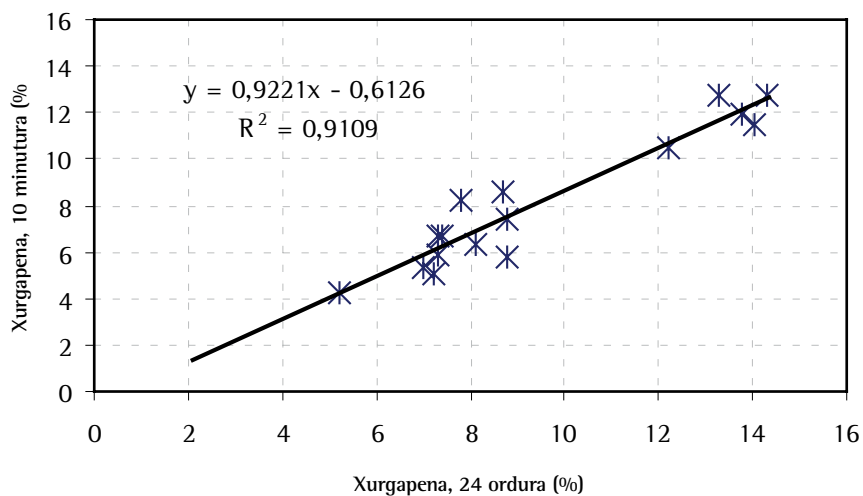
27. irudia. Birrintze-ekipoen eta bahetze-puntuaren kopuruaren eragina agregakin birziklatuaren harlauza-indizean.

Agregakin birziklatu mistoaren laginen emaitza esperimentalak izeneko 19. taulan dago agregakin birziklatu mistoaren laginen aurrekarakterizazioa: aztertutako hamar instalazioetatik, bostek (grisez nabarmendutakoak) ez dituzte betetzen eskakizunak. Ekoizpenaren kontrol-sistema egokia eginda, ez-egiturazko hormigoia fabrikatzeko besteko kalitateko materiala lor daiteke eta sortutako materialaren % 100 erabilgarria izan daiteke.

#### 4.1.2.5 Dosifikazio-azterketa

Hormigoi birziklatua egiteko, egituretarako ez diren ohiko hormigoietan erabiltzen diren material eta dosifikazio-metodo berak erabiltzen dira.

Agregakin birziklatuen xurgapen-maila handia dela eta, aldiz, oratze-prozesuan agregakin horiek ur-kantitate handiak xurgatzen dituzte eta hormigoia loditasuna nabarmen handiagotzen dute. Efektu hori saihesteko, agregakin birziklatu mistoak aurrez ase daitezke. Aurreasetze hori gainazal lehorreko asetze-egoeraren antzekoa erdietsi arte egin behar da. Laborategian egindako azterketetan, agregakinak uretan murgildu ziren, 10 minutuz, eta beste 10 minutuz xukatu ziren. Horrela eginda, xurgapen-maila osoaren % 75-85 arteko xurgapena lortu zen, 28. irudian ikusten denez.



28. irudia. 10 minutura eta 24 ordura egiten den xurgapenen arteko erlazioa.

Hormigoi birziklatua aztertzeko, % 10,5eko xurgapeneko agregakin birziklatuko sorta bat aukeratu zen, 26. taulako gainerako propietateei jarritako eskakizunei jarraiki. Kontrol-hormigoi baten ezaugarriak (agregakin naturalez egindakoa) eta H2O hormigoi birziklatu baten (ezaugarri mistoko % 100 agregakin birziklatu lodiz egindakoa) ezaugarriak aztertu dira. Erabilitako dosifikazioak 20. taulan —*Kontrol-hormigoiaren eta hormigoi birziklatuaren dosifikazioak*— daude.

Agregakinen aurreasetzea egitean, baliteke beharrezkoa ez izatea hormigoi birziklatuaren dosifikazioan gehigarri plastifikatzaileak erabiltzea.

Dosifikazioa, m <sup>3</sup> -ko	Kontrol-hormigoia (KH)	Hormigoi birziklatua (HB)
Ura (l)	187,5	187,5
Zementua (kg) - CEM I 42,5 R	250	250
Ura/zementua	0,75	0,75
Gehigarri plastifikatzailea (kg)	1	0
Hondarra (0/4 mm) (kg)	866	998
Hartxintxarra (4/8 mm) (kg)	400	0
Legarra (8/32 mm) (kg)	707	0
Agregakin birziklatua (4/32 mm) (kg)	0	730

20. taula. Kontrol-hormigoiaren eta hormigoi birziklatuaren dosifikazioak.

Agregakin birziklatu mistoen kalitate kaskarragoaren eraginez, hormigoi konbentzionalaren (agregakin naturalez egindakoa) kalitate bereko hormigoi birziklatu bat egiteko zementu-edukia gehitu egin behar da (% 20rainokoak izan daitezke gehikuntzak). Gehikuntza hori asko txikiagotu daiteke honela:

- Kalitate hobea agregakin birziklatua erabilia.
- Fabrikatu nahi den hormigoiaren erresistentzia-maila txikia bada (zenbat eta txikiagoa, orduan eta txikiagoa gehikuntza).

#### 4.1.2.6 Hormigoi birziklatuaren propietateak

##### Hormigoi freskoaren propietateak

Hormigoi birziklatu freskoaren **dentsitatea** txikiagoa da hormigoi konbentzionalarena baino, agregakin birziklatuaren dentsitatea ere txikiagoa delako. Egindako azterketetan ikusienez, hormigoi birziklatuaren dentsitatea hormigoi konbentzionalarena baino % 10 inguru txikiagoa izan ohi da.

Lehendik ere aipatu dugunez, agregakin birziklatuaren xurgapen-maila handia dela eta, loditasun egokiak lortzeko konbentzionalaren hartu behar da agregakin birziklatuek oratze-prozesuan xurgatuko duten ura; horregatik, komeni da agregakin birziklatuak aurrez asetzea edo gehigarri plastifikatzaileak erabiltzea.

##### Hormigoi gogortuaren propietateak

Jarraian aipatuko ditugu agregakin birziklatu hutsez egindako hormigoi birziklatuaren propietateak eta emaitza esperimental horiek azterlan bibliografikoko balio-tarteekin alderatu dira (21. taula *Hormigoi birziklatuaren karakterizazioa eta azterlan bibliografikoko tarteekin alderaketa*). Kontsultatutako lanen emaitzen artean alde handiak azaldu dira, eta saiakuntzetako emaitzak ere ez datoz datu horiekin bat. Hona horren arrazoi nagusiak:

- Azterketa esperimentalean erabilitako agregakin birziklatu mistoaren kalitatea (% 10,5eko xurgapena eta material zeramikoaren % 32ko edukia) agregakin birziklatu zeramikoarena (bibliografian gehien aurkitu dena) baino handiagoa da (agregakin zeramikoek hormigoiaren kalitatea gehien kaltetzen dutenak dira, oro har).
- Hormigoi konbentzional batek eta hormigoi birziklatu batek konpresioari egindako erresistentziaren aldea txikiagotu egiten da erresistentzia txikiko hormigoietan.



Propietatea	KH	BH		Gaur egungo egoera Aldaketa (%)
		Tartea	Aldaketa (%)	
Dentsitatea (g/cm <sup>3</sup> )	[2,36-2,37]	[2,13-2,15]	% -9,7	% -3 a % -15 <sup>(i)</sup>
Konpresio-erresistentzia (N/mm <sup>2</sup> )	[27-28]	[20-22]	% -25	% -25 a % -70 <sup>(ii)</sup>
Elastikotasun-modulua (N/mm <sup>2</sup> )	29.310	21.218	% -28	% -25 a % -50 <sup>(iii)</sup>
Uzkurdura 7 hilabetera (µm/m)	415,00	571,42	% +38	% +20 a % +80 <sup>(iv)</sup>
Fluentzia	-	-	-	% +10 a % -55 <sup>(iii)</sup>
Uraren sarpena (mm)	59	69	% +17	-
(max eta batezbestekoa)	37	57	% +54	-
Porositatea (%)	10,5	22	% +110	-

<sup>(i)</sup> Erreferentzia bibliografikoetatik hartutako lau balio, 22-23 erref.

<sup>(ii)</sup> Erreferentzia bibliografikoetatik hartutako hiru balio, 21-22 erref.

<sup>(iii)</sup> Erreferentzia bibliografikoetatik hartutako bi balio, 24-25 erref.

<sup>(iv)</sup> Erreferentzia bibliografikoetatik hartutako bederati balio, 20-23-26-27 erref.

**21. taula.** Hormigoi birziklatuaren karakterizazioa eta azterlan bibliografikoko tarteekiko alderaketa.

Agregakin birziklatu lodiarekin fabrikatutako hormigoiaren **dentsitatea** hormigoi konbentzionalarena baino txikiagoa da, erabilitako agregakin birziklatuen dentsitatea txikiagoa delako. Hormigoi **konbentzionalarekin alderatuta**, densitatearen txikiagotzeak % 3tik % 15era bitartekoak dira. Azterketa esperimentalean, batez besteko txikiagotzea % 10ekoa izan da.

