



IKER  
GAZTE  
NAZIOARTEKO  
IKERKETA EUSKARAZ

# I. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2015eko maiatzaren 13, 14 eta 15  
Durango, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:  
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

## INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Geruzatzerik gabeko berun-azido  
bateriak**

*L. Oca, J. M. Campillo-Robles,  
M. M. Bou-Ali eta B. Ballesteros*

537-544 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.i.74>

ANTOLATZAILEA:



BABESLEAK:



eman ta zabal zazu



LAGUNTZAILEAK:



UDALBILTZA



## Geruzatzerik gabeko berun-azido bateriak

Oca L.<sup>1,a</sup>, Campillo-Robles J. M.<sup>1,b</sup>, Bou-Ali M. M.<sup>1,c</sup>, Ballesteros B.<sup>2,d</sup>

<sup>1</sup>Mekanika eta Ekoizpen Industrialeko Saila, Mondragon Goi Eskola Politeknikoa,

Mondragon Unibertsitatea, 20500 Arrasate, Euskadi, <sup>2</sup>Energy Revival S. L., 20570 Bergara.

<sup>a</sup>laura.oca@alumni.mondragon.edu, <sup>b</sup>jmcampillo@mondragon.edu, <sup>c</sup>mbouali@mondragon.edu,

<sup>d</sup>bballesteros@rebattery.eu

### Laburpena

Zahartze-prozesuek mugatzen dute berun-azido baterien bizitza erabilgarria. Elektrolito likidoko baterietan elektrolitoaren geruzatzea horietariko bat da. Ikerketa-proiektu honetan geruzatzearen azterketa egiten ari gara, berau desaktibatzeke helburuarekin. Hori lortuz gero, bateriaren eraginkortasuna handituko litzateke, bere bizitza erabilgarria luzatuko litzateke eta gainera, ingurunearen gaineko eragina txikituko genuke. Bateriaren elektrolitoa ezaugarritu, saiakuntza-bankua diseinatu eta hasierako simulazioak burutu ditugu. Eta orain, egiaztatze esperimentalala egitera goaz.

Hitz-gakoak: berun-azido bateria, elektrolitoa, geruzatzea, simulazioa, saiakuntza-bankua.

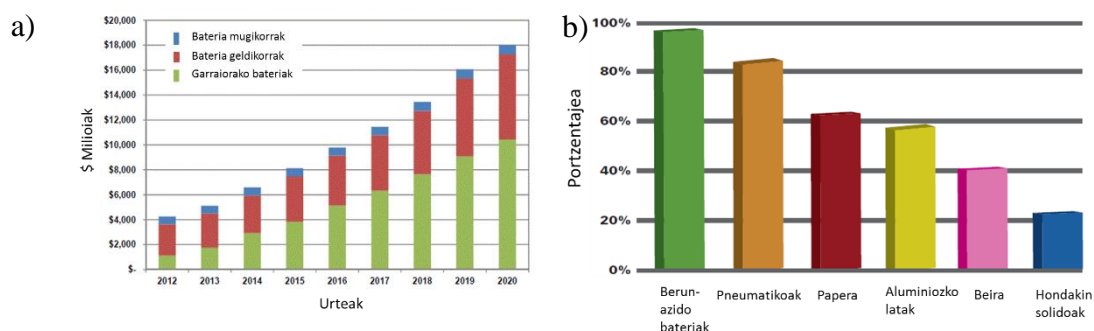
### Abstract

The aging processes limit useful life of lead-acid batteries. The stratification in flooded lead-acid batteries is one of them. In this research project, an analysis of stratification is being carried out, in order to deactivate it. If that objective is achieved, the efficiency of the battery will be increased, the useful life of batteries will be prolonged and, moreover, the impact on the environment will be reduced. We have characterized the electrolyte of the battery, we have designed a test bench and initial simulations have been performed. From now on, we will continue working on experimental verification.

Keywords: lead-acid battery, electrolyte, stratification, simulation, test bench.

## 1. Sarrera eta motibazioa

1859an, Gaston Planték (1834-1889), fisikari frantsesak, lehenengo bateria kargagarria garatu zuen, berun-azido bateria (Plante, 1860). Bateria honek mende eta erdi bat baino gehiago iraun du aldaketa esanguratsurik gabe. Gaur egun, berun-azido bateria aplikazio askotan erabiltzen da oraindik ere: autoen abiatze-sistemetan, telekomunikazioetan, trakzio-sistemetan, etenik gabeko elikaduretan (ingelesez *UPS*), ibilgailu elektrikoetan eta abar (Pavlov, 2011). Izan ere, berun-azido teknologia oso fidagarria, merkea eta eraikitzeke erreza da. Honetaz gain, bateria mota hau iraupen luzekoa da, ez dauka mantentze-lan handirik, korrante handiak eman ditzake, ez dauka memoria-efekturik, autodeskarga oso txikia dauka, eta abar. Hori dela eta, berun-azido baterien merkatuak zabaltzen jarraituko du (ikus 1. Irudia a)).



**1. Irudia.** a) Berun-azido baterien merkatu-aurreikuspenak 2012-2020ko eperako (Pike Research, 2012). b) Estatu Batuetako birziklatze-portzentajeak 2009-2011-ko epean (SmithBucklin Statistics Group, 2011).

