



Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea

Energia-metaketa: *erredox* orekatik baterietara

Paula Serras
Verónica Palomares

ISBN: 978-84-9082-038-4

**EUSKARAREN ARLOKO ERREKTOREORDETZAREN
SARE ARGITALPENA**

Liburu honek UPV/EHUko Euskararen Arloko Errektoreordetzaren dirulaguntza jaso du

AURKIBIDEA

A.1. ELEKTROKIMIKAREN OINARRIAK: ERREDOX OREKA.....	1
1.1. Oxidazio-zenbakiak	1
1.2. Oinarri nagusiak: oxidazioa eta erredukzioa	3
1.3. Pila galbanikoak: prozesu espontaneoak	5
1.4. Elektrodo potentziala	7
1.5. Elektrolisia: prozesu ez-espontaneoak	9
A.2. ENERGIA-METAKETA GIZARTEAN	10
2.1. Zertarako metatu nahi dugu energia?	10
2.2. Energia-metaketa motak	12
A.3. BATERIAK	12
3.1. Definizioa	12
3.2. Egitura eta ezaugarriak	13
3.3. Bateria motak: primarioak eta sekundarioak.....	14
3.4. Prozesu elektrokimikoaren zinetika eta polarizazioa.....	14
3.5. Bateria lan-tentsioa	15
3.6. Bateria baten errendimenduan eragina duten parametroak:.....	15
3.7. Bateria baten balio-bizitza	18
A.4. BATERIEN GAUR EGUNGO APLIKAZIOAK	18
4.1. Bateria primarioak	19
4.2. Bateria sekundarioak.....	30
Ariketak.....	40
Liburu interesgarri batzuk	42


A.1. ELEKTROKIMIKAREN OINARRIAK: ERREDOX OREKA

Elektrokimika da energia elektrikoaren eta energia kimikoaren arteko konbertsioa ikasten duen kimikaren arloa. Prozesu elektrokimikoak oxidazio-erredukzio erreakzioak dira. Oxidazio-erredukziozko erreakzioak (laburki, **erredox** erreakzioak) garrantzi praktiko berezia duten transformazio kimiko ugari hartzen ditu barnean; esaterako, substantzia askoren errekuntza, metalen oxidazioa airean, prozesu elektrolitikoak, piletako energia elektrikoaren ekoizpena, etab. Gainera, gaur egun, *oxidazio* eta *erredukzio* kontzeptuak ez dira soilik oxigenoaren kopuruarekin erlazionatzen, baizik eta **elektroi-transferentziarekin** ere bai. Prozesu elektrokimikoak *erredox* erreakzioak dira, non erreakzio espontaneo batean askatzen den energia elektrizitate bihurtzen baita. Aldiz, erreakzio kimiko ez-espontaneo bat gerta dadin energia elektrikoa erabili behar da. Azken horri elektrolisi deritzo.

1.1. Oxidazio-zenbakiak

Oxidazio-zenbakia da taula periodikoko elementu batek konposatu batean edukiko lukeen **karga**, baldin eta konposatu hori ioi positiboz eta negatiboz osatuta egongo balitz. Hau da, elementuen **balentziarekin** erlaziona daiteke oxidazio-zenbakia, eta elementu bakoitzak balentzia edo karga bat baino gehiago eduki dezake. Elementuaren sinboloaren gainean idazten da oxidazio-zenbakia, **+n** edo **-n** adierazpenarekin. 1. taula honetan agertzen dira oxidazio-zenbakiak izendatzeko erabiltzen diren arauak:

1. taula. Elementuen oxidazio-zenbakiak izendatzeko arauak.

Elementua	Ox. zenbakia
Elementu askeak (konbinatu gabeak): $H_2, F_2, Cl_2, N_2, O_2, Na, Be, K...$	0
Metal alkalinoak (1 taldea): Li, Na, K...	+1
Metal lurralkalinoak (2 taldea): Ca, Be, Mg...	+2
Halogenoak (17 taldea): F, Cl...	-1
Molekula bat osatzen duten oxidazio-zenbakiaren konbinaketak ematen duen kargak molekula edo ioi horren kargaren berdina izan behar du.	
Hidrogenoa:	
Konposatu gehienetan: $H_2O, H_2SO_4, HCl...$	+1
Hidruro metalikoetan: NaH, $CaH_2...$	-1
Oxigenoa:	
Konposatu gehienetan: $H_2O, H_2SO_4, CO_2...$	-2
Peroxidoetan: $H_2O_2, K_2O_2...$	-1

Liburu honek UPV/EHUko Euskararen Arloko Errektoreordetzaren dirulaguntza jaso du

Elementuen taula periodikoa

Kolore-kodea

- metalak
- trantsizio-metalak
- bestelako metalak
- erdimentalak
- ez-metalak
- gas nobleak

zenbaki atomikoa: 74 183,84 pisu atomikoa

W

ikurra: izena: Wolframa

egitura elektronikoa: $[Xe] 4f^{14} 5d^4 6s^2$

1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	H 1,00794 Hidrogenoa																		He 4,002602 Helioa
2	Li 6,941 Litioa	Be 9,012182 Berilioa											B 10,81 Borua	C 12,0107 Karbonoa	N 14,0067 Nitrogenoa	O 15,9994 Oxigenoa	F 18,9984032 Fluorra	Ne 20,1797 Neona	
3	Na 22,989770 Sodioa	Mg 24,3050 Magnesia											Al 26,981538 Aluminioa	Si 28,0855 Silizioa	P 30,973761 Fosforoa	S 32,065 Sufrea	Cl 35,453 Kloroa	Ar 39,948 Argona	
4	K 39,0983 Potasioa	Ca 40,078 Kaltzioa	Sc 44,955910 Eskandioa	Ti 47,887 Titanioa	V 50,9415 Banadioa	Cr 51,9961 Kromoa	Mn 54,938044 Manganesoa	Fe 55,845 Burdina	Co 58,933200 Kobaltua	Ni 58,6934 Nikela	Cu 63,546 Kobrea	Zn 65,409 Zinka	Ga 69,723 Galioa	Ge 72,64 Germanioa	As 74,92160 Artsenioa	Se 78,96 Selenioa	Br 79,904 Bromoa	Kr 83,798 Kriptona	
5	Rb 85,4678 Rubidioa	Sr 87,62 Estrontzioa	Y 88,90585 Itrioa	Zr 91,224 Zirkonioa	Nb 92,90638 Niobioa	Mo 95,94 Molibdenoa	Tc [98] Teknezioa	Ru 101,07 Rutenioa	Rh 102,90550 Rodioa	Pd 106,42 Paladioa	Ag 107,8682 Zilara	Cd 112,411 Kadmioa	In 114,818 Indioa	Sn 118,710 Estainua	Sb 121,760 Antimonioa	Te 127,60 Telurioa	I 126,90447 Iodoa	Xe 131,293 Xenona	
6	Cs 132,90545 Zesioa	Ba 137,327 Barioa	57-71 LANTANIDOAK	Hf 178,49 Hafnioa	Ta 180,9479 Tantaloa	W 183,84 Wolframa	Re 186,207 Renioa	Os 190,25 Osmioa	Ir 192,221 Iridioa	Pt 195,078 Platinioa	Au 196,96655 Urrea	Hg 200,59 Merkurioa	Tl 204,3833 Talioa	Pb 207,2 Beruna	Bi 208,98038 Bismutoa	Po [209] Polonioa	At [210] Astatoa	Rn [222] Radona	
7	Fr [223] Frantzia	Ra [226] Radioa	89-103 AKTINIDOAK	Rf [261] Rutherfordioa	Db [262] Dubnioa	Sg [266] Seaborgioa	Bh [264] Bohrioa	Hs [277] Hassioa	Mt [268] Meitnerioa	Ds [281] Darmstadtioa	Rg [272] Roentgenioa	Uub [286] Ununbioa	Uut [288] Ununtrioa	Uuq [291] Ununkuadioa	Uup [293] Ununpentioa	Uuh [294] Ununhexioa	Uus [295] Ununseptioa	Uuo [296] Ununoktioa	
				57 La 138,9055 Lantanoa	58 Ce 140,116 Zerioa	59 Pr 140,90765 Praseodimioa	60 Nd 144,24 Neodimioa	61 Pm [145] Prometioa	62 Sm 150,36 Samarioa	63 Eu 151,964 Europioa	64 Gd 157,25 Gadolinioa	65 Tb 158,92534 Terbioa	66 Dy 162,500 Disproioa	67 Ho 164,93032 Holmioa	68 Er 167,259 Erbioa	69 Tm 168,93421 Tulioa	70 Yb 173,04 Iterbioa	71 Lu 174,967 Lutezioa	
				89 Ac [227] Aktinioa	90 Th 232,0381 Torioa	91 Pa 231,03688 Protaktinioa	92 U 238,02891 Uranioa	93 Np [237] Neptunioa	94 Pu [244] Plutonioa	95 Am [243] Amerizioa	96 Cm [247] Kurioa	97 Bk [247] Berkelioa	98 Cf [251] Kalifornioa	99 Es [252] Einsteinioa	100 Fm [257] Fermioa	101 Md [258] Mendelebioa	102 No [259] Nobelioa	103 Lr [262] Lawrentzioa	


Oharra: 112tik aurrerako elementuen aurkikuntzak iragarri dira, baina IUPACek ez ditu onartzen eman.

2. irudia. Elementuen taula periodikoa.

Liburu honek UPV/EHUko Euskararen Arloko Errektoreordetzaren dirulaguntza jaso du

1.2. Oinarri nagusiak: oxidazioa eta erredukzioa

Konposatu ionikoen eraketan, oxidazio-erredukzio erreakzioak ezaugarritzen ditu bi elementuren arteko elektro-transferentziak. Oxidazio erdi erreakzioan elektroiak galdu egiten dira, eta erredukzio erdi erreakzioan irabazi. Oxidazio-erreakzio batek beti behar du erredukzio-erreakzio bat, eta horregatik dira erdi erreakzioak. Gainera, oxidatzen den konposatuari **erreduktore** deritzo, eta erreduzitzen denari **oxidatzaile**.

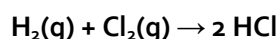


GOGORATU!

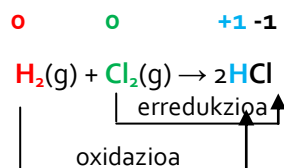
Oxidazioa: $\downarrow e^- = \uparrow$ oxidazio-zenbakia

Erredukzioa: $\uparrow e^- = \downarrow$ oxidazio-zenbakia

Ikus dezagun honako kasu hau:

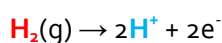


Sortu den produktua (HCl) aldibereko bi erdi erreakzioetan gertatutako elektro-transferentziaren emaitza da. Hori irudikatzeko, lehenik eta behin, erreakzioan parte hartzen duten konposatu guztien oxidazio-zenbakiak adierazi behar dira:



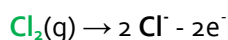
Gero, **bi erdi erreakzioetan** deskonposatu beharko litzateke erreakzio globala.

- Horrela, hidrogeno elementuaren oxidazio-zenbakia 0-tik +1-era handitzen dela ikus daiteke, eta, beraz, elektro kopurua txikitu:



Horregatik, **oxidazio erdi erreakzioa** izango litzateke hori. Gainera, $\text{H}_2(\text{g})$ -a oxidatzen ari denez, **erreduktorea** izango litzateke bera.

- Aldiz, kloroaren kasuan, oxidazio-zenbakia txikitu egiten da 0-tik -1-era, eta, beraz, elektro kopurua handitu. **Erredukzio erdi erreakzioa** izango litzateke hori. Kasu horretan, erreduzitzen den konposatua da $\text{Cl}_2(\text{g})$, eta, beraz, hori izango da **oxidatzailea**.