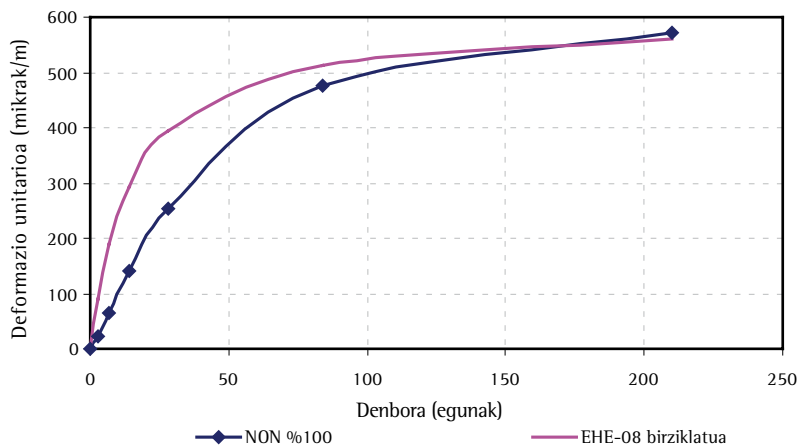
Magnitude-ordena gisa, agregakin birziklatu mistoz egindako hormigoiaren konpresio-erresistentzia 12tik 30 N/mm<sup>2</sup> artekoa izaten da. Agregakin birziklatu zeramikoaren edukia % 100 bada, konpresio-erresistentzia % 70era ere jaitsi daiteke. Agregakin mistoetan (azterketa esperimentala), jaitsierak % 25 inguruak izaten dira, ura/zementua erlazio bereko beste hormigoi konbentzionalarekin alderatuta.

Hortaz, % 100 agregakin birziklatua erabilia ere 15 N/mm<sup>2</sup>-ko erresistentzia-mailako hormigoiak egin daitezke, hain zuzen ere EHE-08 arauak ez-egiturazko hormigoiarentzat finkatutako mailakoak.

Hormigoi birziklatuaren **elastikotasun-modulua** kontrol-hormigoiarekin alderatuz gero ere, konpresio-erresistentziarekin lortutakoaren antzeko jaitsiera erdiesten da (% 28). Erresistentziarekin gertatzen zenaren antzera, bibliografian aurkitutako behe-mugatik gertu kokatzen da jaitsiera hori (% 25-50). Konpresio-erresistentzia eta elastikotasun-modulua erlazionatzen dituen EHE arauan datorren formula erabilia ( $E=8500 \cdot \alpha \cdot f_{cm}^{1/3}$ ) lortzen den  $\alpha$  koefizientearen balioa 0,8 da. Balio hori EHEk agregakin naturalentzako jasotzen duena baino (0,9) zertxobait txikiagoa da.

**Uzkurdura** da saiakuntzetan neurtutako emaitza-dispersio handieneko propietatea: % 20tik % 80ra arteko gehikuntzak (ohikoak).

Egindako azterlan esperimentalean, uzurdura-saiakuntza 7 hilabetera egitean, hormigoi birziklatuaren uzurdura hormigoi konbentzionalarena baino % 40 handiagoa izan da. Hala ere, bi kasuetan neurtutako uzurdura txikiagoa da EHEk konpresio-erresistentzia jakin horretako hormigoiarako kalkulaturakoa baino. Hortaz, neurtutako balioak kontrol-hormigoiarenak baino handiagoak diren arren, balio horiek egokitzat jo daitezke, adin horietarako behintzat. Aurkitutako joeraren arabera, baliteke adinak aurrera egin ahala hormigoi birziklatuaren uzurdura handiagoa izatea. Horregatik, propietate hori garrantzitsua den hormigoi-erabileretarako (batez ere azalera handietan hormigoia botatzen denean, non pitzadurek obraren funtzionaltasunari eragin kaltegarria eragin diezaiket) neurri egokiak hartu behar dira hormigoiaren gehiegizko pitzadurarik ez gertatzeko. Hortaz, hormigoiketa-junturen arteko distantzia txikiagotzea gomendatzen da, halakorik behar izanez gero.



## 29. irudia. Hormigoi birziklatuaren uzkurdura.

% 100 agregakin birziklatuz egindako hormigoiaren **fluentzia** ere kontrako beste faktore bat da. Izan ere, dago-kion erreferentzia-hormigoiarekiko % 55era arteko gehikuntzak izaten dira (5. taula). Faktore hori, dena den, ez da garrantzi handikoa egituretarako ez den hormigoietan.

## Hormigoi birziklatuaren iraunkortasuna

Hona hemen kontsultatutako azterlan bibliografikoetan ateratako zenbait ondorio, batez ere agregakin birziklatu zeramikoetarako baliagarriak:

- Agregakin birziklatuaren **porositate** handiaren eraginez, hormigoi birziklatuak ura xurgatzeko ahalmen handia du. Kontsultatutako bibliografian informazio gutxi dago gai horiei buruz, baina bestelako zenbait azterlanetan ikusi denez, hormigoi konbentzionalekin alderatuta hormigoi birziklatuetan uraren sarpena % 50 handiagoa da, eta uraren xurgapena, bi edo hiru aldiz handiagoa.
- Agregakin birziklatuz egindako hormigoiaren **karbonatazio-abiadura** ere hormigoi konbentzionalarena baino handiagoa da.
- Birrindutako material zeramikoz egindako hormigoien **izozteekiko erresistentzia** desagokitzat jotzen da.
- Agregakin birziklatu zeramikoz fabrikatutako hormigoiek **suarekiko erresistentzia** ona dute, behar bezain lehor mantentzen bada.

Eskuragarri dagoen informazioa osatzeko egindako azterlan esperimentaletan, entsegu hauetan jarri da arreta:

- Agregakin birziklatu mistoz egindako hormigoiek porotasun handiagoa dute, eta, ondorioz, **uraren sarpensakontasun** handiagoa dute dosifikazio bera erabiliz agregakin naturalak erabilia baino. Erabilitako zementu-kantitate txikiak direla eta, hormigoi horiek ez dira egokiak EHE-08ren 37.7.7 artikuluan aipatutako inguruneetan erabiltzeko.
- **Sulfatoekiko erresistentziari** dagokionez, ondorioztatzen da % 100 agregakin birziklatuz egindako hormigoiek hormigoi konbentzionalak baino pixka bat okerrago erantzuten dutela. Hala ere, hormigoi birziklatuen erantzun orokorra ez da erabilitako agregakin birziklatuak sulfatoen eraginari aurre egin ezin diola ondorioztatzeko bestekoa.

## 4.2. Agregakin birziklatuen erabilerak ingurumenean duen eraginari buruzko hausnarketak

### 4.2.1 Agregakin birziklatu mistoen lixibiazio-arriskuaren analisia

Lixibiazio-azterketaren helburua izan da agregakin birziklatu mistoak pikor gisa lurrarekin kontaktuan erabiltzeak eragin ditzakeen ingurumen-inpaktuak ebaluatzea. Horrela, ikerlanaren jatorrizko xedea hedatu egin da.

Horretarako, zutabe-lixibiazioa aurreazterketak egin ziren (NEN7373 arauari jarraituz). Sb, As, Ba, Br, Cu, Cr, Sn, F, Mo, Pb, SO<sub>4</sub> eta V-ren portaerak aztertu ziren. Lixibiazioaren emaitzak Herbeheretako Building Decreeen deskribatutako metodologiari jarraituz modelizatu ziren. Lurra ukitzen duten hondakinen aplikazioak aztertzeke erabiltzen da metodologia hori.

Agregakin birziklatu mistoetarako kalkulaturako inmisio-balioek erakusten zutenez, nahasi gabeko aplikazioetan erabiltzeko zenbait parametro kritiko zeuden, hala nola *molibdenoa, sulfatoak eta bromuroak*. Zenbait araudi aurreratuagok, hala nola Herbeheretakoak, dagoeneko parametro kritikotzat jo dituzte barioa, fluoruroak, sulfatoak eta banadioa ere, eta, ondorioz, onarpen-balioak berrikusi egin dituzte, halakoak pikor-material gisa erabiltzea sustatzeko asmoz.

Agregakinaren konposizioak eta lixibiazioaren emaitzek erakusten dutenez, badirudi korrelazio garbia dagoela agregakinaren konposizioaren material zeramikoaren eduki-ehunekoaren eta agregakinaren ingurumen-arriskuaren artean, eta, aldi berean, eduki zeramiko handiko agregakinaren inmisio-balioak handiagotu egiten dituela, muga-balioak gaindituz.