Berun-azido bateriak alderdi negatibo batzuk ere baditu. Adibidez, bateria hau ezin da gorde deskargaturik, hondatzen delako. Gainera, bere osagaien artean beruna dago, material kutsakorra. Dena dela, bateria hauen bizitza-zikloa itxia da, haren birziklatze-prozesua eraginkorra baita

kontsumo-produktuen artean (ikus 1. Irudia b)). Adibidez, 2009-2013-ko epean AEBtan erabilitako baterien berunaren % 99 birziklatu da (SmithBucklin Statistics Group, 2014). Hala ere, momentu honetan bere arazorik garrantzitsuena beste bat da. Energia-dentsitate txikia dauka beste teknologia batzuekin alderatuta. Hau da, bateria pisutsua da, eta horregatik, gehienbat aplikazio geldikorretan erabiltzen da.

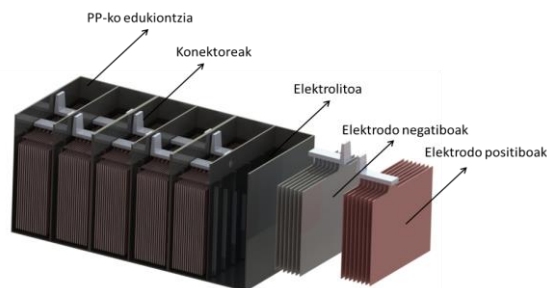
Berun-azido teknologiaren arazoak konpontzeko baliabide asko bideratzen dira mundu osoan zehar. Ikerketa eta garapen-programa hauen helburu nagusia berun-azido bateriaren merkatu-kuota handitzea da. Gaur egun, berun-azido teknologiak honako aplikazio-eremuak ditu begiz jota: ibilgailu elektriko hibridoak (ingelesez *HEV*), urrutiko lekuentzako elikatze-iturrien sistemak, energia berriztagarrien eta sare-metaketarako sistemak, *start-stop* automozio-sistemak eta aplikazio geldikorretarako eta telekomunikaziorako *back up* sistemak. Berun-azido bateria aplikazio-eremu berri hauetan hedatzeko, bi arlo nagusitan ikertzen ari da. Alde batetik, aplikazio batzuetan bateriaren eraginkortasuna mugatzen duten faktoreak ulertu eta murriztu behar dira. Eta bestetik, bateriaren errendimendua optimizatzeko konponbide teknologikoak sortu behar dira.

Momentu honetan, Euskal Herrian ez dago berun-azido bateriaren garapenaren inguruan interes berezirik. Metaketa-teknologietan egiten den ikerketa- eta garapen-lan gehiena beste kimikak aztertzerantz bideratzen ari da. Hori dela eta, interesgarria deritzogu berun-azido teknologian ezagutza sakontzea, produktu edota zerbitzu berriak garatzeko helburuarekin.

## 2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

### 2.1. Gaur egungo egoera

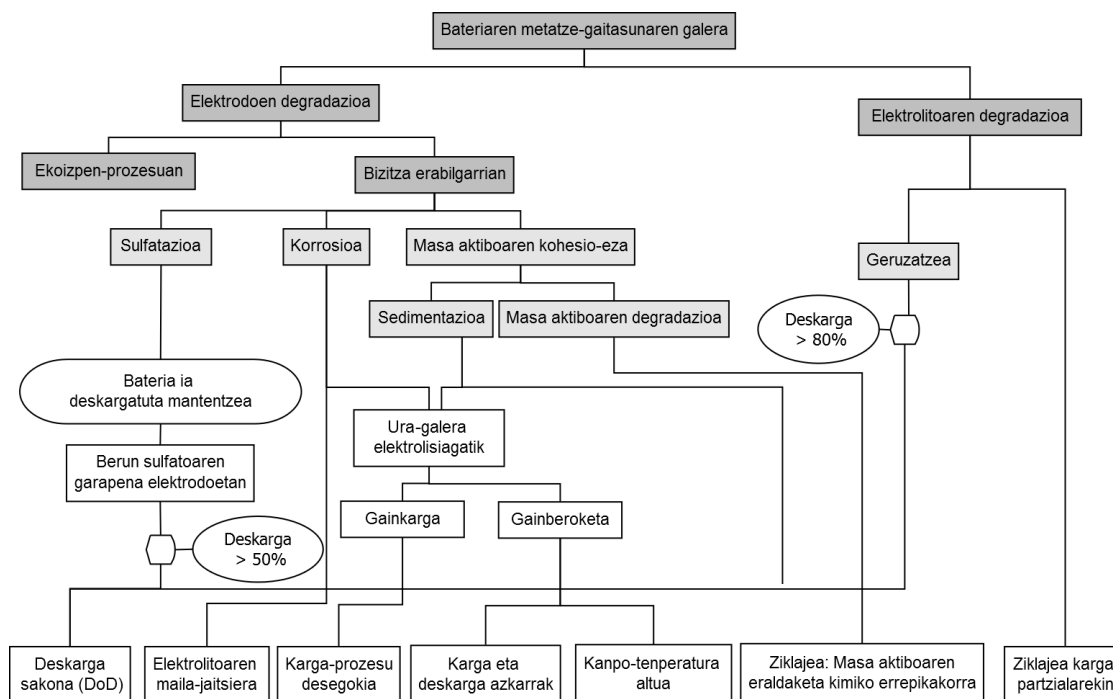
Elektrolito likidoko berun-azido bateria metagailu oso sinplea da. Ohiko bateriaren elektrodoak xafla errektangeluarrak dira (ikus 2. Irudia). Elektrodo negatiboa berunezkoa da, eta positiboa, berriz, berun-oxidokoa. Elektrodo hauek polipropilenezko karkasa baten barruan daude, elektrolitoan murgilduta. Elektrolitoa, ura eta azido sulfurikoaren arteko disoluzio bat da, eta baterietan bere ohiko kontzentrazioa wt% 10-40 tartean dago. Elektrolitoak bi elektrodoen arteko korrante elektrikoa garraiatzen du. Azkenik, elektrodoen artean plastiko porotsuaz egindako mintz-banantzaile bat jartzen da, ioiak bertatik igaro ahal izateko eta aldi berean zirkuitulaburrak galarazteko.