H^+ eta Cl^- ioiak HCl produktuaren disoziazioetik datoz; hau da, $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$

Bi erdi erreakzioak gehitzean, **erreakzio globala** lortzen da: $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HCl} + 2e^- - 2e^-$



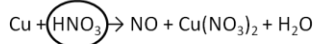
ADI!!

Erreakzio globalean ezin da elektroirik agertu; beraz, oxidazio eta erredukzio erdi erreakzioen batuketak elektroien konpentsaketa ekarri behar du. Elementuen kopuruak ere doituta egon behar du. Ikus 1. adibidea.

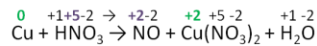


1. adibidea: oxidazio-erredukzioko ekuazioen doiketa

INGURUNE AZIDOA



1. Atomo bakoitzari bere oxidazio zenbakia jarri



2. Konposatu bakoitza **ionikoki** idatzi eta oxidazio eta erredukzio **erdi-erreakzioak** idatzi

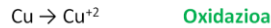


Oxigenoa duten konposatuak ez dira disoziatzen

3. **Atomo kopurua** doitu **erdi-erreakzio** bakoitzean

3.1. **Oxigenoa** doitzeko ur molekula erabiltzen da (**H₂O**)

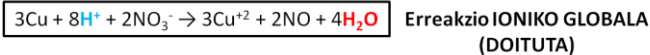
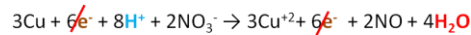
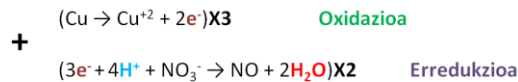
3.2. **Hidrogenoak** doitzeko **H⁺** erabiltzen da (ingurunea azidoa delako)



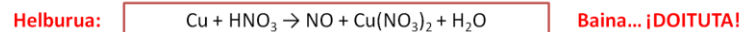
4. **Elektroi** kopurua doitu (**karga doitzeko**)



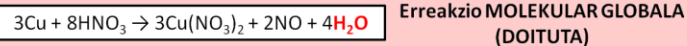
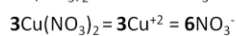
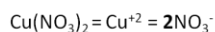
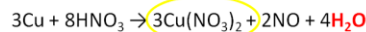
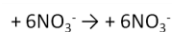
5. **Bi erdi-erreakzioak gehitu** erreakzio **IONIKO GLOBALA** lortzeko (erreakzioaren bi aldeetan elektroien kopuruak berdina izan behar du)



6. Erreakzio **MOLEKULAR** globala lortu



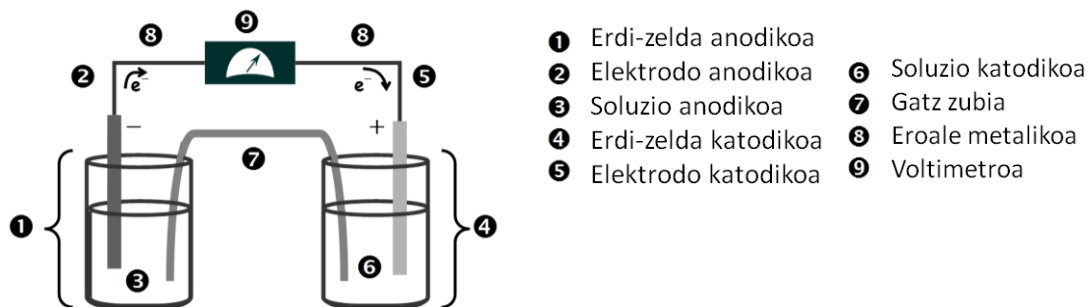
$3\text{Cu} + 8\text{H}^+ + 2\text{NO}_3^- \rightarrow 3\text{Cu}^{+2} + 2\text{NO} + 4\text{H}_2\text{O}$ Erreakzio IONIKO GLOBALA (DOITUTA)



1.3. Pila galbanikoak: prozesu espontaneoak

Pila galbanikoak edo pila voltaikoak dira **energia kimikoa** energia **elektriko** bihurtzen duten gailuak. Horretarako, ezinbestekoa da erreakzio kimikoa **espontaneo**a izatea. Gainera, kanpo-zirkuitu bat behar da **erredox** erreakzioan jokoan dauden **elektroiak** bertatik igaro daitezen, eta, horrela, elektrizitatea aprobezia dadin.

3. irudian agertzen dira pila galbaniko baten osagai nagusiak:



3. irudia. Pila galbaniko baten osagai nagusiak.

- Bi **erdi zelda** (1 eta 4) kontaktuan daude **eroale** metaliko batez (2 eta 5) eta **gatz-zubi** batez (7).
- Erdi zelda bakoitza **elektrodo** (2 eta 5) eta **elektrolito** (3 eta 6) batez osatua dago.
 - **Oxidazioa** gertatzen den elektrodoa **anodoa** da, eta **erredukzioa** gertatzen den elektrodoa **katodoa**. Elektroiak anodotik katodora mugitzen dira (8).
 - **Gatz-zubiak** (7) elektrolito bat darama, eta honako zeregin hauek ditu:
 - Zirkuitua ixtea.
 - Kargak konpentsatzea.
 - Disoluzioak ez nahastea.
 Gatz-zubian dagoen **elektrolitoak** inerteza izan behar du, ioi eroalea eta elektroi isolatzailea.
- Bi elektrodoen artean potentzial-diferentzia bat sortzen da (9), eta horri deritzo **indar elektromotriz**a (**fem**) edo **zeldaren potentziala** (**E**). Voltetan neurtzen da hori.



ADI!!

Erredox erreakzioa erdi zeluletan bananduko ez balitz (gatz-zubi edo mintz porotsu batez) ez lirateke aprobezia erreakzioan jokoan dauden elektroiak. Horrela, ezinbestekoa da bi erdi zeldak **elektroi isolatzailea den elektrolito** batez bananduta egotea, **elektroiak kanpo-zirkuitutik** pasa daitezen. Horretarako, gainera, erdi zelda bakoitzak elektrodo **eroale** bat izan behar du.

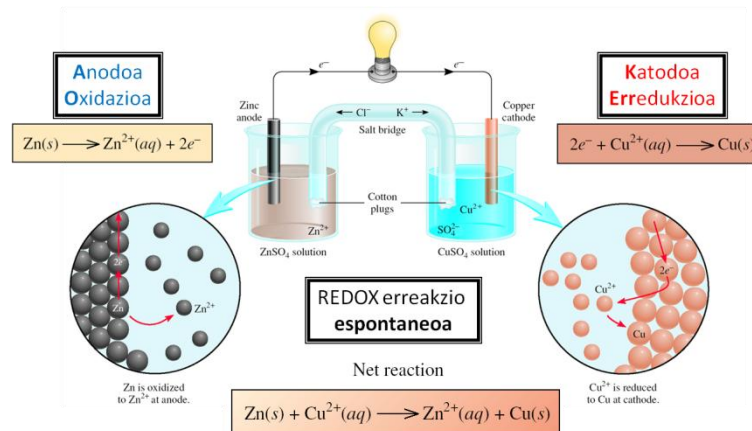
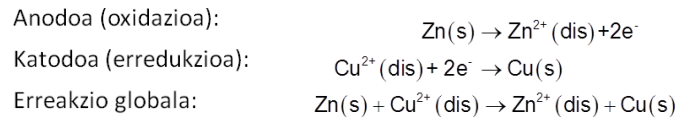
ENERGIA-METAKETA: ERREDOX OREKATIK BATERIETARA

4. irudian agertzen da pila galbanikorik ezagunenetako bat: Daniell pila.

Anodoan, oxidazioa gertatzen da. Zink metalikoa (Zn) oxidatu egiten da; oxidazio-zenbakia handitu (Zn^{+2}) eta, era berean, bi elektroi galtzen dira. Elektroiak kanpo-zirkuitutik katodora iristen dira, eta Zn^{+2} disoluzioan gelditzen da.

Katodoan, erredukzioa gertatzen da. Erdi zelda katodikoan dagoen kobre disoluzioak (Cu^{+2}) anodotik datozen bi elektroiak hartzen ditu, eta kobre metaliko (Cu (s)) bihurtu.

Bi erdi erreakzioen baturarekin, honako erreakzio global hau lortzen da:



4. irudia. Daniell pilaren eskema.

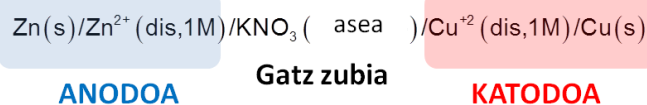
Horrela, erreakzioa gertatzen den heinean, zink metalikoz osaturiko anodoa desagertzen joango da, eta kobre metalikoa ezartzen joango da katodoan. Erreaktiboak bukatzen direnean, hau da, zink metalikoa (Zn) anodoan edo kobre disoluzioa (Cu^{+2}) katodoan, erreakzioa gelditu egingo da.



ADI!!

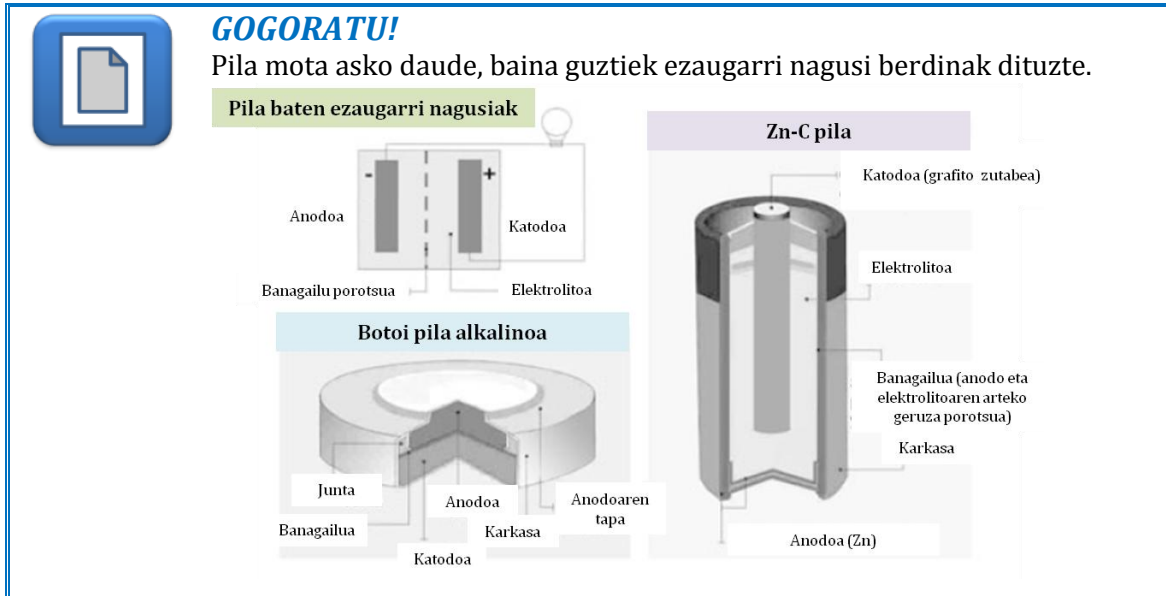
Anodoa nahitaez **zink metalikoz** egon behar du osatuta. Aldiz, **katodoa edozein metal edo eroale inerte** izan daiteke, hori ez baita erreakzioaren erreaktibo. Normalean, kobre metalikoa izaten da, gainean ezarriko zaion geruza kobre metalikoa izango delako, baina ez da nahitaezkoa.