### 4.2.2 Lurrarekin kontaktuan dauden pikor-aplikaziotan erabiltzeko agregakin birziklatuak

Orkonerako probagunean (4.1.1.5. atala: *Probaguneak*) erabilitako agregakinaren ingurumen-karakterizazioa (kutsatzaileen emisio potentziala) egiteko, EN-12457-2 lixibiazio-saiakuntza bat egin zen. Entsegu horiek betelanerako materialean eta drainatze-legarrean egin ziren, legar horren balizko ekarpen gehigarriak baztertzeko (ikus 22. taulako emaitzak). Aztertutako parametroak aukeratzeko, agregakin birziklatuen lixibiazioari buruz aurrez egindako azterlanetan oinarritu ginen, eta arriskutsu izan zitezkeenak aztertu genituen.

		Legarra	Agregakina
Sb	mg/Kg	< 0,050	< 0,050
Br	mg/Kg	< 0,50	< 0,50
Cu	mg/Kg	< 0,020	0,084
Cr	mg/Kg	< 0,020	0,10
Mo	mg/Kg	< 0,050	0,080
SO <sub>4</sub>	mg/Kg	290	1500
V	mg/Kg	0,050	1,2

**22 taula.** Probagunean erabilitako materialei egindako lixibiazio-entseguen (EN-12457-2) emaitzak.

Emaitza horietan oinarrituz, epe luzeko lixibiazio-azterketa bat egin zen<sup>1</sup> (modelizazioa), material horren erabilerari lotutako balizko parametro arriskutsuak identifikatzeko orduan irizpide gisa erabiltzeko. Modelizazioak erakutsi zuten, probaguneari emandako erabilerarako arriskutsuak izan litezkeen osagaiak *sulfatoak, molibdenoa eta banadioa* dira. Ondorioz, parametro horiek monitorizatu dira gune horretan.

<sup>1</sup> Herbeheretako Building Decreeen deskribatutako metodologiari jarraituz.



30. irudia. Orkonerako probagunea.

Probagune horretako lixibiazioaren azterketa xeheagoa egin ahal izateko, inguru horretako euri-prezipitazioen segimendua egin zen Zugaztietako, estazio meteorologiakoaren bidez (Euskal Meteorologia Agentziarena da estazioa, eta saiakuntza-lekutik oso gertu dago). Era berean, lixibiazio-prozesuak induzitu eta saiakuntzaren iraupena laburtu ahal izateko, probagunearen ureztatze kontrolatu bat ere egin zen, “euri artifizial” gisa. Gunearen gainean prezipitatutako uraren kontrolari eta iragazitako bolumenen kontrolari esker, lixibiazioaren azterketa ez ezik materialaren infiltrazio/iragazkortasunarena ere egin zen.

Aipatutako gunearen lixibiazio-azterketak hiru bat hilabete iraun zuen. Denbora-tarte horretan jasotako prezipitazioak eta jasotako infiltrazio-bolumenak 23. taulan daude.

		2 egun	8 egun	14 egun	30 egun	37 egun	46 egun	53 egun	93 egun	...
Prezipitazioa*	l	6000	4814	994	8814	12275	2359	20027	2031	...
Prezipitazio metatua	l	6000	10814	11808	20623	32898	35257	55285	57316	...
Infiltrazioa	l	250	250	250	180	50	250	1000	75	...
Infiltrazio metatua	l	250	500	750	930	980	1230	2230	2305	...
Infiltrazioaren %	%	4,17	4,62	6,35	4,51	2,98	3,49	4,03	4,02	...
L/S (likidoa/solidoa)	l/Kg	0,0021	0,0042	0,0063	0,0078	0,0082	0,0103	0,0186	0,0192	...

\* Prezipitazio-balioak euri naturalaren eta artifizialaren (ureztatzea) baturari dagozkie).

23. taula. Prezipitazioen eta infiltrazioaren denbora-bilakaera probagunean. Likido/solido (L/S) erlazioaren kalkulua.

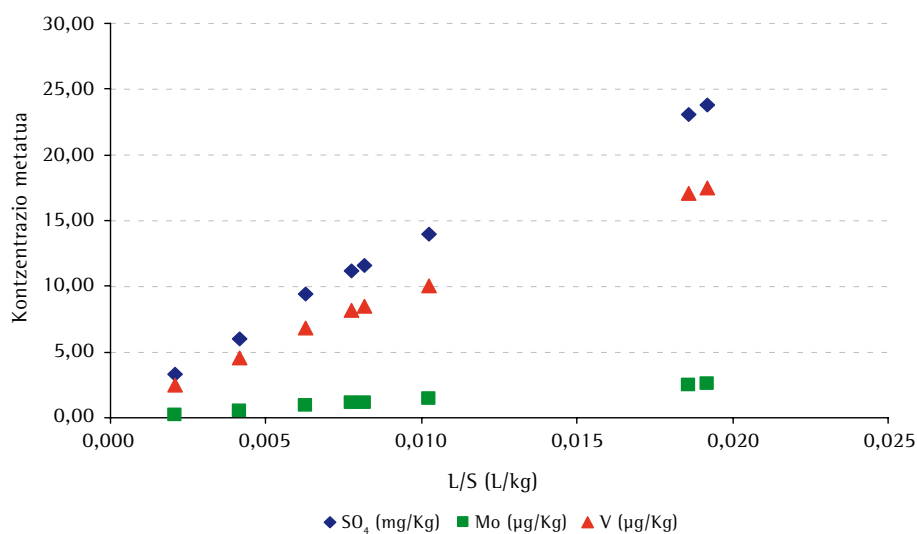
Infiltrazioa kalkulatzeko prezipitazio eta infiltrazio metatuen balioak erabili dira, saiakuntzaren iraupen osoko batez besteko balioa lortzeko. Hartutako neurrien arabera, prezipitatutako bolumen osoarekiko, infiltratutako bolumenaren infiltrazio-balioak %4 ingurukoak dira. Infiltrazio horrek  $K = 2,8 \cdot 10^{-6}$  m/s-ko iragazkortasun-koefizientea adierazten du, hots, oso iragazkortasun txikiko material bati dagokiona<sup>2</sup>. Alde horretatik, lixibiazio-potentziala, eta, ondorioz, materialari eusten dion bitartekora (gure kasuan, azpiko lurra) denborarekin kutsatzaileak askatzeko tasa asko murrizten dira eta, hortaz, horri lotutako arriskua minimizatu egiten da. Dena den, baieztapen hori infiltrazioan baino ez da oinarritzen eta, izatez, lixibiazio-kontzentrazioen arabera ere bada. Hori da, hain zuzen ere, jarraian aztertuko duguna.

Lixibiazioaren jarraipenari dagokionez, kontzentrazio-maila hauek neurtu ziren jasotako ondoz-ondoko laginetan.

		1. L	2. L	3. L	4. L	5. L	6. L	7. L	8. L
L/S	L/Kg	0,0021	0,0042	0,0063	0,0078	0,0082	0,0103	0,0186	0,0192
Sulfatoa	mg/L	1600	1300	1600	1200	1100	1100	1100	1200
Molibdenoa (Mo)	µg/L	110	160	170	140	110	130	130	110
Banadioa (V)	µg/L	1200	1000	1100	850	780	740	850	610

24. taula. Lixibiazio-balioak probagunean.

Balio horiek hurrengo grafikoan honela adierazten dira: lixibiazio metatua (mg/kg edo µg/kg) likido/solido (L/S, l/kg-tan adierazita) erlazioaren funtzioan.



31. irudia. Lixibiazio metatua probagunean: SO<sub>4</sub>, Mo eta V.

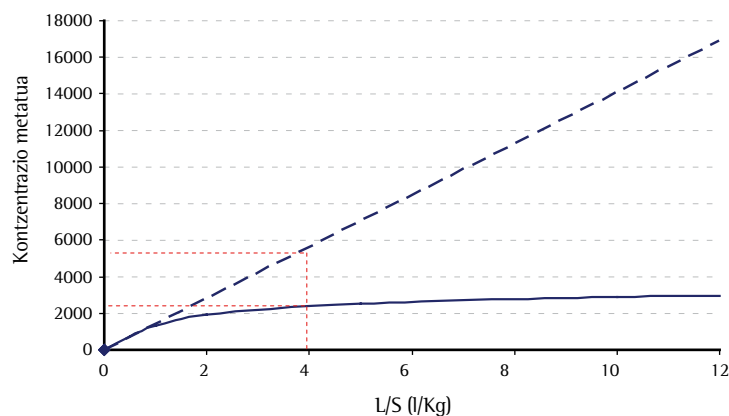
Hiru parametroek joera gutxi linealari jarraitzen diote. Joera hori materialen hasierako lixibiazio-faseetan izaten diren material-garbiketako prozesuei (wash-off) lotuta egon daiteke.