**2. Irudia.** Elektrolito likidoko berun-azido bateriaren osagai garrantzitsuenak.

Berun-azido baterien zahartze-prozesuak aspalditik ezagunak dira (Ruetschi, 2004). Zahartze-prozesuek bateriaren eraginkortasun-galeran eragiten dute, eta gainera, bateriaren bizitza erabilgarria murrizten dute. Zahartze-prozesu garrantzitsuenak honako hauek dira (ikus 3. Irudia): elektrodoen korrosioa, materia aktiboan berun sulfatoaren eraketa itzulgaitza (sulfatazioa), masa aktibo positiboaren degradazioa (sedimentazioa), itsaspen-galera saretan, zirkuitulaburrak eta ur-galera (lurrunketa).

Jakina denez, bateriaren zahartze-prozesu hauek elkarri lotuta daude. Adibidez, baterian karga eta deskarga azkarrak eraginez gero, ur-galera gertatzen da sortutako gainberoketaren ondorioz. Honek elektrolitoaren maila-jaitsiera eragiten du, eta elektrodoek korrosioa jasaten dute. Gainera, karga eta deskarga azkarren eraginez elektrolitoak ez du homogenezatzeko denborarik izaten, eta baterian geruzatzea gertatzen da.



**3. Irudia.** Gris argian berun-azido bateriaren zahartze-prozesuak, gris ilunean beraien kokapena eta zurian beraien sorburua (Brik eta ben Amar, 2013).

Orainaldi honetan, geruzatzea sakonki aztertzen ari da, bere eragin kaltegarriak gutxitzeko asmoz. Bateriak ziklatzean edo denbora luzez biltegitratzean, ura baino pisutsuak diren ioiak gelaxkaren beheko alderantz joaten dira, elektrolitoaren geruzatzea eratzuz. Geruzatzea oso kaltegarria da, gelaxkan korrante-banaketa ez-uniformea sortzen duelako, eta gainera, elektrodoen materia aktiboaren erabilera partziala eragiten duelako. Deskarga-egoeran agertzen diren azido-kontzentrazio baxuak elektrodoaren saretarentzako kaltegarriak dira. Bestalde, azidoaren kontzentrazio altuek bateriaren bizitza erabilgarria murrizten dute, autodeskarga eta sulfatazioaren ondorioz (Ebner et. al., 2013).

Berun-azido baterien geruzatzea txikitzeko bi garapen garrantzitsu gertatu dira. XX. mendeko 50. hamarkadan. Alde batetik, gelezko bateriak garatu zituzten elektrolito likidoa silize hautsarekin nahastuz. Horrela, gelifikatutako elektrolitoa lortu zuten. Bestetik, 70. hamarkadan, beira-zuntzeko banatzailedun bateriak garatu ziren erabilera militararako. Bateria hauetan elektrolitoa beira-zuntzean xurgaturik dago (ingelesez *Absorbed Glass Mat*, *AGM*). Bi motatako bateria hauek geldiarazitako elektrolitokoak dira, eta beraietan balbula bat erabiltzen da erreakzio kimikoetan sortutako gasak erregulatzeko (ingelesez *Valve-Regulated Lead-Acid*, *VRLA*). *VRLA*ko baterietan geruzatzea txikiagoa da, eta gainera, mantentze-lan gutxiago daukate (ura ez da gehitu behar) eta tenperatura-aldaketen eta bibrazioen aurrean jokamolde hobea erakusten dute. Hori bai, *VRLA*ko bateriak garestiagoak dira.

Schulte-k eta bestek geruzatzea kuantifikatzeko geruzatze-indizea (ingelesez *Stratifiability Index*, *SI*) definitu dute (Schulte et. al., 2014):

$$SI = 100 \frac{(\rho_{behean} - \rho_{goian})}{0,84} \quad (1).$$

non  $\rho_{behean}$  eta  $\rho_{goian}$  bateriaren beheko eta goiko aldeetako dentsitateak diren,  $g\ cm^{-3}$ -tan adierazita; eta 0,84 azido sulfurikoa eta uraren dentsitateen arteko diferentzia  $g\ cm^{-3}$ -tan. (1) ekuazioko indizea oso erabilgarria da geruzatzea analizatzeko, eta normalean % 0 eta % 35 balioen artean dago.