Daniell pilaren eskema adierazteko, honako idazkera hau erabiliko litzateke:



Bideo-linka

[Daniell pila galbanikoaren funtzionamendua \(ingelesez\)](#)



1.4. Elektrodo-potentziala

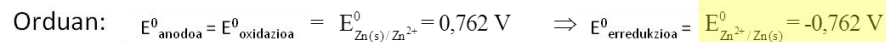
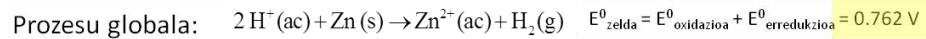
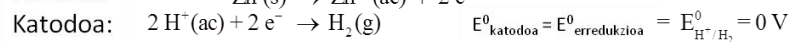
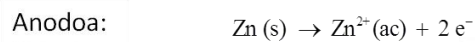
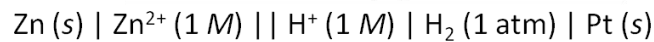
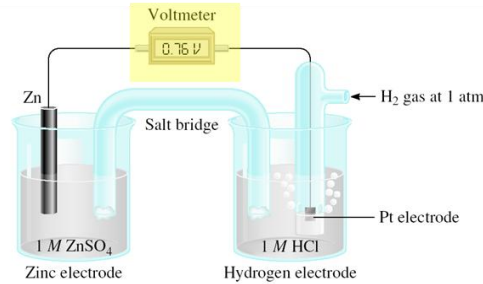
Elektrodo bakar baten potentziala ezin da neurtu. Erreferentzia-elektrodo bat behar da potentzial-diferentziak neurtzeko, eta, normalean, hidrogenoa erabiltzen da erreferentzia gisa. Kasu hauetan, erreferentzia honen potentziala zero da eta, beraz, erraz kalkula eta erabil daiteke beste elektrodoaren potentziala. Hurrengo adibideetan (2. eta 3. adibideak), elementu baten potentziala lortzeko erabiltzen den muntaia erakusten da. Lehenengo kasuan, **katodoan** kokatzen da erreferentzia den **hidrogenoa** (bertan H^+/H_2 **erredukzioa** gertatzen da), eta **anodoan** kalkulatu da **Zn/Zn⁺²** bikotearen potentziala (bertan, **oxidazioa** gertatzen da). Bigarrenean, **anodoan** kokatzen da **hidrogenoa** (H_2/H^+), eta katodoan lortzen da **Cu⁺²/Cu** bikotearen potentziala. Bi kasuetan, voltmetroak ematen duen balioa da hidrogenoaren eta kalkulatu nahi den potentzialaren arteko potentzial-diferentzia, eta, hidrogenoaren balioa 0 V denez, erraz lor daiteke beste bikotearen tentsioa. Hala ere, kontuan eduki behar da **ERREDUKZIO**-potentzialak lortu nahi direla, horiek agertuko baitira gero ondorengo datu-tauletan. Beraz, kontuz ibili behar da zeinuarekin!

Elementua	Elektrodoen erreakzioa	Erredukzio potentziala (V)
Li	$Li^+ + e^- \rightleftharpoons Li$	- 3,045
K	$K^+ + e^- \rightleftharpoons K$	- 2,925
Ca	$Ca^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Ca$	- 2,870
Na	$Na^+ + e^- \rightleftharpoons Na$	- 2,714
Mg	$Mg^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Mg$	- 2,370
Al	$Al^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons Al$	- 1,660
Zn	$Zn^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Zn$	- 0,763
Cr	$Cr^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons Cr$	- 0,740
Fe	$Fe^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Fe$	- 0,440
Cd	$Cd^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cd$	- 0,403
Ni	$Ni^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Ni$	- 0,250
Sn	$Sn^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Sn$	- 0,140
Pb	$Pb^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Pb$	- 0,126
H ₂	$2 H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2$	0,000
Cu	$Cu^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu$	+ 0,337



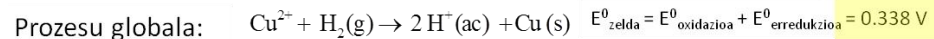
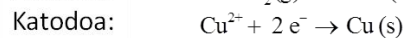
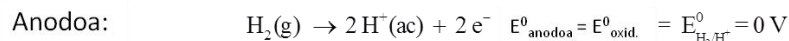
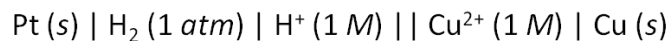
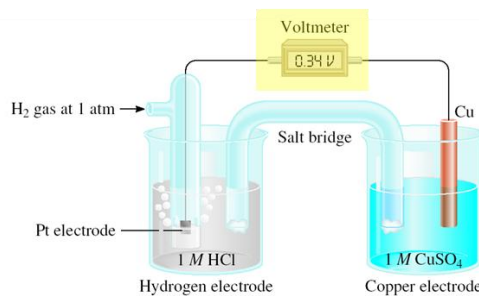
2. adibidea: zinkaren ERREDUKZIO-potentzial estandarraren neurketa (Zn²⁺/Zn):

Hidrogenoa katodo



3. adibidea: kobreakaren ERREDUKZIO-potentzial estandarraren neurketa (Cu²⁺/Cu):

Hidrogenoa anodo



ADI!!

Erreakzio **espontaneo** batean, **potentziala** beti izango da **positiboa**, hau da:
E > 0 V.



GOGORATU!

Zelda baten potentziala bere elektrodoen potentzialen gehiketa da.

Erreakzio globala = bi erdi zelulen gehiketa

Baina...**KONTUZ!! Bi modutara kalkula daiteke zeldaren potentzial globala.**

$$E^0_{\text{zelda}} = E^0_{\text{oxidazioa}} + E^0_{\text{erredukzioa}}$$

$$E^0_{\text{zelda}} = E^0_{\text{katodoa}} - E^0_{\text{anodoa}} \longrightarrow \text{Erredukzio potentzialak!}$$

Erreaktiboak **estandar egoeran** badaude (**1M** ioientzat eta **1 atm** gasen P partzialarentzat) **zeldaren potentziala estandarra** izango da, eta horrela adierazten da:

$$E^0_{\text{zelda}}$$

Kondizio **ez-estandarretan**, **Nernsten** ekuazioa erabili behar da.

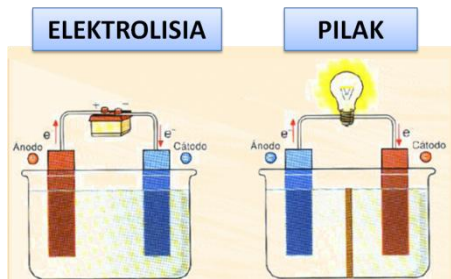
NERNST-en EKUAZIOA

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln Q$$

Q = Erreakzio koizientea
 R = 8.32 J/K·mol
 F = Faraday konstantea (96.500 coulomb/e- mol)
 n = aldatutako e- mol kopurua
 E = Zelda galbanikoaren fem

1.5. Elektrolisia: prozesu ez-espontaneo

Elektrolisia da *eredox* erreakzio **ez-espontaneo** bat gerta dadin energia aplikatzearen prozesua. 5. irudi eta taula honetan agertzen dira pila baten eta zelda elektrolitiko baten arteko diferentzia garrantzitsuenak.



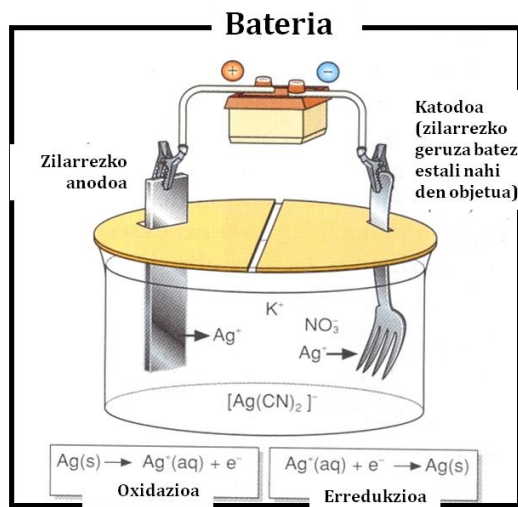
Energia elektrikoak erreakzio ez-espontaneoak eragiten du.	Erreakzio espontaneoak energia elektriko sortzen du.
Elektrolito bakarra dago.	Bi elektrolito daude.
Anodoa polo positiboa da eta katodoa negatiboa.	Anodoa polo negatiboa da eta katodoa positiboa.

5. irudia. Pila eta zelda elektrolitiko baten diferentziak.

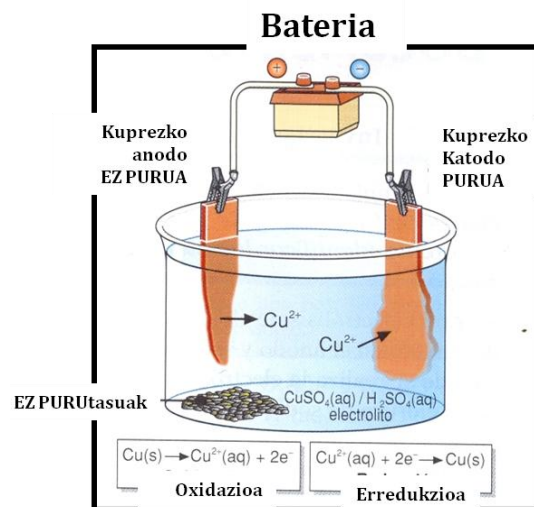
ENERGIA-METAKETA: ERREDOX OREKATIK BATERIETARA

6. irudian ikus daitekeen moduan, metalen elektrodeposizioa eta metalen birfintzea dira elektrolisiaren aplikaziorik aipagarrienak. Metalen elektrodeposizioaren kasuan (6a. irudia), metal konkretu bat erabiltzen da anodoan. Katodoan, anodoan dagoen metalarekin estali nahi den objektua erabiltzen da elektrodo, eta elektrizitatearen aplikazioaren bidez eragiten da espontaneoki gertatzen ez den erreakzioa. Metalen birfintzearen kasuan (6b. irudia), metal ez-purua anodoan ezartzen da elektrodo, eta purua den metal berdinarekin xafla bat erabiltzen da katodoan. Horrela, energia aplikatzean, soilik metalaren deskonposaketa (anodoan) eta metalaren sorrera (katodoan) gertatuko da, ez-purutasunak alde batera utziz.

a)



b)



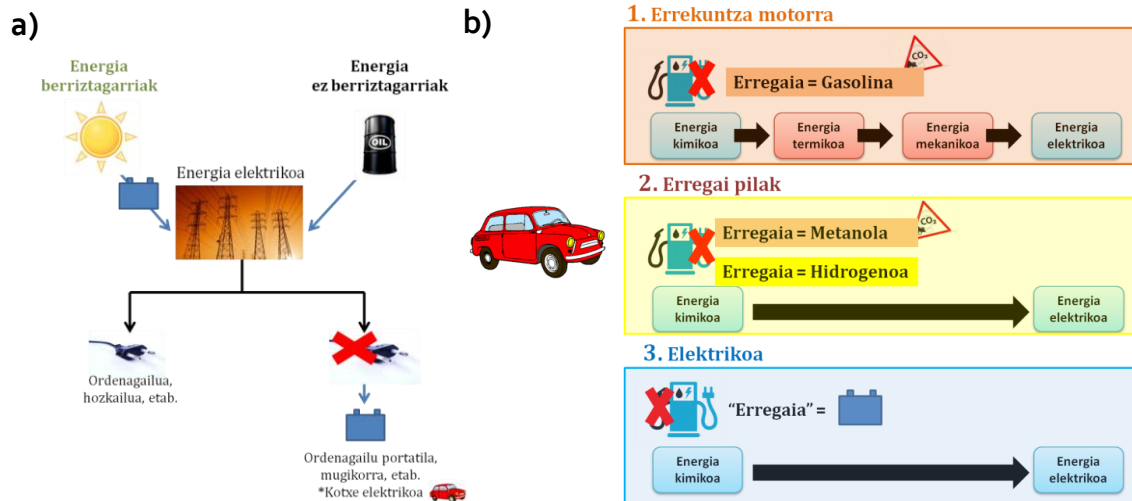
6. irudia. a) Metalen elektrodeposizioa eta b) metalen birfintzea.