Materialaren iragazkortasun txikia dela eta, oso bolumen txikiak infiltratzen dira; horregatik, likido/solido erlazioak (l/kg) ere txikiak izaten dira. Horregatik, epe luzera edo  $L/S^3$  erlazio altuekin egindako iragarpenetan erabilitako kontzentrazio-estrapolazioak ziurgabetasun handikoak dira. Materialen lixibiazio-prozesuetan, elkarren segidan gertatzen diren hainbat mekanismo fisiko-kimikok hartzen dute parte. Hasieran, ohikoa da materialaren garbitze-

<sup>2</sup> U.S. Soil Conservation Service.

<sup>3</sup> Kasu horretan, EAeko antzeko ingurune euritsu batean agregakinen propietateek 100 urterako lixibiazioa  $L/S = 3,9$  l/kg-ko erlazio bati dagokiola adieraziko lukete.

prozesuak (*wash-off*) gertatzea. Jarraian, beste prozesu batzuek hartzen dute indarra, hala nola disoluzioak, difusioak eta, azkenik, “agortzeak”. Hortik aurrera, lixibiazioa ez da esanguratsua. Hortaz, erantzun logaritmikoa (ohikoa) erabili beharrean estrapolazioak egiteko joera lineala erabiltzen bada lixibiazioaren gehiegizko zenbatespena eragin dezake.



32. irudia. Lixibiazio metatuaren joerak: lineala (a) eta logaritmikoa (b).

Saiakuntzak martxan segitzen du eta, aurrera egin ahala, joeraren ezagutza zabalagoa eta zehatzagoa izango dugu. Horri esker, osagai bakoitzak lixibiazioarekiko duen erantzuna hobeto eta ziurgabetasun txikiagoarekin estrapolatzeko modua izango dugu.

### 4.2.3 Hormigoia birziklatuaren lixibiazioa

Zementu-matrizeari gehitutako agregakin birziklatu mistoei dagokienez —ez-egiturazko hormigoia aplikazioak, adibidez—, lixibiazio-potentziala difusio-mekanismoen bidez egiten da gehienbat.

NEN7375 aruari jarraituz andeletan egindako lixibiazio-saiakuntzek (difusio bidezko lixibiazioa) erakutsi dutenez, hormigoia egiteak agregakin birziklatuei lotutako osagai kutsatzaileak egonkortu egiten ditu eta, hortaz, osagai horien mugikortasun-tasak asko murrizten ditu. Taulan ikusten denez, epe luzeko immisio-balioak balio onargarri maximoen oso azpitik daude, azterketa honi dagokionez.

	$I_{100 \text{ urte}}$ (mg/m <sup>2</sup> )	$I_{\text{max zuzendua}}$ (mg/m <sup>2</sup> )
Cr	1,37	795
Br	8,93	1.408
SO <sub>4</sub>	2.361	295.097
V	6,8	1.020
Mo	0,11	15

25. taula. Immisioaren eta immisio onargarri maximoaren arteko konparazio-taula.

Parametro kritikoaren immisio-balioen modelizazioak erakusten duenez, erabilitako inpaktu-ereduari jarraituz, balio horiek immisio-muga onargarrien oso azpitik daude eta, hortaz, ingurumen-arloari dagokionez hormigoia fabrikatzeko agregakin mistoaren erabilera balioztatu egiten da lurrarekin kontaktuan egon behar duen aplikazioetarako.



## 4.3. Ondorioak

### 4.3.1 Hondakinak birziklatzeko instalazioetarako gomendioak

- Hondakinak *jatorrian bereiztea* eta instalazioetan *jasotako materialen kontrol* egokia egitea funtsezko bi alderdi dira hormigoietarako erabiltzeko moduko kalitateko agregakin birziklatu mistoa ekoitzi ahal izateko.
- Material baztergarriak (beira, metalak, material arinak eta abar) jasotzen badira, ohiko birrintze-mekanismoez gainera, bereizketa-sistema magnetikoak eta material arinak bereizteko sistemak (zikloiak edo haizagailuak, esaterako) izan beharko dituzte instalazioek.
- Agregakin birziklatuen sulfato-edukiak dira (gehienetan, igeltsu-jatorrikoak) agregakin birziklatu mistoen propietate kritikoetako bat. Hasieran, instalazioei gomendatzen zaie igeltsu-plaka asko dituzten sortak aparte biltzeko. Bestalde, zatirik txikiak (4 mm-tik beherakoak) kenduta eta material arinak bereizteko sistemak erabiltita, halakoen edukia murriztea lor daiteke.

### 4.3.2. Parámetros técnicos

#### 4.3.2.1 Nahasi gabeko aplikazioak errepede-zoruetan

Errepede-zoruetan agregakin birziklatu mistoak nahasi gabe erabiltzeari buruzko arauak xedatu aurreko azterketatik ondorio hauek atera dira:

- Badirudi zati zeramikoak direla agregakin birziklatu mistoaren higadura zuzentzen dutenak. Elementu zeramiko fin asko sortzea onuragarria da pikorrak finkatzeko prozesuarentzat. Izan ere, ezaugarri zeramikoko partikula txikiek urarekin kontaktuan erreakzio puzzolanikoak eragiten dituzte hormigoiaeren kaltzio-hidroxidoarekin.
- Agregakin birziklatu mistoak ahalmen eramailea —CBR indizearen bidez neurtutakoa— irabazten du. Izan ere, pikor-mota horretan hainbat fase mineraletako elementuak biltzen dira, eta horien artean erreakzio hidraulikoak edota puzzolanikoak sortzen dira. Hamalau egunera neurtutako CBR indizea agregakin birziklatu mistoaren laginetan lau egunera neurtutako CBR indizea baino % 20-30 handiagoa da. Era berean, 28 egunera neurtutako CBR indizea lau egunera neurtutakoa baino % 50 handiagoa da.
- Agregakin birziklatuen erantzuna ez-plastikoa da, hondakinen tratamendua eta indusketa-lurra ez baitira nahasten.
- Materia organikoa zehazteari dagokionez, 500 °C-ko kaltzinazio-galerako saiakuntzak eta potasio permanganato bidezko oxidazio-saiakuntzak ez dira behar besteko hautakorrak izan; horregatik, bestelako ezpurutasun organikoen edukia (zura, plastikoa, kartoia edo papera) zenbatesteko desegokiak suertatu dira. Horretarako, EN 933-11 arauak finkatutako osagaien saiakuntza eraginkorragotzat jotzen da.
- Uretan disolbagarriak diren sulfatoen entseguaren bidez sufre-konposatuen eduki osoa, igeltsu-edukia eta gatz disolbagarrien edukia erregulatu daitezke, parametro horien arteko korrelazio handiari esker.
- Uretan disolbagarriak diren sulfatoei % 0,4 inguruko muga maximoa ezar dakieke, egitura-eskakizun handiagoko aplikazioetarako.

Probaguneetan jasotako emaitzak erabiliz, nahasi gabeko aplikazioetan agregakin birziklatu mistoaren erabilerari buruzko ondorio orokor hauek atera daitezke:

- Agregakin birziklatuaren trinkotze-prozesua ondo egiten da, eta dentsitate handiak (erreferentzia-dentsitatearen % 98-% 100 inguru) lortzen dira iraganaldi-kopuru txikiarekin (3-5 iraganaldi bikoitz).
- Agregakin birziklatuaren xurgapen handia dela-eta, trinkotze-hezetasun handia behar du eta, hortaz, obran lanetan hezetzeko maila handia eskatzen du. Birziklapen-instalaziotik hornitutako materiala dagoeneko hezea badator, arazo hori murriztu egiten da (baita desagertu ere, zenbaitetan).
- Agregakin birziklatuak iritsitako euste-ahalmena egokia da errepede-zabalguneetarako. Karga-saiakuntzetan neurtutako Ev2 konprimagarritasun-moduluaren balioak eta k erlazioak kontuan hartuta, E2 motako zabalgunetarako egokiak dira.



- Inpaktu-deflektometro deflexioak aztertu dira, eta emaitzak alderantzizko kalkuluaren prozeduraren bidez aztertu ondoren ikusi da materialaren modulu dinamikoa harrobiko materialaren antzeko ordenakoa dela, nahiz eta moduluak zertxobait txikiagoak diren (% 10 inguru txikiagoak).
- Legar-zementuari eta zabalguneari eragindako esfortzuen aurreko egitura-erantzun bateratuaren modulu dinamikoak antzekoak dira harrobi-agregakinez zein agregakin birziklatuz egindako guneetan.
- Agregakin birziklatuaren modulu dinamikoak lurraren antzeko ezaugarri ez-lineala du; hau da, jasotako tentsioak txikiago ahala modulua handiago egiten da.
- Joera hori hobeto ikusten da zenbait mailatako kolpeak emanda, eta, bereziki, legar-zementuaren azpian neurketak eginda (hor, tentsioak oso txikiak dira).
- Egindako probetan ikusi denez, agregakin birziklatuaren modulua 325 MPa ingurukoak dira esfortzu zuzeneko. Karga-maila txikiagoetan (adibidez, legar-zementuzko geruzaren azpian dagoelako), garatutako modulua 1275 MPa ingurukoa izan zen.