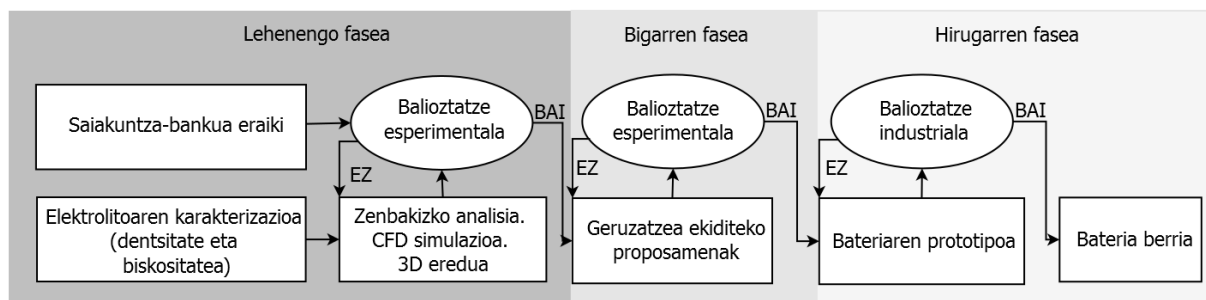
## 2.2. Ikerketaren helburuak

Ikerketa-proiektu honetan elektrolito likidoko berun-azido baterien geruzatzearen fenomenoak aztertzen ari gara. Ikerketaren helburu nagusia elektrolitoaren geruzatzea partzialki edo erabat desagerraraztea da. Horretarako, elektrolitoan gertatzen diren efektu termograbitazionalen

gainean eragiteko asmoa daukagu. Geruzatzea txikitzea edo desagertzea lortuz gero, hiru onura garrantzitsuak erdietsiko ditugu: bateriaren eraginkortasuna handituko da, bizitza erabilgarria luzatuko da eta ingurunearen gaineko eragina txikituko da. Honek bidea zabalduko digu gaur egun merkatuan dauden berun-azido bateriak hobetzeko, eta agian bateria berri bat patentatzeko. Bide batez, berun-azido teknologian lortutako ezagutzari esker, Energy Revival S. L. enpresak garatu zuen desulfatazio elektronikoa hobetzen saiatuko gara.

### 3. Ikerketaren muina

Ikerketa-lan honen abiapuntua elektrolitoaren ezaugarritzea izan da. Lehendabizi, elektrolitoaren dentsitatea eta biskositatea neurtu ditugu. Ondoren, balioztatze esperimentalak gauzatzeko saiakuntza-bankua prestatu dugu. Bateria komertzialak erabili ditugu saiakuntzetan. Esperimentuetan bateria komertzialak aztertzeaz gain, horien elektrodoekin sortutako gelaxka elektrolitikoak ere analizatu ditugu. Aldi berean, eredu teoriko garatzen hasi gara, bateriaren gelaxka simulatzeko oinarria baita. Eredu teorikoa esperimentalki balioztatu ondoren, simulazioaren bitartez geruzatzea desaktibatzen duten proposamenak aztertuko ditugu. Alde batetik, bateriaren hiru dimentsioko eredu errealean geometria konbentzionala aldatuko dugu, elektrodoen formak edota posizioak, besteak beste. Bestetik, baterian azaltzen diren tenperatura-eta potentzial-gradienteen gainean ere eragingo dugu, elektrolitoaren difusio- eta konbektzio-ezaugarriak aldatzeko asmoz. Behin hori eginda, balioztatze esperimentalaren bitartez bateria-prototipo bat diseinatuko dugu. Jarraian, bateria-prototipoa eraikiko dugu, eta ingurune industrial batean balioztatuko dugu. Azkenik, lan guzti honen bukaerako emaitza geruzatzerik gabeko bateriaren ezaugarriak zehaztea izango da.



#### 4. Irudia. Ikerketa-proiektuaren fluxu-diagrama.

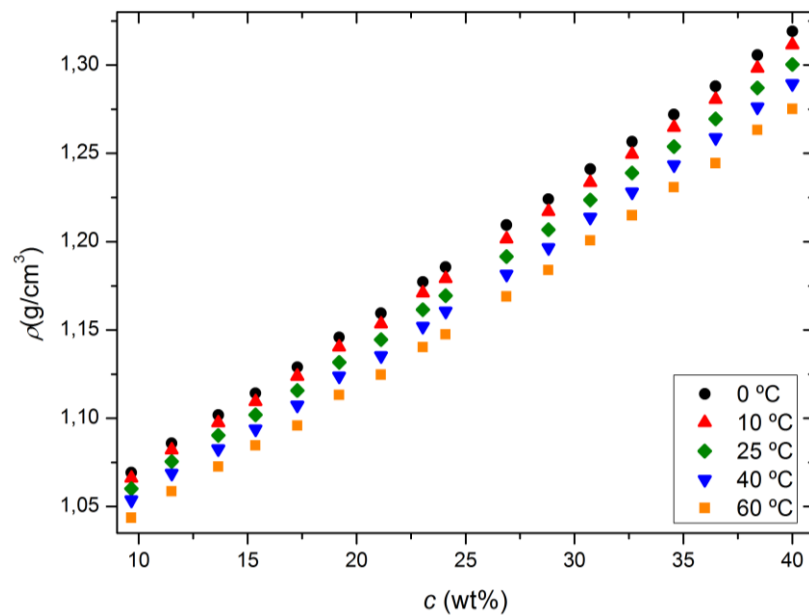
4. Irudian ikus daitekeenez, ikerketa-proiektuaren zereginak hainbat fasetan banatu ditugu. Idazki honetan proiektuaren lehenengo faseko hainbat emaitza bildu dugu. Ikus dezagun lehenengo fase honetan egindakoa.