A.2. ENERGIA-METAKETA GIZARTEAN

2.1. Zertarako metatu nahi dugu energia?

Energia elektrikoa da, gaur egungo bizimodurako, energia garrantzitsuenetakoa. Pentsaezina iruditzen zaigu energia elektrikorik gabe bizitzea. Gure inguruko gailu gehienek korrante elektrikoaren beharra daukate, eta beste asko metatutako energiaren baliatzen dira autonomia izan dezaten (mugikorrek, ordenagailu eramangarriak, etab.). Energia elektrikoa bide desberdinetatik lor daiteke, baina bi dira oinarritzkoenak. Energia berriztagarriak eta ez-berriztagarriak. Hala ere, egun, oraindik material erregaiak erabiltzen dira gehien energia elektrikoa lortzeko, eta horrek kutsadura handitzea dakar, batez ere CO₂ berotegi-efektuko gasaren ondorioz. Energia berriztagarria, aldiz, agorrezina da (adibidez, eguzki-energia, energia hidroelektrikoa, energia eolikoa, etab.) eta ez dago berotegi-efektuko gasen kutsadurarik. Energia berriztagarrien eragozpen handienetariko bat da, ordea, energia ez

dela beti behar den mementoan sortzen. Hau da, eskaintza eta eskaria ez datoz beti bat eta, beraz, beharrezkoa da energia metatzeko arazo horri aurre egiteko (ikus 7a. irudia). Energia metatzeko erabiltzen diren gailuak bateria sekundarioak edo superkondentsadoreak izaten dira; 2.2. atalean azalduko ditugu, laburki, bi gailu horien diferentzia garrantzitsuenak.



7. irudia. a) Energia lortzeko eta erabiltzeko moduak. b) Errekuntza-motorra, erregai-pilak eta auto elektrikoaren ezaugarriak.

Bestalde, autoak autonomia duten garraiobidetzat har ditzakegu eta auto elektrikoaren kasuan, gailu baten beharra dago energia metatzeko (ikus 7b. irudia).

Autoak, oro har, hiru motatakoak izan daitezke: errekuntza-motorra erabiltzen dutenak, erregai-pilekin funtzionatzen dutenak, eta elektrikoak. Azken horiek ere hibridoak izan daitezke, baina atal honetan ez dira sakonduko ezberdintasun horiek. 7b. irudian ikus daitezke, eskematikoki, hiru auto mota horien ezaugarri nagusiak. Errekuntza-motorra eta erregai-pilak erabiltzen dituzten autoek erregai baten beharra dute, baina energia elektrikoa lortzeko bidea desberdina da; erregai-pilen kasuan, energia kimikotik zuzenki lortzen da energia elektrikoa. Gainera, bigarren horietan erregai hidrogenoa izan daiteke eta, beraz, horren errekuntzak ez luke CO₂-rik sortuko. Erregai-pilak gailu elektrokimikoak dira, eta anodo, katodo eta elektrolito baten beharra daukate funtzionatzeko. Funtzionatzeko behar duten errektiboa erregai bat da kasu horretan, eta nahi haina aldiz birkarga daiteke hori. Auto elektrikoaren kasuan, energia elektrikoa lortzeko erabiltzen den gailua bateria sekundarioa izaten da. Energia kimikoa energia elektriko bihurtzen da bateria deskargatzen ari denean, eta alderantzizko erreakzioa gertatzen da bateria kargatzen denean.

**ADI!!**

Bateria deritzo pila askoren pilaketari. Bateria edo pilak **primarioak** edo **sekundarioak** izan daitezke. Primarioek *erredox* erreakzio bati esker lortzen dute energia elektrikoa, eta behin bakarrik gertatzen den deskarga-prozesua da. Bateria **sekundarioak**, ordea, behin eta berriz kargatu daitezkeen pilak edo bateriak dira. **Deskarga**-prozesuan espontaneoki gertatzen den erreakzio kimikoak energia elektrikoa sortzen du, eta **kargan**, berriz, energia elektrikoa aplikatu behar zaio hasierako egoerara itzul dadin.

**Bideo-linka**

[Hidrogeno erregai-pila baten funtzionamendua \(ingelesez\)](#)

2.2. Energia-metaketa motak

Bateria sekundarioak eta superkondentsadoreak dira energia elektrikoa metatzeko erabiltzen diren gailurik ezagunenak. Superkondentsadoreek transformazio fisikoa erabiltzen dute energia elektrikoa metatzeko, hau da, ez da *erredox* erreakziorik gertatzen; aldiz, bateria sekundarioetan edo birkarga daitezkeen baterietan, *erredox* erreakzioen bidez metatzen da energia elektrikoa. 2. taulan aurkezten dira diferentzia aipagarrienak.

2. taula. *Bateria sekundarioen eta superkondentsadoreen arteko diferentzia garrantzitsuenak.*

Bateria sekundarioak	Superkondentsadoreak
Metaketa kimikoa	Metaketa fisikoa
Energia-metaketa handia	Energia-metaketa txikia (azalera bakarrik)
Energia-dentsitate handia	Potentzia-dentsitate handia

**ADI!!**

Oro har...

Energia metatzeko: bateria sekundarioak eta superkondentsadoreak

Energia sortzeko: erregai-pilak

A.3. BATERIAK

3.1. Definizioa

Bateria da energia kimikoa energia elektriko bihurtzeko gai den sistema elektrokimikoa.



Ba al zenekien?

«Bateria» terminoa Benjamin Franklin-ek erabili zuen lehenengo aldiz kanoigintzan erabiltzen zen tresna bat izendatzeko (ikus 8. irudia). Energia lortzeko kondentsadore multzo bat zen Franklinen bateria (Leyden botilak), eta multzoekin lotuta dago bateria terminoaren ohiko esanahia. Geroago, Humphrey Davy-k zelda galbaniko multzo bat izendatzeko erabili zuen «bateria» terminoa. Hortik aurrera, bateriak ere esaten zaie zelda galbanikoei.



8. irudia. Leyden botilez egindako «bateria elektrikoa». Benjamin Franklinek izendatu zuen lehenengo aldiz «bateria» izenarekin (1760-1769¹).

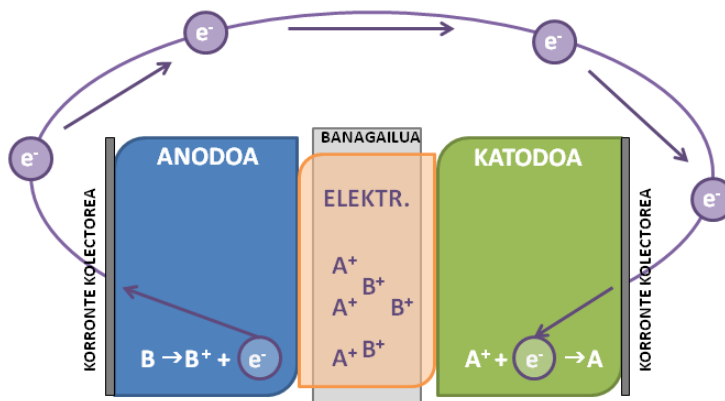
3.2. Egitura eta ezaugarriak

Esan bezala, bateria batek energia kimikoa energia elektriko bihurtzen du. Transformazio hori *erredox* erreakzioen bidez egiten da, eta katodo eta anodo deritze erreakzionatzen duten osagaiak. Era honetan, honako hauek dira bateria batean bereizten diren elementu nagusiak:

- **Anodoa:** espezie erreduzitzailea izanez, elektroiak erraz askatuko ditu kanpoko zirkuitura.
- **Katodoa:** espezie oxidatzailea izango da, hau da, erraz erreduzituko dena kanpoko zirkuituaren bidez anodotik datozen elektroiak hartuz.
- **Elektrolitoa.** Bi baldintza bete behar ditu elektrolito on batek, hots, eroankortasun ioniko ona erakustea eta isolatzaile elektrikoa izatea. Eroankortasun ionikoa kargak orekatzeko eta, litio edo sodio-ioi baterietan adibidez (geroago ikusiko dugunez), garrantzitsua da *erredox* prozesua sustatzeko. Gainera, elektrolitoak isolatzaile elektrikoa izan behar du elektroiak kanpoko zirkuitutik bidaiatzeko. Hori horrela izango ez balitz, anodoak askatzen dituen elektroiak zuzen joango lirateke katodora elektrolitoaren bidez, eta kanpo-zirkuitutik ez litzateke korrante elektrikorik lortuko, hau da, ez litzateke energia elektrikorik ekoitziko.
- **Bereizgailua (separadorea).** Normalean, elektrolitoak likidoak izaten direnez, bereizgailu bat jarri behar da bi elektrodoak kontaktuan ez egoteko. Horrela, banagailua material inerte eta mikroporotsua izaten da, adibidez, polipropilenoa edo beira-zuntza, elektrolitoz hobeto bustitzeko.

¹ <http://www.benfranklin300.org/frankliniana/result.php?id=72&sec=0>

- **Korronte kolektoreak.** Elektrodoek kanpoko zirkuiturako dituzten kontaktuak dira, eta materialak eroaleak baina elektrokimikoki inerteak izan behar dira bateriaren funtzionamendu-baldintzetan.



9. irudia. Bateria baten eskema sinplea, deskarga-prozesuan zehar.

3.3. Bateria motak: primarioak eta sekundarioak

Nagusiki bi bateria mota bereizten dira: primarioak eta sekundarioak. Primarioak erabilera bakarreko pilak edo bateriak dira, hau da, behin agortuta ezin dira berriro erabili gertatzen diren erreakzio kimikoak itzulezinak direlako. Bestalde, bateria sekundarioak deskargatu ondoren berriro karga daitezke, erreakzio kimiko itzulgarriak gertatzen direlako. Horrela, bateria sekundarioek balio-bizitza luzeagoa erakusten dute.

3.4. Prozesu elektrokimikoaren zinetika eta polarizazioa

Baterietan gertatzen diren prozesu elektrokimikoetan, honako modu honetan mugitzen dira karga elektrikoak:

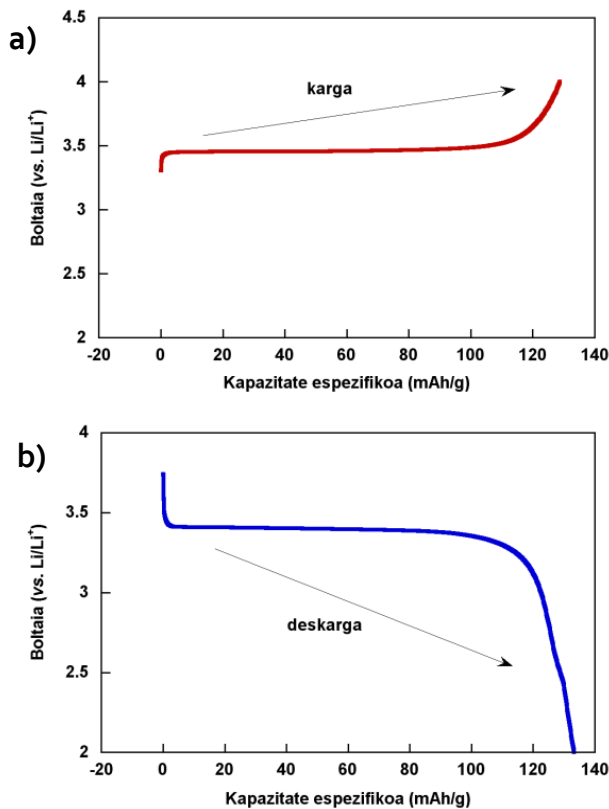
- Elektroioak kanpoko zirkuitutik mugitzen dira.
- Elektrodo/elektrolito interfasean, karga-transferentzia gertatzen da.
- Elektrolitoan ioi-fluxua gertatzen da.
- Tartekatze-elektrodoetan, ioi-mugimendua gertatzen da material katodikoaren edo anodikoaren barnean.