#### 4.3.2.2. Egituretarako ez den hormigoian agregakin birziklatu mistoa erabiltzeko gomendioak

##### Agregakin birziklatu mistoaren espezifikazioak

- Agregakin birziklatu lodia (4 mm-tik gorakoa) erabiltzea gomendatzen da.
- Agregakin birziklatuetarako, ezaugarri hauek gomendatzen dira:

	Eskakizunak
Xurgapena, 24 ordutan	% ≤12
Azidoan disolbagarriak diren sulfatoen edukia (SO <sub>3</sub> )	% ≤1
Material baztergarrien edukia (plastikoak, materia organikoa, zura, papera eta abar)*	% ≤1
Beira-edukia (%)	% ≤1
Asfalto-edukia (%)	% ≤5
Los Angeles koefizientea (%)	% ≤50
Harlauza-indizea (%)	% ≤35

\* Konposizio-entseguaren bidez (UNE EN 933-11) edo 1,0tik beherako dentsitateko partikulen entseguaren bidez zehaztua.

#### 26. taula. Agregakin birziklatu mistoetarako espezifikazioak.

- Proposatutako eskakizunak hauek diren arren, agregakin birziklatuaren kalitate-kontrola beste parametro batzuk neurtuta ere egin daiteke. Egindako azterlanaren ondotik ikusi da parametro horiek agregakin birziklatuaren xurgapenari eta sufre-konposatuen edukari lotutakoak izan behar luketela. Parametro horiek orientagarriak baino ez dira, ez dira mugatzaileak.

	Gutxi gorabeherako parametroak
Material zeramikoaren edukia	% ≤45
Gainazal lehorreko partikula asean dentsitatea	≥2,10 g/dm <sup>3</sup>
Labean lehortutako partikulen dentsitatea	≥1,90 g/dm <sup>3</sup>
Xurgapena, 10 minutura	% ≤10
Igeltsu-edukia	% ≤2,1

#### 27. taula. Agregakin birziklatu mistoetarako gomendio osagarriak.

- Agregakin birziklatu mistoa, zenbaitetan, % 100eraino erabil daiteke.
- Agregakin birziklatuaren xurgapena handia denez, oratze-prozesuan ura agregakinei atxikita gera liteke eta, ondorioz, orearen loditasuna handiagoa da eta ur/zementu erlazio eraginkorra txikiagotu egin daiteke. Hori saihesteko, komeni da agregakinak aurrez aseta egotea, gainazal lehorreko asetze-ezaugarrien balioetaraino.

## Hormigoi birziklatuaren propietateak

- Dosifikazio egokiarekin, H15 erresistentzia-mailako hormigoiak ere egin daitezke agregakin birziklatuak (% 12ra arteko xurgapenekoak) erabiliz.
- Hormigoi birziklatuaren uzkurdurak balio handiak har ditzake. Hori dela-eta, uzkurduraren propietateak garrantzia duen erabileretan (batez ere azalera handietan hormigoia botatzeko) ezinbestekoa da hormigoiaren gehiegizko pitzadura saihesteko neurriak hartzea.
- Halako hormigoiaren iraunkortasuna hormigoi konbentzionalena baino askoz laburragoa da. Izan ere, hormigoi horien porotasun handiak uraren sarpes-akonerearen, karbonatazio-abiaduraren eta kloruroen sarpesaren balio handiak eman ditu egindako saiakuntzetan. Sulfatoekiko erakutsitako erresistentzia egokia da, nahiz eta hormigoi konbentzionalena baino zertxobait txikiagoa den.
- Horregatik, agregakin birziklatuz egindako hormigoi birziklatuak masa-hormigoi gisa soilik erabiltzea gomendatzen da. Armadura-motaren bat erabiliz gero, I. mailako esposizioan (ez oldarkorra) bakarrik behar du izan.
- Azken ondorio gisa, EHE-08 arauaren 15. eranskinean agregakin birziklatuatarako jasotako eskakizunak aldatzea gomendatzen da, eta agregakin birziklatu mistoen erabilera baimentzea, % 12ra arteko xurgapena eta % 5etik beherako asfalto-edukia badute, eta material zeramikoek % 5eko muga kentzea.

### 4.3.3 Ingurumen-parametroak

#### 4.3.3.1 Nahasi gabeko aplikazioak errepide-zoruetan – Agregakin birziklatuko laginen ingurumen-azterketa

##### Printzipio metodologikoa

Pikor gisa erabiltzeko balorizatutako materialetan, kutsatzaile inorganikoen mobilizazioa perkolazio bidez gertatzen da, nagusiki. Horrela, bada, material horrek lurzorura igortzen duen karga kutsatzailea eta, ondoren, lurzorura iristen den kantitate kutsatzailea ( $I_{max}$ ) edo bitarteko hartzaileko karga kutsatzailearen gehikuntza kalkulatzeko, zutabeko lixibiazio-testa eta test horri lotutako modelizazio-metodologia erabiltzen dira (hemen azalduko dizkizuegu biak).

Material baten lixibiazio-magnituda eta, hortaz, materialak eragindako kutsatzaileen immisioa elementu kutsatzaileen eskuragarritasunaren eta eragile lixibiatzailearen bolumen eta ezaugarrien araberakoa da. Aztertutako aplikazio-motetan, lixibiazioaren eragilea euri-ura da. Hortaz, materialaren eraginez sortutako immisioaren kalkulueredurako sarrera nagusi bat da erabilitako material balorizatuaren gainetik dagoen lurzoruaren infiltrazioa.

Immisio-balioak ( $I_{max}$ ) honela zehazten dira: balio horiek inguru hartzaileen multifuntzionaltasunaren babesa bermatzeko moduan. Lurzoruko edo lurrazpiko aplikazioei dagokienez, zehaztapen horrek baldintza hau eskatzen du: lurzoru naturalean dauden elementu kutsatzaileen kontzentrazioei ezarritako erreferentzia-balioak baino % 1 handiagoa ez izatea, 100 urteko erabilera-epan eta metro bateko lodierako lurzoru-geruza homogeen baterako batezbestekoa eginda. Muga-balio horiek lur azpiko uren kalitatea babesten dutela jotzen da. Kloruroatarako eta sulfatoatarako bakarrik ezartzen da immisio-balio onargarri maximo bat, lur azpiko uren kalitatean izan dezaketen eraginean oinarrituta. Kasu horietan, immisio-balio onargarri maximotzat hartzen da lehen aplikazio-urtean lurrazpiko uren erreferentzia-kontzentrazioan % 100eko baino gehikuntza txikiagoa eragiten duena. Balio hori guneko lurzoruaren iragazkortasunaren eta aplikazioaren isolamendu-ezaugarrien araberakoa izaten da.

Infiltrazio-balio erabilgarriari dagokienez, balorizatutako materiala erabili behar den inguruneke lurzorua iragazkortasunaren arabera eta aplikazioaren ezaugarrien arabera finkatzen dira. Horretarako, aukera hauetatik egoerari hobekien egokitzen zaiona hartzen da:

Egoera		Infiltrazioa (mm/urte)
Lurzoruarekin kontaktuan	% 60ko iragazkortasuna	390
	% 40ko iragazkortasuna	260
	% 15eko iragazkortasuna	650
Isolatuta		6

#### 28. taula.

Emisioa zehazteko, lehenago aipatutako zutabeko lixibiazio-testa erabiltzen da. Zutabe-saiakuntzak egiteko prozedura da probatu nahi den materialez betetako zutabe bertikal batean zehar ponpa peristaltiko bat erabiliz lixibiatzailea pasaraztea. Horrela, egoera naturalaren antzeko lixibiazio-emari bat jasotzen duen lurzorua egiazko perkolazioa simulatzen da. Lixibiatuak epe jakin batzuetan jasotzen dira saiakuntzan, eta aztertu egiten dira, dagokien osagai kutsatzaileen edukia, hots, emisioa (*Emat*), zehazteko.

Gure kasuan, NEN7373 arauak finkatutako protokoloa bete behar da, hots, lixibiatua likido/solido erlazio hauek (L/S, l/kg) daudenean jaso behar da: L/S=0,1; L/S=0,2; L/S=0,5; L/S=1; L/S=2; L/S=5 eta L/S=10. Hortaz, saiakuntza egiteko 21 egun inguru behar dira. Aztertu beharreko material-lagin bakoitzaren hiru erreplikatan egin behar da saiakuntza.