#### 3.1. Elektrolitoaren ezaugarritzea

Jakina denez, berun-azido bateriaren karga- eta deskarga-prozesuetan elektrolitoaren dentsitatea aldatuz doa. Adibidez, 25 °C-ko tenperaturan dentsitatea bateriaren deskarga-egoerako 1,10 g cm<sup>-3</sup>-ko baliotik karga-egoerako 1,28 g cm<sup>-3</sup>-ra handitzen da. Jokaera honi esker, dentsitatea neurtuz bateriaren karga-egoera zehaztu daiteke tenperatura jakin batean. Hortaz, tenperatura eta kontzentrazioarekin elektrolitoaren dentsitatea nola aldatzen den ezagutzea oso garrantzitsua da.

Elektrolito likidoko baterien ohiko funtzionamenduan elektrolitoaren kontzentrazioa % wt 10-40 tartean egoten da. Hori dela eta, elektrolitoaren dentsitatea 0 °C eta 60 °C-ko tenperaturen artean neurtu dugu kontzentrazio-tarte horretan. Dentsitatearen neurketarako Anton Paar DMA 5000 dentsimetroa erabili dugu (Oca et. al., 2014 a). Dentsimetro honek dentsitatea ± 5 10<sup>-6</sup> g/cm<sup>3</sup>-ko eta tenperatura ± 0,01 °C-ko zehaztasunarekin neurtzen du. Neurtutako dentsitatearen hainbat balio 5. Irudian irudikatu dugu, dentsitatearen jokaera ikusteko.

Bere garrantzi teknologikoa dela eta, azido sulfuriko-ura nahastearen dentsitatea ondo neurtutako parametroa da. Bibliografian hainbat neurketa ageri dira. Hala eta guztiz ere, neurketa guztien artean Domke eta Bein-en balioak dira gehien aipatzen direnak (Domke eta Bein, 1905). Domke eta Bein-en balioak eta beste neurketa batzuetakoak hartu ditugu, eta gure neurketaren balioekin alderatu ditugu. Neurketak bat datozela egiaztatu dugu.



**5. Irudia.** Elektrolitoaren dentsitatea kontzentrazioaren funtzioan hainbat temperaturatan.

Neurtu ditugun dentsitatearen balioekin funtzio bat doitu dugu {c (%wt 10-40); T (0-60 °C)} tarterako. Zeregin honetarako, sei parametro doigarriak dituen funtzio polinomikoa erabili dugu, honako hau alegia:

$$\rho(c,T) = \rho_{00} + \rho_{10}c + \rho_{20}c^2 + \rho_{01}T + \rho_{02}T^2 + \rho_{11}cT \quad (2).$$

Bibliografian egiaztatu ahal izan dugunez, era honetako adierazpen gehiago garatu izan dira azido sulfuriko-ura nahastearen dentsitatea deskribatu ahal izateko (Myhre, 1998). Hala ere, gure adierazpena guztien artean sinpleena da, koefiziente doigarri gutxien dituen adierazpena baita. Esan gabe doa doitutako (2) ekuazioa garrantzitsua dela bateriaren gelaxkan elektrolitoaren jokaera zenbakizko analisiaren bitartez deskribatzeko.

Ondoren, elektrolitoaren beste bi ezaugarri garrantzitsuak zehaztu ditugu dentsitate-neurketetatik abiatuta. Lehendabizi, elektrolitoaren espansio termikoaren koefizientea,  $\alpha$ , kalkulatu dugu presio atmosferiko konstantean. Jarraian, espansio masikoaren koefizientea,  $\beta$ , ere kalkulatu dugu presio atmosferiko konstantean (Oca et. al., 2014 b).

Azkenik, 25 °C-tan elektrolitoaren biskositatea neurtu dugu. Etorkizunean fluido honen ezaugarri elektrikoak eta termikoak zehaztuko ditugu, hauek ere garrantzitsuak baitira elektrolitoaren jokaera modu egokian simulatzeko.