Oro har, bateria bat funtzionatzen ari denean, kanpoko zirkuitutik doa elektroio-korrontea, eta bateria barruan gertatzen da ioi-fluxua. Bi fenomeno horietatik, elektroioen mugimendua da azkarrena, elektroioek ioiek baino masa txikiagoa daukatelako. Horregatik, ioien difusioa kontrolatzen duen mekanismoa izango da fenomeno mugatzailea. Kanpo-zirkuitutik anodotik katodora doazen elektroioak ioiak baino lehenago iritsiko dira, eta, beraz, katodoan, karga

negatibo pilatze txiki bat sortuko da. Horri polarizazio deritzo, eta bateriaren barne-erresistentzia mota bat da.

3.5. Bateriaren lan-tentsioa

Tentsio-kapazitate grafiketan adierazten da bateria baten funtzionamendua. Adibidez, LiFePO_4 katodo eta litio metalikozko anodo batek osatzen dute 10. irudian erakusten den bateria, eta horren lan-tentsioa 3.45 V-koa da. Karga-prozesuan tentsioa igo egiten da, 3.45 V-tan denbora luzez egonkor mantenduz, eta deskargatzean kontrako prozesua ikus daiteke. Bateria mota horiek gutxi gorabehera tentsio egonkorra eskaintzen dute. Tentsio horri lan-tentsio deritzo, eta bateriaren erreakzio kimikoen menpe dago.



10. irudia. LiFePO_4 -Li bateria baten a) karga eta b) deskarga.

3.6. Bateria baten errendimenduan eragina duten parametroak

Energia metatzeko bateria baten kapazitatea da bateria batek gorde edo aska dezakeen energia kopurua, eta unitate desberdinen bidez adierazten da. Material aktiboaren masarekin edo bolumenarekin erlazionatzen da unitate horien bidez sortzen den edo beharrezkoa den korrante elektrikoa. Hots,

Kapazitate grabimetrikoa (Ah/kg)

Material aktiboaren masarekiko zeldak eskaintzen duen karga da. Zenbait aplikaziotan, oso garrantzitsua da energia/pisua erlazioa handia izatea; adibidez, taupada-markagailu, erloju, telefono mugikor edo ordenagailu eramangarrietan.

Kapazitate bolumetrikoa (Ah/dm³)

Material aktiboaren bolumenarekiko zeldak eskaintzen duen karga da. Energia-erreserba geldikorretan, adibidez, pisua baino garrantzitsuagoa da tokia edo espazioa aurrezte.

Hala ere, hurrengo unitate hauen bidez adierazten da zelda elektrokimiko batek askatzen duen energia erreala:

Energia-dentsitate grabimetrikoa (Wh/kg)

Kapazitate grabimetrikoaren eta zeldaren tentsioaren arteko biderkadura da.

Energia-dentsitate bolumetrikoa (Wh/dm³)

Kapazitate bolumetrikoaren eta zeldaren tentsioaren arteko biderkadura da.

Karga/deskarga abiadura

C-abiadurak adierazten du bateria bat kargatzeko edo deskargatzeko erabiltzen den ordu kopurua. Adibidez, bateria bat deskargatzeko C/10 abiadura erabiltzen bada, horrek esan nahi du material aktiboa deskargatzeko 10 ordu behar dituela, eta hori gertatzeko behar den intentsitatea kalkula daiteke (ikus 4. adibidea).



4. adibidea:

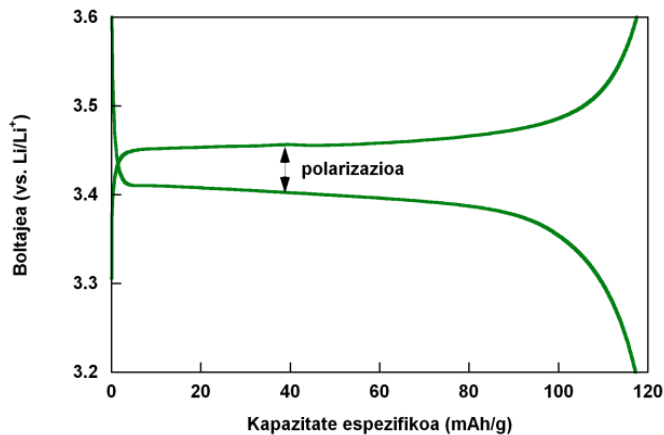
Bateria baten kapazitatea 1150mAh-koa bada, eta kargatzeko C/5 abiadura erabili nahi bada: $\frac{1150 \text{ mAh}}{5 \text{ h}} = 230 \text{ mA}$ -ko intentsitatea aplikatu beharko zaio.

Oro har, horrela adierazten da karga/deskarga prozesuetan erabiltzen den C-abiadura: C/h, non h bateria guztiz kargatzeko edo deskargatzeko behar den ordu kopurua baita (ikus 3. taula).

3. taula. Kargan eta deskargan erabiltzen diren C-abiadura desberdinak.

C-abiadura	Kargatzeko/deskargatzeko denbora
C/40	40 ordu
C/20	20 ordu
1C	ordu 1
5C	1/5 ordu= 12 minutu
10C	1/10 ordu= 6 minutu

Karga- eta deskarga-abiadura azkarretan (5C edo 10C adibidez), askoz handiagoa da elektroien eta ioien arteko mugitzeko gaitasun-diferentzia, eta, beraz, polarizazioa ere handiagoa izango da. Fenomeno zinetiko hori dela eta, deskargan zehar txikiagotu egiten da bateriaren tentsio errealak eta, aldiz, karga-prozesuan zehar handiagotu egiten da. Polarizazioak, hau da, zeldaren barneko erresistentziak, kargaren eta deskargaren arteko baltai-diferentzia sortzen du (ikus 11. irudia). Aldi berean, kapazitate espezifiko txikitzen du abiadura azkarrek sortzen duten polarizazioak.



11. irudia. LiFePO_4 -Li bateria baten polarizazioa.

Temperatura

Temperaturak aldatu egiten du elektrodoetan gertatzen diren erreakzioen abiadura, eta, beraz, eragina dauka baterien energia-dentsitatean ere. Horrela, temperatura baxuekin erreakzio elektrokimikoak moteldu egiten dira, eta, ondorioz, polarizazioa handitu eta zeldaren tentsioa gutxiagotu. Hori dela eta, gailu elektronikoek jokaera ez-egokiak erakusten dituzte temperatura baxuekin.



Ba al zenekien?

Ez zara inoiz konturatu neguan, mendira joatean, argazki-kamerak bateria baxua markatzen duela, eta etxera bueltatzean, kargatu gabe, berriro bateria geratzen dela? Temperatura oso baxuekin zeldaren erresistentzia handiegia da ondo funtzionatzeko, baina giro-temperaturara bueltatzean berriro ere badabil bateria.

Bestalde, temperatura altuek ere arazoak sortzen dituzte, kapazitatea mugatzen duten erreakzio parasitoak areagotu egiten direlako. Erreakzio parasito horiek dira elektrolitoaren eta materia aktiboaren arteko erreakzioak, eta ez dute energiarik sortzen materia kontsumitzeaz gain.

Temperatura baxuen eragina denboraldikoa izaten da; temperatura altuetakoa, aldiz, iraunkorra, erreakzio parasito horiek bateriaren materialak kontsumitzen dituztelako.

Autodeskarga

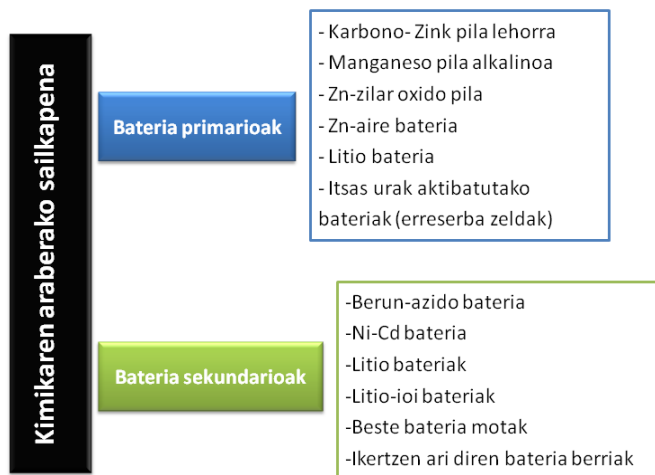
Batzuetan, bateria funtzionamenduan ez dagoenean, hau da, zirkuitu irekian dagoenean, gerta daitezke elektrodoen edo elektrodo baten eta elektrolitoaren arteko erreakzioak. Erreakzio horiek elektrodoak kontsumitu eta, batzuetan, produktu disolbaezinak sortzen dituzte. Produktu horiek bateriaren erresistentzia handiagotu dezakete, edota elektrodoa babestuko duen geruza bat sortu. Bateriaren autodeskarga-abiadura zeldaren erreakzio kimikoen menpe dago, baina, oro har, tenperatura altuek autodeskarga-erreakzioak bizkortzen dituzte. Hori dela eta, komenigarria da bateriak, behin eraikita, tenperatura baxuetan mantentzea.

3.7. Bateria baten balio-bizitza

Bateria primarioak, hau da, behin deskargatuz agortzen direnak, erabilera bakarrekoak dira. Bateria sekundarioak, aldiz, behin baino gehiagotan erabil daitezke, eta bi modutan neur daiteke horien balio-bizitza: kronologikoki (erabilitako hilabeteak, urteak, etab.) edo egindako karga/deskarga ziklo kopuruaren bidez (ziklabilitatea). Ziklabilitatea izaten da bateria baten hasierako kapazitatea edo energia-dentsitatea % 75 edo % 80 baino gutxiagora jaisten duten ziklo kopurua. Parametro hori zeldaren erreakzio kimikoen eta zeldaren erabileraren menpe dago. Esaterako, bateriaren balio-bizitza asko txikiagotzen dute deskarga sakonek eta gainkargek, eta, beraz, ziklo gehiago behar diren arren, gomendagarriagoa da deskarga arinak egin eta askotan kargatzea.

A.4. BATERIEN GAUR EGUNGO APLIKAZIOAK

Bateriak erreakzio kimikoen arabera sailka daitezke. Horrela, hainbat bateria mota ikus daitezke 12. irudi honetan:



12. irudia. Baterien sailkapena kimikaren arabera.

Ondoren, bateria mota bakoitzaren ezaugarri kimikoak eta beren funtzionamendua azalduko dira. Bateriak adierazteko erabiltzen den eskema hobeto ulertzeko, kolore-kode bat erabiliko da: anodoa osatzen duten osagaiak urdinez idatziko dira, elektrolitoa laranja, eta katodoa berdez.