### Laginen deskribapena eta karakterizazioa

Lau lagin aztertu dira:

- **Gardelegiko instalazioa:** bi azpilaginen elkarketak osatutako lagin bat
- **BTBko instalazioa:** bi azpilaginen elkarketak osatutako lagin bat.
- **VOLBASeko instalazioa:** bi lagin bereizi

### Matrize solidoan jasotako balioen eta B-ebaluazioko balio adierazleen (EBA-B) arteko alderaketa

B-ebaluazioa estandar bat da, eta adierazten digu substantzia jakin baten zer kontzentrazio-balioetik aurrera lurzorua eraldatuz jo daitekeen eta kutsatua egoteko aukerarik badagoen, hau da, zer kontzentrazio-balioetik aurrera ager daitekeen giza osasunarentzat eta ingurumenarentzat arrisku onartezinen bat. EBA-Bak lurzorua erabilera-mota bakoitzerako definituta daude.

Taula hauetan dituzue matrize solidoan jasotako balioak, EBA-Bren balioekin alderatuta:

#### Laborategiko emaitzak: Matrize solidoko saiakuntza

Ezaugarriak		EBA-B erabilera industrialia	Volbas 1	Volbas 2	Gardelegi	BTB
			VF- 1.1	VF-1.2	GF-1.1 + GF-1.2	BF-1.1 + BF-1.2
Materia lehorra	% (m/m)		52.1	88.7	93.5	79.8
Karbono-eduki osoa	g/kg ms		35	18	1.7	26
Karbonatoak (CaCO <sub>3</sub> )	% (m/m) ms		61.6	49.6	47.1	51.4
<b>Elementuak</b>						
Artsenikoa (As)	mg/kg ms	200	6	7	4	8
Barioa (Ba)	mg/kg ms		99	100	73	99
Berilioa (Be)	mg/kg ms		<1	<1	<1	<1
Kadmioa (Cd)	mg/kg ms	50	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3

Ezaugarriak		EBA-B erabilera industrialia	Volbas 1	Volbas 2	Gardelegi	BTB
			VF- 1.1	VF-1.2	GF-1.1 + GF-1.2	BF-1.1 + BF-1.2
Kobalto (Co)	mg/kg ms		5	4	3	4
Kromoa (Cr)	mg/kg ms	550	30	20	14	16
Kobrea (Cu)	mg/kg ms	3	50	51	11	55
Merkurioa (Hg)	mg/kg ms	40	<0.05	0.10	<0.05	0.06
Molibdenoa (Mo)	mg/kg ms	750	3.2	2.2	1.2	2.7
Nikela (Ni)	mg/kg ms	800	20	17	11	14
Beruna (Pb)	mg/kg ms	1000	27	69	13	56
Antimonioa (Sb)	mg kg/ms		<3	<3	<3	<3
Selenioa (Se)	mg/kg ms		<5	<5	<5	<5
Eztainua (Sn)	mg/kg ms		<5	<5	<5	<5
Talioa (Tl)	mg/kg ms		<5	<5	<5	<5
Banadioa (V)	mg/kg ms		33	18	27	22
Zinka (Zn)	mg/kg ms		110	140	46	210
<b>Hidrokarburo Monoaromatikoak</b>						
Bentzenoa	mg/kg ms	10	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
Toluenoa	mg/kg ms	200	0.14	0.14	<0.050	0.081
Etilbentzenoa	mg/kg ms	100	0.086	0.056	<0.050	0.095
o-Xilenoa	mg/kg ms		<0.050	<0.050	<0.050	0.11
m,p-Xilenoa	mg/kg ms		0.23	0.16	<0.050	0.30
Xilenoak (batura)	mg/kg ms	200	0.23	0.16	--	0.41
BTEX (batura)	mg/kg ms		0.46	0.35	--	0.58
<b>Bifenilo polikloratuak</b>						
PCB 28	mg/kg ms		0,003	0.002	0,003	0,083
PCB 52	mg/kg ms		0,004	0.005	0,001	0,026
PCB 101	mg/kg ms		0,006	0.007	0,002	0,011
PCB 118	mg/kg ms		0,003	0.007	<0.001	0,006
PCB 138	mg/kg ms		0,01	0.007	0,005	0,011
PCB 153	mg/kg ms		0,009	0.007	0,005	0,011
PCB 180	mg/kg ms		0,008	0.005	0,004	0,008
PCB (6) (batura)	mg/kg ms		0,04	0.035	0,02	0,16
PCB (7) (batura)	mg/kg ms	0,8	0,043	0.042	0,02	0,15
<b>TPH</b>						
TPH C10-C16	mg/kg ms		<24	<12	<12	93
TPH C16-C22	mg/kg ms		80	17	22	170
TPH C22-C30	mg/kg ms		310	120	150	340
TPH C30-C40	mg/kg ms		360	110	290	360
TPH (batura)	mg/kg ms	50	750	240	460	950
<b>Hidrokarburo Aromatiko Poliziklikoak, HAP</b>						
Naftalenoa	mg/kg ms	100	0.14	0.14	0.16	24
Azenaftilenoa	mg/kg ms			<0.050	<0.050	<0.050
Azenaftenoa	mg/kg ms	100	0.099	0.061	0.40	2.4
Fluorenoa	mg/kg ms	100	0.13	0.063	0.50	2.1
Fenantrenoa	mg/kg ms		0.63	0.41	1.9	13
Antrazenoa	mg/kg ms	700	0.11	0.081	0.45	2.0
Fluorantenoa	mg/kg ms	80	0.86	0.46	2.5	23
Pirenoa	mg/kg ms	100	0.65	0.27	1.4	18
Bentzo(a)antrazenoa	mg/kg ms	20	0.32	0.19	0.82	0.34
Krisenoa	mg/kg ms	100	0.29	0.19	0.74	13

Ezaugarriak		EBA-B erabilera industrialia	Volbas 1	Volbas 2	Gardelegi	BTB
			VF- 1.1	VF-1.2	GF-1.1 + GF-1.2	BF-1.1 + BF-1.2
Bentzo(b)fluorantenoa	mg/kg ms	20	0.33	0.22	0.90	10
Bentzo(k)fluorantenoa	mg/kg ms	100	0.14	0.094	0.41	5.5
Bentzo(a)pirenoa	mg/kg ms	2	0.34	0.19	0.95	13
Dibentzo(ah)antrazenoa	mg/kg ms	3	0.064	0.023	0.10	0.64
Bentzo(ghi)perilenoa	mg/kg ms		0.21	0.14	0.58	6.7
Indeno(123cd)pirenoa	mg/kg ms		0.26	0.17	0.78	9.4
HAP 16 EPA (batura)	mg/kg ms		4.6	2.7	13	140
HAP 10 VROM (batura)	mg/kg ms		3.3	2.1	9.4	110

### Laborategiko emaitzak: DIN 12457-4 saiakuntza

Ezaugarriak		UNE-EN 12457-4 arauaren mugabaliok	BD-1.1 + BD-1.2	GD-1.1 + GD-1.2	VD-1	VD-1
Materia lehorra	% (m/m)		90.7	93.1	91.5	88.2
<b>Lixibiazioa</b>						
Lixibiazio-saiakuntza laburra (L/S 10)	L/g ms		0.0100 <sub>1)</sub>	0.0101 <sub>2)</sub>	0.0100 <sub>3)</sub>	0.00998 <sub>4)</sub>
Antimonio (Sb) lixibiagarria	mg/kg ms	0,06	<0.0040	<0.0040	0.0055	<0.0040
Artseniko (As) lixibiagarria	mg/kg ms	0,5	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
Bario (Ba) lixibiagarria	mg/kg ms	20	0.91	<0.60	<0.60	<0.60
Kadmio (Cd) lixibiagarria	mg/kg ms	0,04	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.00100
Kromo (Cr) lixibiagarria	mg/kg ms	0,5	0.13	0.20	0.22	0.32
Kobalto (Co) lixibiagarria	mg/kg ms		<0.030	<0.030	<0.030	<0.030
Kobre (Cu) lixibiagarria	mg/kg ms	2	0.22	0.13	0.21	0.33
Merkurio (Hg) lixibiagarria	mg/kg ms	0,01	<0.00040	<0.00040	<0.00040	<0.00040
Nikel (Ni) lixibiagarria	mg/kg ms	0,4	<0.050	<0.050	0.052	0.060
Molibdeno (Mo) lixibiagarria	mg/kg ms	0,5	0.17	0.046	0.10	0.11
Berun (Pb) lixibiagarria	mg/kg ms	0,5	<0.10	<0.10	<0.10	<0.100
Selenio (Se) lixibiagarria	mg/kg ms	0,1	0.0071	<0.0071	<0.0070	<0.0070
Eztainu (Sn) lixibiagarria	mg/kg ms		<0.030	<0.030	<0.030	<0.030
Banadio (V) lixibiagarria	mg/kg ms		<0.20	0.24	<0.20	0.59
Zink (Zn) lixibiagarria	mg/kg ms	4	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Bromuro lixibiagarria	mg/kg ms		<0.80	<0.80	<0.80	<0.80
Kloruro lixibiagarria	mg/kg ms	800	190	54	77	120
Fluoruro lixibiagarria	mg/kg ms	10	2.9	3.5	3.7	2.6
COD (Carbono Organiko Disolbatua)	mg/kg ms	500	84	45	48	98
Sulfato lixibiagarria	mg/kg ms	1000	2800	4300	1100	16000
Zianuroa, guztira	mg/kg ms		<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Cianuro fácil de lib.	mg/kg ms		<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Erraz askatzeko zianuroa	mg/kg ms	1	9.6	0.019	0.038	<0.010
<b>1. frakzioa</b>						
Eroankortasun elektrikoa 25 °C	µS/cm		1400	1200	1300	2500
Eroankortasun elektrikoa 25 °C	mS/m		140	120	130	250
Eroankortasun elektrikoa 20°C	µS/cm		1300	1100	1200	2200
Eroankortasun elektrikoa 20°C	mS/m		130	110	120	220
Neurketa-tenperatura (pH)	°C		20.2	20.1	20.0	20.1
Azidotasuna (pH)			11.6	11.2	11.7	10.7

Balio batek ere ez du gainditzen industria-erabilerarako ezarritako EBA-B balioa.