**3.2. Bateriaren zenbakizko analisia**

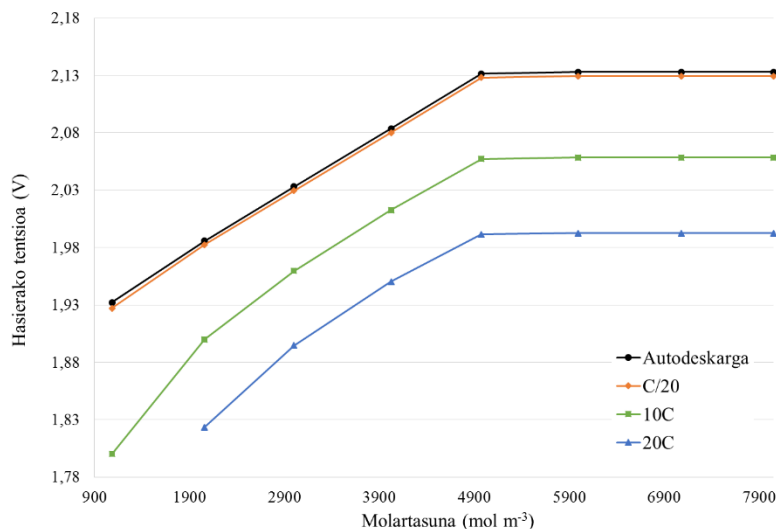
Azken urteotan, software multifisikoen garapenak asko erraztu du sistema konplexuetan simulazioak burutzea. Gainera, ordenagailuen kalkulu-potentziaren etengabeko handitzeak ere gero eta konplexuagoak diren simulazioak egiteko bidea erraztu du. Horren guztiaren ondorioz, baterietan gertatzen diren fenomenoak simulazioen bidez azaltzeko ahaleginak ugartu dira. Zoritxarrez, orain arteko ereduak baterien jokaera nahiko ondo deskribatzen badute ere, hainbat gabezi erakusten dute arlo konkretu batzuetan. Adibidez, zahartze-prozesuak simulazioetan deskribatzea oso zaila da. Prozesu hauek erabat erlazionatuta daudenez, ez daude ereduaren parametro bakar bati lotuak. Beraz, sinplifikazioak derrigorrez egin behar dira. Bateriaren zahartze-prozesuen eta ereduaren parametroen arteko lotura hobeto deskribatuz, zahartze-prozesuen inplikazioaren diagnostikoa eta hauek eraginkortasunean duten eragina hobeto ulertuko dugu.

2009an Cugnet-ek eta bestek argitaratutako artikulua erreferentziatzeko lana da berun-azido baterien simulazioetan (Cugnet et. al., 2009). Dimensio bakarreko eredu izanik ere, nahiko ondo deskribatzen du bateriaren jokaera, eta horrela ageri da esperimenduekin egindako alderaketan.

Hori bai, eredu honek hainbat gabezia du; autoen abiatze-sistemetak baterietan agertzen diren zahartze-prozesu garrantzitsuenak bakarrik kontuan hartzen ditu: sulfatazioa eta korrosioa. Eredua sinplifikatzeko, sulfatazioaren fenomeno bi elektrodoetan berdina dela eta hasierako kontzentrazioa berdin mantentzen dela suposatu du. Gainera, dimentsio bakarreko eredu izanda ezinezkoa da geruzatzea aztertzea. Ikerketa honetan, Cugnet-ek eta bestek sortutako eredu honetan oinarritu gara gure eredu abiatzeko. Horrela, berun-azido bateriaren gelaxka bat deskribatzen duen dimentsio bakarreko eredu bat prestatu dugu. Hortik abiatuta, bi eta hiru dimentsiotako ereduak prestatzen ari gara momentu honetan. Eredu berrian gelaxka elektrolitikoan ageri diren fenomeno fisiko-kimiko garrantzitsuenak kontutan hartu nahi ditugu: difusioa, konbekzioa eta abar. Garatutako eredu teoriko berriaren emaitzak saiakuntza-bankuarekin egiaztatuko ditugu etorkizunean.

Orain arte garatutako dimentsio bakarreko ereduaren, bateriaren karga-deskarga prozesuen hainbat alderdi aztertu dugu: banatzailearen kokapen egokiena gelaxkan, elektrolitoaren hasierako kontzentrazioaren eragina, elektrodoen, elektrolitoaren eta banatzailearen dimentsioen optimizazioa, karga- eta deskarga-abiadura ezberdinen analisia, eta abar. Adibidez, 6. Irudian deskarga-prozesuaren hasierako tentsioa irudikatu dugu elektrolitoaren hasierako kontzentrazioaren funtzioan. Alde batetik, deskarga-abiadura handitzen badugu, hasierako tentsioa txikitzen da. Beste aldetik, elektrolitoaren kontzentrazioa handitzean, hasierako tentsioa handitzen da % 40ko kontzentrazioaraino, eta hortik aurrera, konstante mantentzen da. Azken hau deskarga-abiadura guztietan gertatzen da (ikus 6. Irudia). Gainera, dimentsio bakarreko ereduaren deskarga-analisietatik beste ondorio hauek ere lortu ditugu. Deskargetan, sulfatazioaren eraginez, elektrodoen porositatea txikitzen da elektrolitoaren kontzentrazioarekin batera. Bestalde, elektrodoen gainazaleko porositatea barrualdekoa baino askoz azkarrago murrizten da. Beraz, elektrodo positiboaren lodiera eta porositatea handitzen badugu, deskarga-denbora luzatu dezakegu.

Zenbakizko kalkulu hauen emaitzak beste ikertzaileek lortutakoekin alderatu dira, eta antzeko emaitzak lortu ditugu (Esfahanian et. al., 2014). Hurrengo urratsa balioztatze esperimentalak izango da.