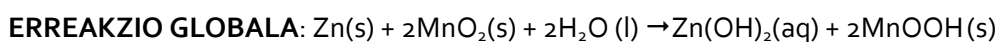
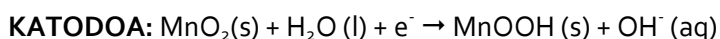
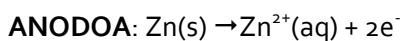
4.1. Bateria primarioak

a) Karbono-zink pila lehorra

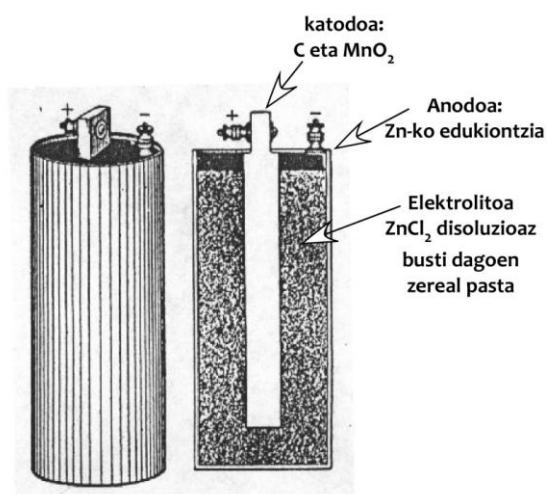
Honako hau da bateria honen eskema, eta 2.041 V-ko tentsioa aurkezten du:



Honako erreakzio kimiko hauek gertatzen dira:



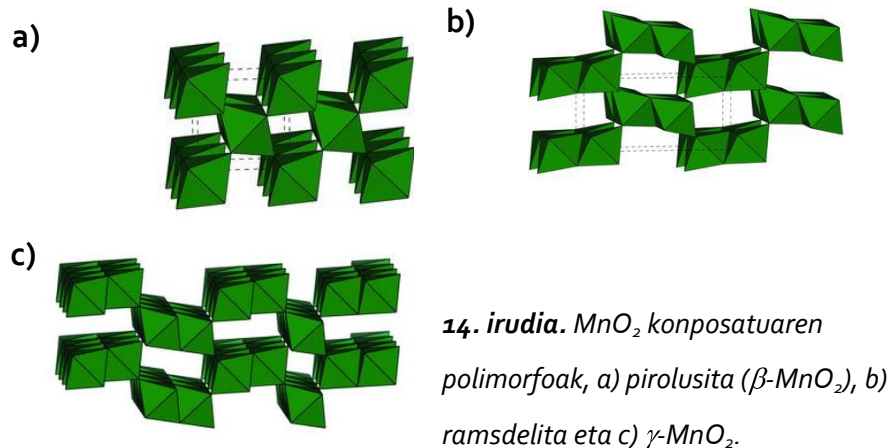
Karbonoa katodoan kolektore elektriko gisa agertzen da, eta MnO_2 -arekin nahastuta egoten da (ikus 13. irudia). Bereizgailua papera izaten da, eta mintz ionikoaren funtzioak betetzen ditu. Elektrolitoa, pila lehorra denez, ZnCl_2 disoluzioz blai dagoen zereal-pasta bat da. Anodoa dopatutako Zn izaten da, eta honako osagai hauek erabiltzen dira: %0.1 Hg eta <%0.1 Cd korrosioaren aurkako erresistentzia handiagotzeko, eta %0.25 Pb bere propietate mekanikoak hobetzeko. Horrela, lortzen den anodoa edukiontzi gisa erabil daiteke, zeldaren geometria hobetuz.



13. irudia. C-Zn pila lehor baten egitura.

ENERGIA-METAKETA: ERREDOX OREKATIK BATERIETARA

Elektrodo positiboak lau osagai ditu: kolektorea (C), materia aktiboa (MnO_2), gehigarri eroalea (karbono-hautsa) eta aglutinatzailea (zereal-pasta, kola edo erretxinak). MnO_2 konposatuak polimorfo asko dauzka; pirolusita ($\beta\text{-MnO}_2$), naturan gehien agertzen dena, ramsdelita eta $\gamma\text{-MnO}_2$, besteak beste. Baterietan erabiltzen den manganeso oxidoaren % 70-80 $\gamma\text{-MnO}_2$ izaten da. Polimorfo horrek pirolusitaren eta ramsdelitaren bitarteko egitura kristalinoa aurkezten du. 14c) irudian ikusten den bezala, γ polimorfoaren kanalak besteenak baino handiagoak izaten dira, eta barnean sar daitezke, kopuru txikietan, ioi alkalinoak, lurralkalinoak, Zn, Ni, Al eta H_2O .



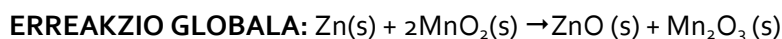
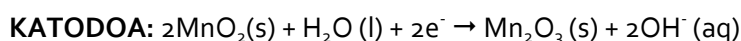
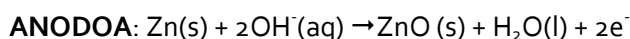
$\gamma\text{-MnO}_2$ fasea sintetikoa da, eta bi metodoen bidez sor daiteke: bide kimikotik (CMD, *Chemical Manganese Dioxide*) edo bide elektrokimikotik (EMD, *Electrochemical Manganese Dioxide*). Metodorik erabiliena EMD da, eta $\text{Mn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ edo MnSO_4 konposatuen oxidazio anodikoaren bidez lortzen da. Karbono-Zink pilak dira merkeenak, eta ezagunenak izan dira orain arte. Egun, aldiz, askoz gehiago erabiltzen dira pila alkalinoak, garestiagoak izan arren, kapazitate handiagoa daukatelako.

b) Manganeso-pila alkalinoa

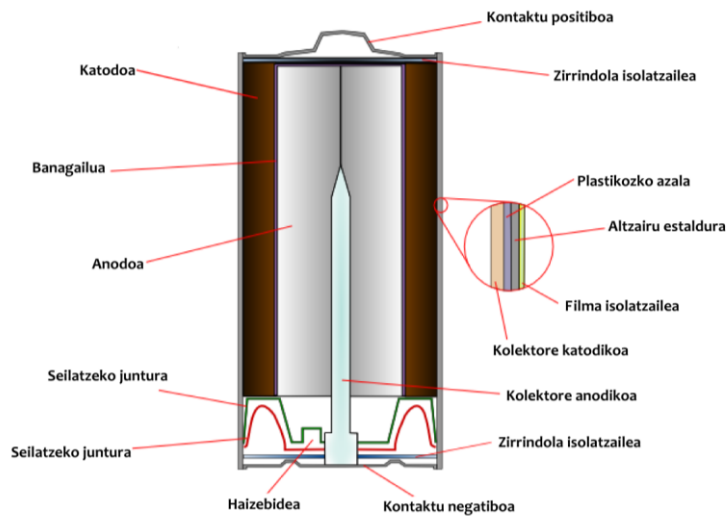
Karbono-zink pila lehorraren parekoa da, baina, kasu honetan, elektrolitoa basikoa da eta horregatik deritze «pila alkalinoak». Honako hau da pilaren eskema:



Eta honako hauek dira zeldan gertatzen diren erreakzio kimikoak:

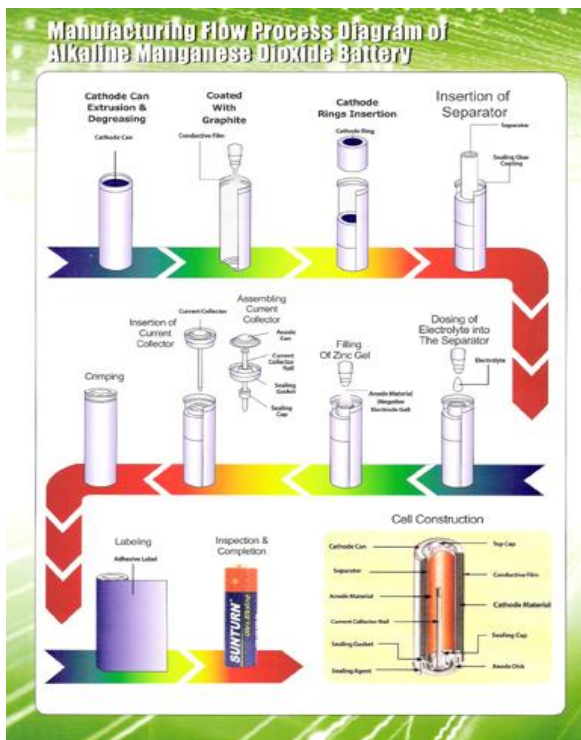


15. irudian ikus daiteke pila alkalino baten egitura. Katodoaren korrante-kolektorea altzairuzko ontzi bat da, nikeluzko film batez estalita. Katodoaren material aktiboa MnO_2 da, MnO_2 elektrokimikoa (EMD), hain zuzen ere. EMD toroide-itxurako pastilletan trinkotuta egoten da. Pastilla horiek porotsuak izan behar dira, elektrolitoa sartu eta materia aktiboarekin kontaktuan egon daitezten. Katodoa ontziaren barruan kokatzen da. Bestalde, anodoa zink-hauts gelifikatua izaten da, eta zelda barruan kokatzen da. Gelifikazioak elektrolitoaren sarrera errazten du. Erdian bereizgailua dago, kimikoki inerteia, isolatzaile elektrikoa eta ionikoki iragazkorra.



15. irudia.
Pila alkalino baten egitura.

Pila alkalino bat muntatzeko, lehenik eta behin, osagai guztiak ontzian sartu behar dira eta, gero, elektrolitoz busti (ikus 16. irudia).



16. irudia. *Pila alkalino bat muntatzeko eskema.*

ENERGIA-METAKETA: ERREDOX OREKATIK BATERIETARA

Pila alkalinoen eta pila lehorren arteko desberdintasuna elektrolitoa soilik izanik, hobekuntza handia lortzen da. Pila alkalinoak askoz eraginkorragoak dira, deskarga azkarretan bereziki, hau da, korrante altuak erabiltzen diren deskargetan. Erabileraren arabera, pila alkalinoek pila lehorrek baino zazpi aldiz gehiago iraun dezakete, eta deskarga-kurba luzeagoak eta tentsio egonkorragoak erakusten dituzte.

4. taulak erakusten ditu merkatuan agertzen diren bateria horien formatu eta tamaina desberdinak.

4. taula. Pila alkalino komertzialak.

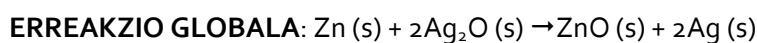
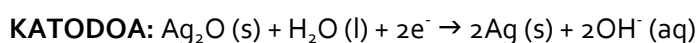
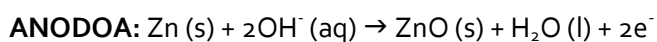
Tamaina (Ref. IEC)	Pisua (g.)	Tentsioa (V)	Kapazitatea (mAh)
Erabilera anitzeko zilindrikoak			
LR3 (AAA)	11	1.5	1100
LR6 (AA)	23.3	1.5	2700
LR14 (C)	63	1.5	7800
LR20 (D)	136	1.5	15800
Zelda anitzeko sistema prismatikoak			
3LR12	156	4.5	4400
6LR61	45	9	540
Botoi-pilak			
LR9	3.3	1.5	185
LR44	1.8	1.5	115
LR55	0.8	1.5	25

c) Zink-zilar oxido-pila

Elektrolito urtsu bat erabiltzen duten sistemak dira, eta energia altuenetariko bat eskaintzen duten bateriak. Hau da zeldaren eskema:



Eta honako erreakzio hauek gertatzen dira bertan:

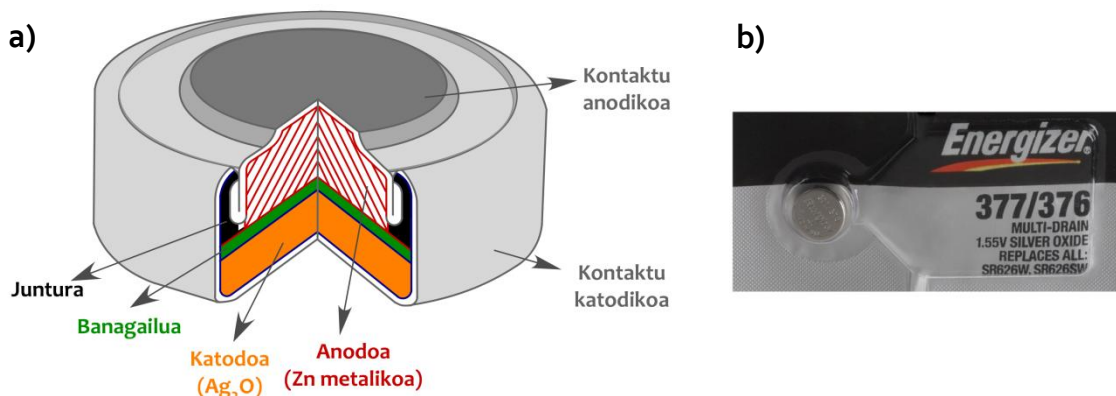


Ag_2O material katodikoa ez da naturan agertzen. Horregatik, laborategian prestatu behar da. Bi aukera daude katodo hori prestatzeko:

1. Tratamendu bikoitza. AgO monoxidoa bi errektibo erreduzitzaile erabiliz erreduzitzen da. Lehenengoa erreduzitzaile motela izaten da, metanola adibidez, eta bigarrena erreduzitzaile gogorra, hidrazina esaterako. Horrela, Ag_2O -z inguratuta eta kanpotik Ag filmaz estalita dagoen AgO pastilla bat lortzen da. Erdian dagoen zilar monoxidoak polarizazioa gutxiagotzen du, eta kontaktu elektrikoa errazten du gainazalean dagoen zilar metalikozko geruzak.
2. Zilar plunbatoa erabili. Plunbato hau AgO , Ag_2O , $\text{Ag}_5\text{Pb}_2\text{O}_6$ eta PbO konposatuen nahaste bat da, eta hori lortzeko PbS eta AgO nahasten dira NaOH beroa erabiliz.

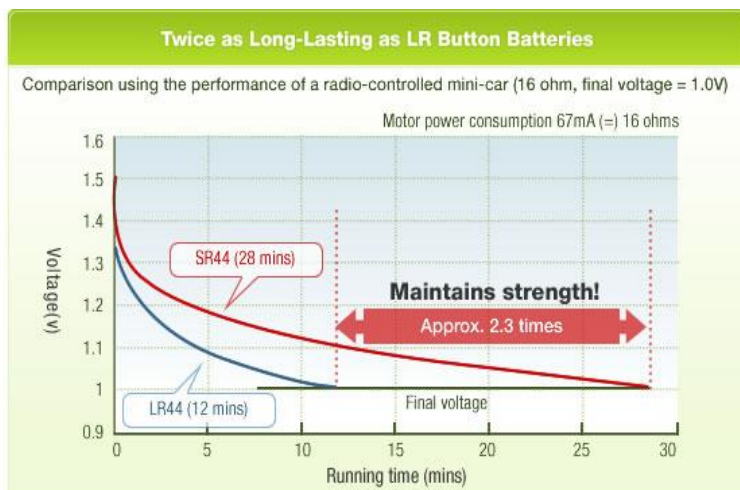
Material katodiko hori garestia denez, zilarrez eginda dagoelako eta ez delako prestatzeko erraza, pila horiek, normalean, botoi-pila formatuan agertzen dira merkatuan. Bateria horien pisuak nekez gaintzen ditu 2.5 g, eta pareko diseinu eta tamainako pila alkalinoek baino kapazitate altuagoak dituzte. Gainera, beste abantaila batzuk dituzte bateria horiek:

- Barne-erresistentzia txikia.
- Biltegitratzeko jokaera ona (urtebetez 21°C -tan gorde ondoren, kapazitatearen % 10 baino galera txikiagoa).
- Lan-tenperatura tarte handia.



17. irudia. a) Zink-zilar oxido pila botoi baten eskema eta b) merkaturan dagoen botoi-pila.

Bateria horien operazio-tentsioa 1.55 V da (ikus 18. irudia), eta 5. taulan agertzen diren formatuak daude merkatuan.



18. irudia. Zn-Ag₂O botoi-pilaren eta pila alkalinoaren arteko konparaketa. Ikusten denez, botoi-pilak (SR₄₄ formatua) tentsio handiagoa aurkezten du, eta denbora gehiagoz mantentzen da.

5. taula. Zink-zilar pilen formatuak merkatuan.

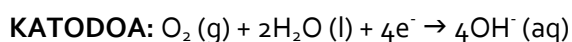
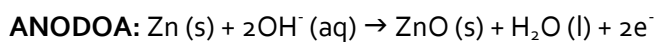
Tamaina (Ref. IEC)	Pisua (g)	Tentsioa (V)	Kapazitatea (mAh)
Botoi-pilak			
SR42	1.49	1.55	100
SR44	2.33	1.55	160
SR48	1.08	1.55	70
SR55	0.9	1.55	40
SR59	0.54	1.55	30
SR62	0.18	1.55	8

d) Zink-aire bateria

Bateria hauetan errektibo bat gas-egoeran dago eta, beraz, hibridotzat hartzen dira. Honako hau da zeldaren eskema:

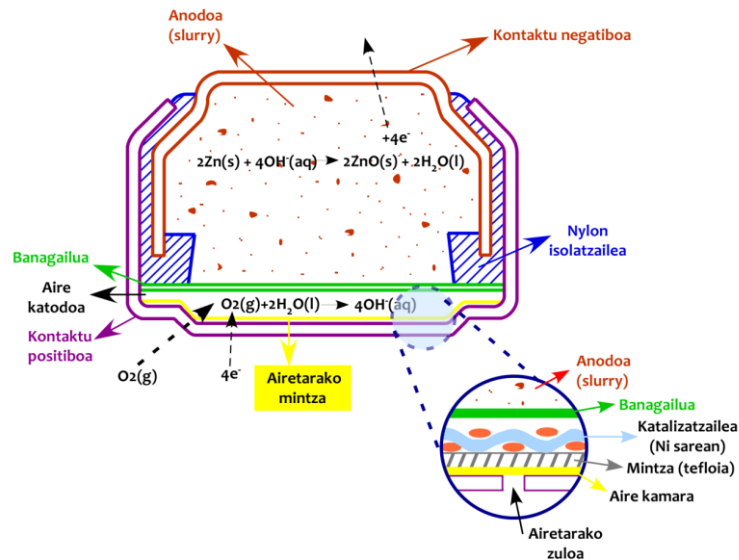


Eta honako erreazio hauek gertatzen dira (ikus 19. irudia):



ENERGIA-METAKETA: ERREDOX OREKATIK BATERIETARA

Zink-aire bateriek abantaila garrantzitsuak dituzte. Adibidez, katodoaren kapazitatea mugagabeaenez, energia-dentsitate altua eta inpedantzia baxua aurkezten dituzte. Gainera, katodoa aireaenez, desberdina da bateria horien diseinua. Elektrodo hori pilaren tapa batean kokatzen da, eta kanpoko karkasan zuloak behar dira airea bertatik pasatzeko (ikus 19. irudia).



19. irudia. Zink-aire botoi-pila baten eskema.

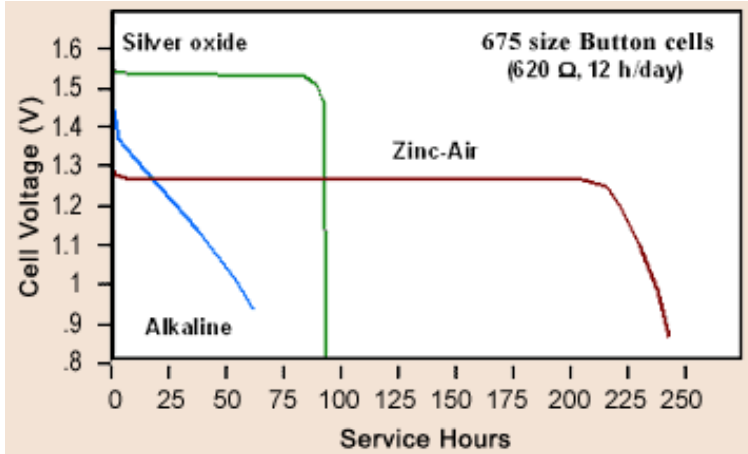
Karkasaren barnealdean, mintz porotsu eta aire-ganbera batzuk daude. Horrela, airea era homogeneoan banatzen da elektrodetik. Aire-ganbera gainean tefloizko xafla batzuk daude, eta ikatzez itsatsitako nikelzko sare bat dago horien gainean. Batería muntatuta dagoenean, itxi egiten dira airearentzako zuloak, erabiltzeko mementoa heldu arte. Batería horiek pisu txikia eta energia-dentsitate handia izaten dute eta, beraz, oso egokiak dira audifonoetan erabiltzeko, adibidez. 20. irudian ikus daitekeenez, markaren arabera desberdinak dira pila horiek erabiltzen dituzten airerako zuloak.



20. irudia. Zn-aire baterietako marka desberdinen zulo-diseinuak.

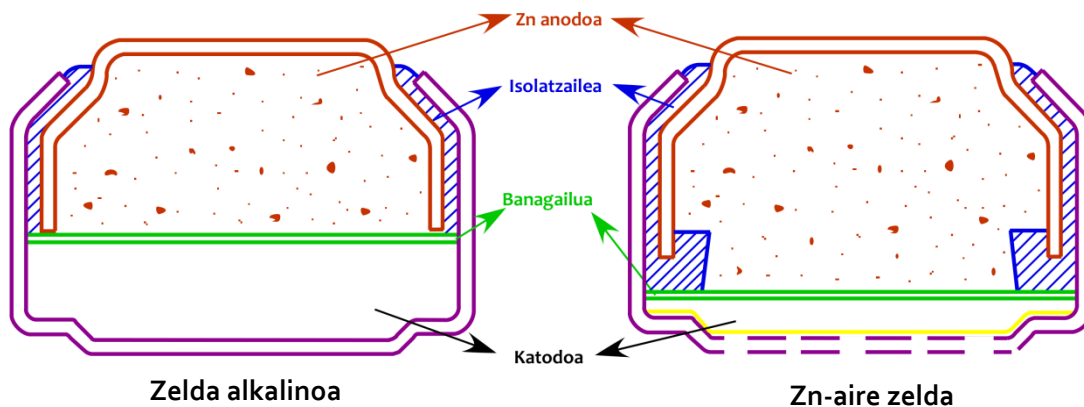
ENERGIA-METAKETA: ERREDOX OREKATIK BATERIETARA

21. irudian erakusten da bateria horien jokabide elektrokimikoa, non deskarga-kurbek 1.3 V-tan oso profil laua aurkezten baitute. Zerbitzu-orduak pasatu eta gero, tentsioa jaitsi egiten da. Anodoan dagoen Zn kopuruaren arabera izango dira zerbitzu-orduak.



21. irudia. Zn-aire, Zn-Ag₂O eta pila alkalino baten deskarga-kurbak.

Bateria horiek, Zn-zilar oxido edo pila alkalinoekin konparatuta, zerbitzu-ordu gehiago ematen dituzte, Zn-anodoa normalean baino handiagoa izaten delako. Hau da, aire-katodoa oso fina denez, leku gehiago geratzen da anodoarekin betetzeko. 22. irudian ikus daitezke konparaketa hori.



22. irudia. Zelda alkalino eta Zn-aire zelda baten arteko konparaketa (botoi-pila formatuan).

Zn-aire bateriak botoi-pila formatuan aurkezten dira soilik, eta oso kapazitate handia eskaintzen dute. 6. taulan ikus daitezke botoi-pila ezberdinen ezaugarri batzuk.