## 12457-4 testeko balioen eta 49/2009 dekretuaren arteko alderaketa

UNE-EN 12457-4:2003 arauak finkatutako testak ezartzen duenez, perkolazio bidezko lixibiazio-saiakuntza egin behar da 10 l/kg-ko likido/solido proportzioan. Hondakindegietan edo betelaren bidez hondakinak ezabatzeari buruzko otsailaren 24ko EAEko 49/2009 Dekretuari dagokionez, saiakuntza hori erabiltzen da hondakindegia bakoitzean hondakinak onartzeko lixibiazio-mugaren balioa zehazteko. Guri dagokigunez, EEHetatik datozen agregakin birziklatuak lurrarekin kontaktuan erabili ahal izateko, hondakin geldoentzako hondakindegia batera botatzeko ezarritako muga-balioen azpitik egon behar dute agregakin horien balioek.

Taula honetan dituzue arlo horretako emaitzak. Eskakizun hori garbi betetzen da, sulfatoen kasuan izan ezik. Izan ere, aurrez ezarritako balioak gainditu egiten dituzte, gehienetan, sulfatoek.

### Ondorioak

EAEko tratamendu-instalazioetatik datozen agregakin birziklatu pikortsuetako materialen zutabeko lixibiazio-azterketak ez du parametro kritikorik erakusten aplikazio isolatueterako, betiere hasierako materialaren sulfato-edukia kontrolatzen bada (ehun urtean EBA-B balioaren % 1a ez gainditzearen irizpideari jarraituz).

Aitzitik, material horiek aplikazio ez-isolatueta erabiltzea baztertu egiten da, hala nola baso-bideetan zuzenean erabiltzea.

PREAR proiektuan, proiekturako proba pilotu gisa sortutako probagune batean, errepide-oinarri bat eraiki da EEHetatik jasotako materiala erabiliz. Material hori atmosferarekin zuzeneko kontaktuan dago, hots, inolako isolamendurik gabe.

Saiakuntza horren bidez, % 5eko infiltrazio-maila errealak hauteman dira, hots, AMATEUR-VAURCOS proiektuan aipatutako iragazkortasun baxuko egoerei dagozkien infiltrazio-mailak (% 15) baino askoz txikiagoak. Infiltrazio-maila horien arrazoiak hauek dira: alde batetik, errepidea egiteko erabilitako agregakinei eragiten zaien trinkotzea, eta, bestetik, agregakinean bertan izan daitezkeen erreakzioak, hondakinaren efektu aglomeratzailea eragin dezaketenak. Aipatzekoa da zenbait azterlanek diotena: trinkotze-maila jakin batzuetan, zenbait hondakinen lixibiazioa perkolazio-prozesuek ez ezik difusio-prozesuek eragiten dutela batik bat.

### 4.3.3.2 Egituretarako ez den hormigoian agregakin birziklatu mistoa erabiltzeko gomendioak

Lixibiazio-saiakuntzek bermatu egiten dute, ingurumenaren aldetik, agregakin birziklatu mistoak lurzorurekin kontaktuan dauden aplikazioetarako hormigoiak egiteko erabiltzea.

## 5. Eranskinak

### 5.1. Termino-glosarioa

#### Eraikuntza- eta eraispen-hondakinak (EEH)

*Eraikuntza- eta eraispen-hondakinak* ezaugarri geldoko hondakinak dira batik bat, eta jatorri hauek izaten dituzte: indusketa-lanak, eraikuntza-lan berriak, konponketa-, berriztatze-, birgaitze- eta eraispen-lanak, obra txikiak eta etxebizitzetako konponketa-lanak barne.

#### Agregakin birziklatua

*Agregakin birziklatu* deitzen zaio eraikuntza- eta eraispen-hondakinak prozesatuta lortutako agregakinari. Jatorrizko obra-hondakinen ezaugarrien arabera agregakinen sailkapen hau egin daiteke:

- *Hormigoizko agregakin birziklatua*, izenak berak dioenez, hormigoi-hondakinak prozesatuta egiten den agregakina da. Hormigoi-agregakina eta hari itsatsitako morteroa izaten ditu osagai nagusiak.
- *Agregakin birziklatu zeramiko* deitzen zaio hondakin zeramikoak —hala nola adreiluak, teilak, lauzak, etab.— prozesatuta egiten den agregakinari.
- *Agregakin birziklatu mistoa*: hormigoi-hondakinak eta hondakin zeramikoak nahastuta egiten den agregakin birziklatua.

#### Hormigoi birziklatua

*Hormigoi birziklatu* deitzen zaio partzialki edo osorik agregakin birziklatua erabiliz fabrikatutako hormigoiari.

#### Egiturarako ez den hormigoia

*Ez-egiturazko hormigoi* deitzen zaio eraikuntzan egitura-funtziorik betetzen ez duen elementuari, baina erabilera jakin batek eskatzen duen geometria edo forma emateko(9) egiturazko hormigoiaren ezaugarri iraunkorrak hobetzeko erabiltzen denari edo material erresistente batek behar duen bolumena emateko erabiltzen denari.

#### Harlauza-indizea

UNE-EN 933-3 arauaren arabera “harlauzatzat” definitutako agregakinen pisu-ehunekoa. Partikularen hiru dimentsioetako bat gainerako biak baino askoz txikiagoa duenari deitzen zaio “harlauza”.

#### CBR indizea

CBR indizeak (California Bearing Ratio): betelan trinkoetarako erabili behar diren lurzoruen euste-ahalmenaren balioztapena ematen digun saiakuntza. Ez da lurrazko berezko balioa, eta saiakuntza-baldintzen arabera da. Laborategian baldintza jakin batzuetan trinkotutako laginei edo landan hartutako lagin aldagabeei aplikatu dakieke.

#### Proctor aldatua

Proctor saiakuntza konpaktazio-saiakuntza bat da. Lurzoru jakin baten dentsitate lehorraren eta hezetetasunaren arteko erlazioa finkatzen du trinkotze-energia jakin baterako, eta, era berean, lur horrekin laborategian lor daitekeen dentsitate lehor maximoa eta dagokion hezetetasuna (hezetasun optimoa deritzona) zehazten ditu.

#### Los Angeles koefizientea

Los Angeles higadura-koefizientea: agregakin baten jatorrizko masaren eta, bestetik, masa horri higadura-karga bat eragin eta 1,6 UNE neurriko bahetik pasatzen den materiala baztertu ondoren gelditzen den masaren arteko masa-diferentzia, jatorrizko masaren ehunekotan adierazita. UNE-EN 1097-2:1999/A1:2007.



## Xurgapen-koefizientea

Agregakin baten xurgapen-koefiziente deitzen zaio agregakinak xurga dezakeen ur-kantitate maximoari, agregakin lehorraren pisuaren ehunekotan neurtuta. UNE-EN 1097-6:2001/A1:2006

## Dentsitatea

Gorputz baten masaren eta bolumenaren arteko erlazioa. Dentsitate-mota hauek bereizten dira (*UNE-EN 1097-6:2001/A1:2006*):

- *Labean lehortu ondoko partikularen dentsitatea*: labean lehortutako agregakin-laginaren masaren eta uretan hartutako bolumenaren (barne-zulo iragazgaitzak eta ura iritsi litekeen zuloak barne) arteko erlazioa (itxurazko dentsitatea).
- *Partikulen itxurazko dentsitatea*: labean lehortutako agregakin-laginaren masaren eta uretan hartutako bolumenaren (barne-zulo iragazgaitzak barne, baina ura iritsi litekeen zuloak baztertuta) arteko erlazioa (egiazko dentsitatea).
- *Lehortutako gainazaleko agregakin asean partikula-dentsitatea*: agregakin-lagin baten eta haren zulo irisgarrietan metatutako uraren masa elkartuaren eta, bestetik, laginak uretan hartutako bolumenaren (barne-zulo iragazgaitzak eta ura iritsi litekeen zuloak barne) arteko erlazioa (gainazal lehorreko lagin asearen egiazko dentsitatea).