**6. Irudia.** Hasierako tentsioa 4 deskarga-abiaduretan elektrolitoaren hasierako kontzentrazioaren funtzioan.

### 3.3. Balioztatze esperimentalak

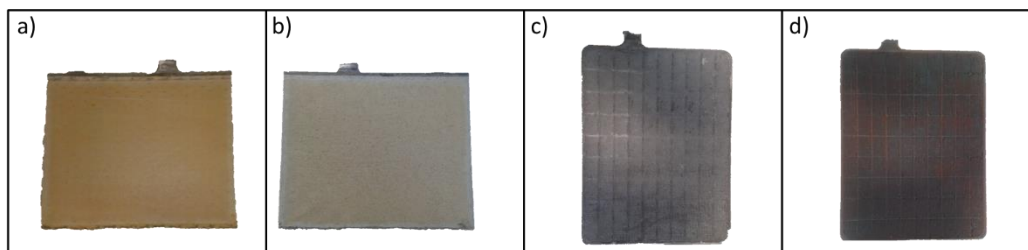
Berun-azido baterietan neurketak *in-situ* egitea oso zaila da, gelaxka elektrolitiko inguru erasokorra baita. Alde batetik, ingurune azidoa da, eta material asko erasotuak izaten dira. Eta bestetik, korronte elektrikoak ditugu. Hori dela eta, bateriak era egokian sensorizatzea ez da erraza, sensore askok ezin baitu lan egin holako inguruetan. Proiektuaren lehenengo fase honetan saiakuntza-bankuaren prozedura eta sensorizazioa finkatu ditugu.

Lehenengo egiaztapenak egiteko, bi motatako abiatze-bateria lehorrak aukeratu ditugu:

- 12 V eta 90 Ah-ko ezaugarriak dituen kotxerako bateria. Bateria hau formatu gabe dago. Hortaz, edozer egin aurretik formazio-prozesu zehatz bat eman behar diogu (9 A-eko korrontea

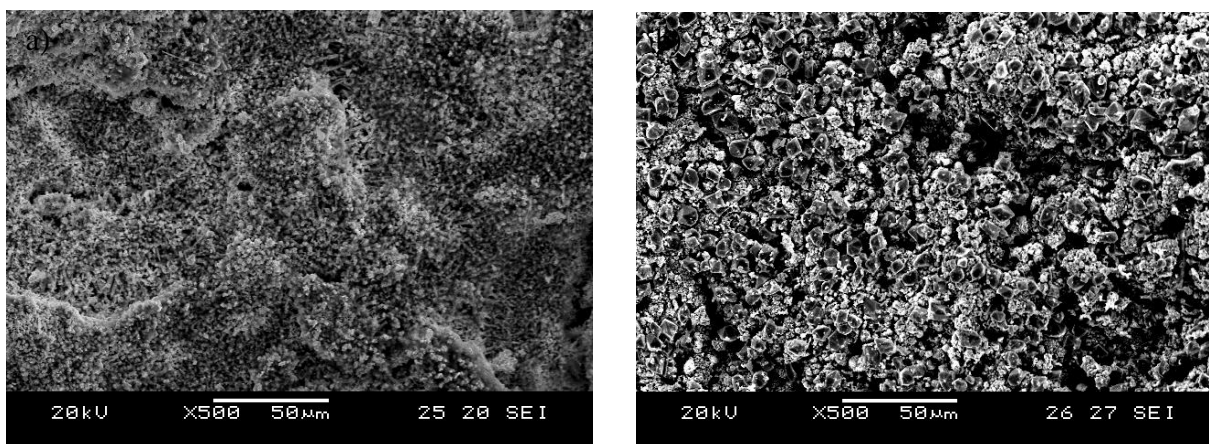
40 orduz  $1,245 \text{ g cm}^{-3}$ -ko hasierako dentsitatearekin). Bateria honen elektrodoak paper batekin babestuta daude (ikus 7. Irudia a) eta b)).

- 12 V eta 12 Ah-ko ezaugarritun motorrerako bateria formatua. Aurrekoa baino bateria txikiagoa da. Ondorioz, elektrodoak txikiagoak dira (ikus 7. Irudia c) eta d)).



**7. Irudia.** Formatu gabeko 12 V eta 90 Ah-ko bateriaren a) elektrodo negatiboa eta b) elektrodo positiboa. Formatutako 12 V eta 12 Ah-ko bateriaren c) elektrodo negatiboa eta d) elektrodo positiboa.

Bateriaren elektrodoak aztertzeko ekorketazko mikroskopia elektronikoa (ingelesez *SEM*) erabili ohi da (Pavlov, 2011). Mikroskopiaaren irudien bitartez elektrodoen gainazalaren honako ezaugarriak zehaztu daitezke: porositatea, konposizioa, prezipitazioak eta abar. Gainera, mikroskopiaari esker elektrodoen propietate hauek denboran zehar nola aldatzen diren aztertu daiteke. Horrela, karga-prozesuak, tenperaturaren eraginak, zahartze-prozesuak, kontzentrazio-aldaketak eta abarrek elektrodoetan sortzen dituzten efektuak aztertu daitezke. Adibidez, 12 V eta 12 Ah-ko ezaugarritun bateria formatuko elektrodoak 8. Irudian azaltzen dira handitze berdinarekin. Bertan ikus daitekeenez, elektrodo positiboan (b) porositatea handiagoa da elektrodo negatiboan baino (a).