## Partikula arinak

2.0tik beherako egiazko dentsitatea duten partikulak, hala nola lignittoa edo ikatza, hormigoia gainazalean orbanak edo anpuluak eragin ditzaketenak. *UNE-EN 1744-1:99*.

## Loditasuna

Loditasuna: hormigoi freskoak deformazioen aurka egiten duen indarra.

## Konpresio-erresistentzia

Material batek apurtu gabe jasan dezakeen konpresio-esfortzu maximoa. *UNE-EN 12390-3:2009*.

## Uzkurtzea

*Hormigoia bolumen-murrizketa, ura galtzean. UNE 83.318:94.*

## Elastikotasun-modulua

Tentsioaren eta dagokion deformazio unitarioaren arteko erlazioa, materiala elastikotasun-mugaren azpiko esfortzupean jarrita dagoela. *UNE 83.316:96*.

## Fluentzia

Hormigoia deformazio plastikoa, hura tentsio finko eta jarraitupean jarrita dagoela.

## Porositatea

Material baten zulo-bolumenaren eta bolumen osoaren (zuloak barne) arteko ehunekoa.

## 5.2. Saiakuntzetan aplikatzeko arauak

- **UNE-EN 1097-2:1999/A1:2007.** “Agregakinen propietate mekanikoak eta fisikoak zehazteko saiakuntzak. 2. zatia: Zatikatzearerikiko erresistentzia zehazteko metodoak”.
- **UNE-EN 1097-6:2001/A1:2006.** “Agregakinen propietate mekanikoak eta fisikoak zehazteko saiakuntzak”. 6. zatia: Partikulen dentsitatearen eta ur-xurgapenaren zehazpena”.
- **UNE-EN 1744-1:99.** “Agregakinen propietate kimikoak zehazteko saiakuntzak: 1. zatia: Analisi kimikoa”.
- **UNE-EN 933-1:1998.** “Agregakinen propietate geometrikoak zehazteko saiakuntzak. 1. zatia: Partikulen granulometriaren zehazpena. Bahetze-metodoak”.
- **UNE-EN 933-2/1M:1999.** “Agregakinen propietate geometrikoak zehazteko saiakuntzak. 2. zatia: Partikulen granulometriaren zehazpena. Saiakuntza-baheak, irekiduren neurri izendatua”.
- **UNE-EN 933-3/A1:2004.** “Agregakinen propietate geometrikoak zehazteko saiakuntzak. 3. zatia: Partikulen formaren zehazpena. Harlauza-indizea”.
- **UNE-EN 933-11:2009.** “Agregakinen propietate geometrikoak zehazteko saiakuntzak. 11. zatia: Agregakin birziklatu lodien osagaien sailkapen-saiakuntza”.
- **UNE-EN 1367-2:2010.** “Agregakinen propietate termikoak eta agregakinen eraldaketa zehazteko saiakuntza. 2. zatia: Magnesio-sulfatoaren saiakuntza”.
- **UNE-EN 12620:2003+A1:2009.** “Hormigoitarako agregakinak”.
- **UNE-EN 12390-3:2009.** “Hormigoi gogortuaren saiakuntzak. 3. zatia: Probeten konpresioarekiko erresistentziaren zehazpena”.
- **UNE-EN 12390-5:2009.** “Hormigoi gogortuaren saiakuntzak. 5. zatia: Probeten flexioarekiko erresistentzia”.
- **UNE-EN 12390-6:2001.** “Hormigoi gogortuaren saiakuntzak. 6. zatia: Probeten zeharkako trakzioarekiko erresistentzia”.
- **UNE-EN 12390-7:2009.** “Hormigoi gogortuaren saiakuntzak. 7. zatia. Hormigoi gogortuaren dentsitatea”.
- **UNE-EN 12390-8:2009.** “Hormigoi gogortuaren saiakuntzak. 8. zatia: Presiopeko uraren sarpensakonera”.
- **UNE 83.316:96.** “Konpresio-elasticotasunaren moduluaren zehazpena”.
- **UNE 83.318:94.** “Hormigoi-saiakuntzak. Luzera-aldaketen zehazpena”.
- **UNE EN 932-1.** “Agregakinen propietate orokorrak zehazteko saiakuntzak. 1. zatia: Laginketa-metodoak”.
- **UNE EN 12457-4.** “Hondakinen karakterizazioa. Lixibiazioa. Pikor-hondakinen eta lohien lixibiaziorako onspen-saiakuntza”.

## 6. Bibliografia

1. Europako Parlamentuaren eta Kontseiluaren 2008ko azaroaren 19ko 2008/98/EE Direktiba, hondakinei buruzkoa.
2. HONDAKINEN PLAN NAZIONAL INTEGRATUA (PNIR) 2007 - 2015.
3. INGURUMENARI BURUZKO EAEKO II. ESPARRU-PROGRAMA, 2007-2010.
4. EHE-08 araua.
5. I. Vegas, J.A. Ibañez, J.T. San Jose, A. Urzelai, 2008, "Construction demolition wastes, Waelz slag and MSWI bottom ash: A comparative technical analysis as material for road construction", *Waste Management* 28, 565-574 or.
6. Thom, N. H. eta Brown, S. F., 1989, "The mechanical properties of unbound aggregates from various sources" In: Proc. International Symposium of Unbound Aggregates in Roads (UNBAR3), held at University of Nottingham, U.K., 1989, Jones, R. H. and Dawson, A. R. (argit.), 130-142 or. Butterworths, Londres.
7. Poon, C.S., Chan, D., 2006, "Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base", *Construction and Building Materials* 20, 578-585 or.
8. M. Frías, M.I. Sánchez de Rojas, O. Rodríguez, R. García, R. Vigil, 2008, "Characterization of calcined paper sludge as an environmentally friendly source of metakaolin for manufacture of cementitious materials", *Adv. Cement Res.* 20, 23-30 or.
9. Hatch, J.R., J. S. Leventhal, 1997, "Early diagenetic partial oxidation of organic matter and sulfides in the Middle Pennsylvanian (Desmoinesian) Excello Shale member of the Fort Scott Limestone and equivalents, northern Midcontinent region, USA", *Chemical Geology*, 134 lib., 4. zk., 215-235 or..
10. Perkins, R.B., Palmer, C.D., 1999, "Solubility of ettringite at 5-75°C", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63 lib., 13/14 zk., 1969-1980 or.
11. Chrysochouuu, M., Dermatas, D., 2006, "Evaluation of ettringite and hydrocalumite formation for heavy metal immobilization: literature review and experimental study", *Journal of hazardous materials* 136, 20-33 or.
12. RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures): "Specifications for Concrete with Recycled Aggregates". *Materials and Structures*, 27 zk., 557-559 or., 1994.
13. VINCKE, J.; ROUSSEAU, E.: "Recycling of Construction and Demolition Waste in Belgium: Actual Situation and Future Evolution". *Demolition and Reuse of Concrete and Masonry*.
14. "Recycled Aggregates: BRE Digest 433".
15. DIN 4226-1:2000: "Concrete Aggregate".
16. BS 8500-2:2002: "Concrete-Complementary British Standard to BS EN 206-1. Part2: Specification for Constituent Materials and Concrete".
17. "Recycled Aggregate Standardization in Brazil". Universidade Estadual Paulista, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, Universidade de Taubaté.
18. Chen, H.J. Yen, T. Chen. KH. Use of buildings rubbles as recycled aggregates. *Cement and Concrete Research*. 33 (2003) 125-132 or.
19. Debieb F, Kenai S, The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete, *Construction and Building Materials* (2007), doi:10.1016/j.conbuildmat.2006.12.013.
20. Kibriya, Speare - 1996 - Crushed bricks as coarse aggregate for concrete. *Construction and building materials*.
21. Brito J., Pereira A.S., Correia J.R. - 2005 - Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates - *Cement and concrete composites* 27(05) 429-433 or.
22. Poon, C.S., Chan, D. 2004 "Paving blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick", Department of Civil and Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University. .
23. Poon, C.S., S.C. Kou, L. Lam. 2002. "Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks", Department of Civil and Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University.
24. Pakvor, M.; Muravl'jov, M.; Kovacevic, T. "Exploration of concrete and structural concrete elements made of reused masonry", Ref.11, p. 391-404.
25. Mansur, m.a.; Wee, t.h.; Lee, s.c. "Crushed Bricks as Coarse Aggregate for Concrete", 8 erref., 505-514 or.
26. Rilem Report 6 "Recycling of Demolished Concrete and Masonry" Edited by T.C Hansen.
27. Cirelli Angulo "Variabilidade de agregados graúdos de residuos de construção e demolição reciclados". São Paulo 2000.



Ihobe, Ingurumen Jarduketarako Sozietate Publikoa  
Urkixo zumarkalea, 36, 6. solairua  
48011 Bilbo  
Tel.: 900 15 08 64  
[www.ihobe.net](http://www.ihobe.net)