**8. Irudia.** 12 V eta 12 Ah-ko bateriaren elektrodoak: a) negatiboa (Pb) eta b) positiboa ( $\text{PbO}_2$ ).

#### 4. Ondorioak

Ikerketa-proiektuaren lehenengo fasean honako ondorio nagusiak lortu ditugu:

- Elektrolitoaren dentsitatea eta biskositatea neurtu dugu, eta lortutako balioetatik dentsitatearen parametrizazio berri bat lortu dugu. Parametrizazio hau bibliografian daudenak baino sinpleagoa da, eta simulazioetan sartu dugu elektrolitoaren jokaera hobeto deskribatzeko.
- Zenbakizko kalkuluak burutzeko dimentsio bakarreko eredu sinple bat inplementatu dugu. Berun-azido bateriaren oinarrizko jokaerak ondo azaltzen ditu, baina balioztatze esperimentalak egitea falta zaigu. Hurrengo urratsak bi eta hiru dimentsioko ereduak garatzea izango da.
- Saiakuntza-bankua diseinatu dugu, bere prozedura finkatu dugu. Hemendik aurrera, eredu teorikoen egiaztatze esperimentalak burutu behar da.

#### 5. Etorkizunerako ildoak

Aurretik aipatu dugun moduan, ikerketaren lehenengo fasean murgilduta gaude. Hortaz, hurrengo bi faseen zereginak zehaztuta daude jadanik. Hala ere, berun-azido teknologiararen garapenean lan-ildo



interesgarri asko daude, eta horietan sakontzeko asmoa daukagu. Alde batetik, gaur egun metaketa-teknologia guztietan nanomaterialen erabilera hedatzen ari da. Hori ikusita, berun-azido baterian nanomaterialen efektua aztertzeko asmoa daukagu. Bestetik, elektrolitoaren eroankortasuna handitzeko gehigarriak aztertu nahi ditugu.

## 6. Erreferentziak

- Brik, L., ben Amar, F. (2013). Causal tree analysis of depth degradation of the lead acid battery, *J. Power Sourc.* **228**, 39-46.
- Cugnet, M., Laruelle, S., Grugeon, S., Sahut, B., Sabatier, J., Tarascon, J.-M., Oustaloup, A., J. (2009). A Mathematical Model for the Simulation of New and Aged Automotive Lead-Acid Batteries, *Electrochem. Soc.* **156** (12) A974-A985.
- Domke, J., Bein, W. (1905), Über dichte und Ausdehnung der schwefelsäure in wässriger Lösung, *Z. Anorg. Chem.* **43**, 125-181.
- Ebner, E., Börger, A., Gelbke, M., Zena, E., Wieger, M. (2013). Temperature-dependent formation of vertical concentration gradients in lead-acid batteries under PSoC operation - Part 1: Acid stratification, *Electrochem. Acta* **90**, 219-225.
- Esfahanian, V., Ansari, A. B., Bahramian, H., Kheirkhah, P., Ahmadi, G. (2014). Design parameter study on the performance of lead-acid batteries, *J. Mech. Sci. Tech.* **28** (6), 2221-2229.
- Myhre, C. E. L., Nielsen, C. J., Saastad, O. W., J. (1998). Density and Surface Tension of Aqueous H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> at Low Temperature. *Chem. Eng. Data* **43**, 617-622.
- Oca, L., Campillo-Robles, J. M., Bou-Ali, M. M., Ballesteros, B. (2014) a. Evaluation of physical properties of sulfuric acid-water mixtures, *9th International Conference on Lead-Acid Batteries*, Proceedings of 9th International Conference on Lead-Acid Batteries, Albena (Bulgaria), 201-204.
- , (2014) b. Berun-azido baterien elektrolitoaren ezaugarritzea, Paulis, M., *Materialen Zientzia eta Teknologia II. kongresua*, Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua (UPV/EHU), Donostia, 279-282.
- Pavlov, D. (2011). *Lead-Acid Batteries: Science and Technology. A Handbook of Lead-Acid Battery Technology and its Influence on the Product*, Elsevier, Amsterdam.
- Pike Research (2012). Advanced Lead-Acid Batteries. Enhanced Flooded, Valve-Regulated, Lead-Carbon, and UltraBatteries for Motive, Transportation, and Stationary Applications: Global Market Analysis and Forecasts, [www.pikeresearch.com](http://www.pikeresearch.com).
- Plante, G. (1860). *C. R. Acad. Sci. Paris* **50**, 640-642.
- Ruetschi, P. (2004). Aging mechanisms and service life of lead-acid batteries, *J. Power Sourc.* **127**, 33-44.
- Schulte, D., Sauer, D. U., Ebner, E., Börger, A., Gose, S., Wenzl, H. (2014), “Stratifiability index” – A quantitative assessment of acid stratification in flooded lead acid batteries, *J. Power Sourc.* **269**, 704 – 715.
- SmithBucklin Statistics Group (2011). *National Recycling Rate Study*, Chicago, Illinois.
- , (2014). *National Recycling Rate Study*, Chicago, Illinois.

## 7. Eskerrak

J. Berasategiri eta J. M. Canalesi eskertu nahi diegu ikerketa honetan emandako laguntza. Eskerra eman nahi dizkiogu Eusko Jaurlaritzaren Ekonomiaren Garapen eta Lehiakortasun Sailari eta Europako Eskualde Garapenerako Funtzari lan hau burutzeko eskainitako laguntza ekonomikoagatik (BATAPLO, IG-2014/0000887 - GAITEK 2014).