6. taula. Zn-aire botoi-pilen ezaugarri nagusiak.

Tamaina (Ref. IEC)	Pisua (g)	Tentsioa (V)	Kapazitatea (mAh)	
Botoi-pilak				
PR41	675	0.85	1.4	120
PR44	312	1.85	1.4	540
PR48	13	0.83	1.4	230
PR70	10	0.3	1.4	60

e) Litio-bateriak

Atal honetan agertzen diren bateria guztiek litio metalikozko anodoa daukate. Li metalikoak anodo izateko aproposak diren bi ezaugarri aurkezten ditu:

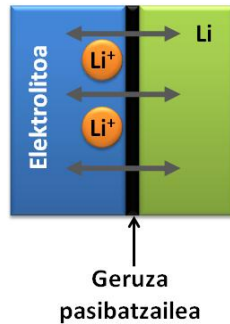
1. Taula periodikoan dagoen metalik arinena da. Hau da, 6.94 g/mol da bere pisu atomikoa.
2. Oxidazio-potentzial altua aurkezten du ($E^{\circ} = 3.045 \text{ V}$).

Bi propietate horiei esker, Li metalikoa erabiltzean energia kopuru handiagoa metatzeko gai diren zeldak lor daitezke. Hala ere, Li metalikoaren erabilerak baditu desabantailak ere. Besteak beste:

- Li-aren oxidazioak elektroli bakar bat askatzen du kanpo-zirkuitura.
- Li metalikoak oso erraz erreazionatzen du urarekin, eta, beraz, ezin dira elektrolito urtsuak erabili. Horrela, azken arazo horri aurre egiteko, honako hauek dira ikerketa-prozesuan dauden elektrolitoak:
 - Li-ko gatz disoluzio organikoak (aukera nagusia).
 - Li-ko gatz urtuak (tenperatura altuak behar dira).
 - Eroale ionikoak diren polimeroak (Li-ko bateria polimerikoak).
 - Eroale ionikoak diren material zeramikoak (orain arte ez da material egokirik aurkitu).

Li-ko gatz disoluzioak dira, disolbatzaile organiko polarretan, Li baterietan gehien erabiltzen diren elektrolitoak. Hala ere, litio metalikoa ez da oso egonkorra disolbatzaile organikoetan, baina horren azalean sortzen den geruza pasibatzaile bati esker, erabil daitezke disolbatzaile

horiek. Geruza horrek litioa babesten du autodeskargatik eta, gainera, hori oso fina denez, baxua da bere barne-erresistentzia.

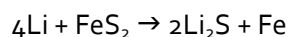


23. irudia. Li-ren azalean agertzen den geruza pasibatzailea eta bere funtzioa.

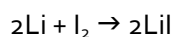
Li metalikoarekin (anodoa) erabiliko den elektrolitoak eroankortasun ioniko altua izan behar du; normalean, elektrolito organikoek urtsuek baino eroankortasun txikiagoa erakutsiko dute ($\text{ZnCl}_2(\text{aq})$, $\text{KOH}(\text{aq})$, $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})\dots$). Gainera, kontuan eduki behar diren ezaugarriak dira elektrolitoaren fusio- eta irakite-puntuak, biskositatea eta katodoarekin bateragarritasuna ere. Bestalde, erabiliko den disolbatzaileak ezin du urik eduki eta erabiliko den gatzak oso disolbagarria izan behar du aukeratutako disolbatzailean, ahalik eta eroankortasun ioniko handiena lortzeko. Oro har, gehien erabiltzen diren elektrolitoak disoluzio hauek dira: LiPF_6 gatza dimetil karbonatotan (DMC) edo dimetoxietanotan (DME).

Bestalde, honako hauek dira Li bateria primario horietan gehien erabiltzen diren elektrodo positiboak:

- MnO_2 (bateriak ~ 3 V aurkezten ditu). Deskarga-kurba oso laua dauka eta autodeskarga baxua aurkezten du. Botoi-pila formatuan saltzen da eta tenperatura-tarte zabalean egiten du lan. Deskarga-erreakzioan, LiMnO_2 ekoizten da.
- CF_x grafito fluoruro mota bat da (bateriak ~ 3 V aurkezten ditu).
- FeS_2 : bateriak 1.5 V-ko tentsioa aurkezten duenez, pila alkalinoen ordeztu daiteke. Izan ere, pila alkalinoek baino energia handiagoa ekoizten dute. Katodoan erabiltzen den materiala, burdin disulfuroa, oso mineral arrunta da, pirita, eta honako erreakzio hau gertatzen da deskarga-prozesuan:

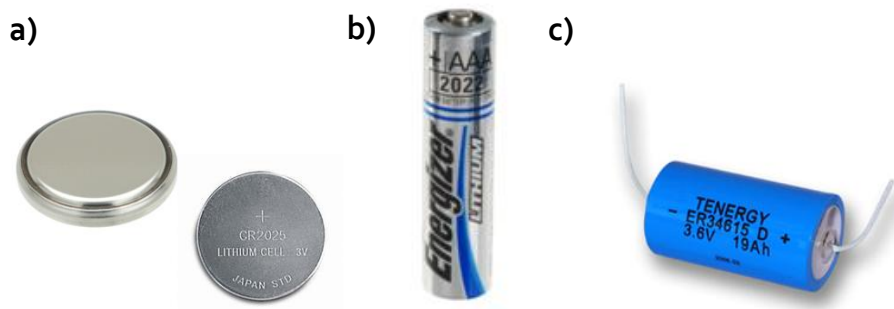


- CuO : bateriak 1.5 V aurkezten ditu, baita ere, eta pila alkalinoen ordeztu daiteke.
- I_2 : 2.8 V-ko zelda osatzen du, eta honako erreakzio hau gertatzen da deskarga-prozesuan:



- SOCl_2 (katodo likidoa).
- SO_2 (katodo likidoa).

Litio-bateriak formatu desberdinetan aurki daitezke merkatuan, eta formatu bakoitzak bere abantailak eta desabantailak dauzka. Adibidez, botoi-zeldek gainazal handiko elektrodoak dituzte, eta txikia da horien arteko distantzia. Horrela, txikiagotu egiten da elektrolitoaren eroankortasun-muga efektua. Zilindrikoak diren litio-bateria klasikoak ere badaude, eta diseinu hermetiko berezia behar dute katodoa likidoa dutenek. Hiru formatu horiek agertzen dira 24. irudian.



24. irudia. Litio-baterien formatuak. a) botoi-pila, b) pila zilindrikoa eta c) katodo likidoa duten bateriak.

f) Itsasoko urak aktibatutako bateriak (erreserba-zeldak)

Bateria hauek magnesiozko anodo bat daramate, eta itsasoko ura erabiltzen dute elektrolito bezala. Biltegitratzean, elektrolito gabe eraikitzen dira bateriak magnesioaren eta elektrolitoaren arteko kontaktua saihesteko. Horrela, itsasoko urekin kontaktuan jartzean hasten da haien funtzionamendua.

Honako hauek dira bateria horien aplikazio aipagarrienak:

- Salbamendu-jaka eta txalupak.
- Seinalatzeko buiak.
- Ekipo ozeanografikoak.
- Propulsio-torpedoak.



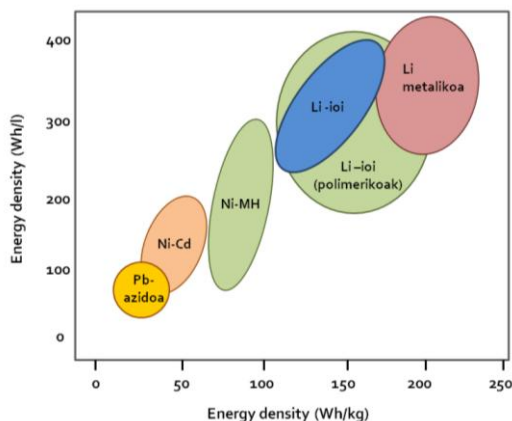
25. irudia. Itsas urak aktibatutako baterien aplikazio batzuk.

4.2. Bateria sekundarioak

Lehen esan den bezala, bateria sekundarioak dira behin eta berriro karga eta deskarga daitezkeen bateriak, eta bateria primarioena baino luzeagoa da horien balio-bizitza. Honako taula honetan biltzen dira bateria sekundario baten betebeharrak.

- Tentsio-lautada egonkorra deskarga osoa bete arte.
- Kapazitate espezifikoa (Ah/kg) eta energia-dentsitate (Wh/dm³) altuak.
- Potentzia grabimetriko (W/kg) eta bolumetriko (W/dm³) onak.
- Funtzionamendu-tenperatura tarte zabala.
- Energia-eraginkortasun handia.
- Ziklabilitate luzea.
- Azkar kargatzeko ahalmena.
- Autodeskarga baxua.
- Gainkargaren eta gaindeskargaren aurreko egonkortasuna.
- Fidagarritasuna.
- Mantentze-lan gutxi.
- Erabilera normala eta, istripu kasuan, segurtasuna.
- Osagai merke, ugari eta ez-kutsakorrez eginda egotea, eta birziklatzeko aproposa izatea.

Erabileraren arabera, betebeharrak batzuk besteak baino garrantzitsuagoak izango dira. Hau da, gure telefono mugikorraren bateriak kapazitate espezifikoa altua, pisu baxua eta balio-bizitza luzea izan beharko lituzke. Metaketa geldikorrean erabiltzeko, aldiz, parke eoliko batean soberan dagoen energia metatzeko adibidez, baterien pisua eta bolumena ez dira hain garrantzitsuak, bateriak lur azpian edo eraikin baten barruan egon daitezkeelako. Bateria bakoitzaren ezaugarriak kimikaren arabera izango dira; 26. irudian erakusten da bateria sekundario nagusien sailkapena energia-dentsitatearen arabera (grabimetrikoa eta bolumetrikoa).



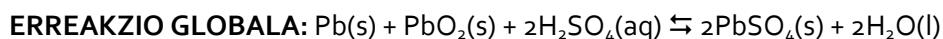
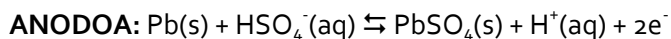
26. irudia. Bateria sekundario nagusiak, haien energia-dentsitatearen arabera sailkatuak.

a) Berun-azido bateria

Bateria sekundariorik ezagunena da, XIX. mendetik erabiltzen da, eta ibilgailu-industrian dago bere erabilera nagusia. Honako hau da berun-azido bateria baten eskema:



Eta honako erreakzio hauek gertatzen dira elektrodoetan:



Bideo-linka

[Berun-azido bateria sekundarioaren funtzionamendua \(ingelesez\)](#)

Anodoaren material aktiboa berun metalikozko kristal azikularrez eginda dago. Kristal horiek eroankortasun elektriko ona dute, eta itxura azikularrari esker azalera handia aurkezten dute, erreakzio kimikoa hobetuz. Hala ere, erabilera luzeek esfera-forma eta tamaina handia duten kristalak eragiten dituzte. Gainera, kristalen itxura horrek anodoaren pasibazioa errazten du, PbSO_4 solido-eraketa itzulezinaren ondorioz. Pasibazio hori saihesteko, honako gehigarri hauek erabiltzen dira (%1 pisuan):

- Hedatzaileak: azido ligno-sulfonikoaren deribatuak dira; berun metalikoko gainazal-tentsioa gutxiagotzen dute.
- BaSO_4 : konposatu hau PbSO_4 rekin isomorfikoa da; horrek PbSO_4 geruza porotsu bat eratzea lortzen du, anodoaren pasibazioa gutxituz.

Bestalde, katodoaren material aktiboa PbO_2 da. Oxido horrek bi polimorfo aurkezten ditu: α (ronboedrikoa) eta β (tetragonala) formak. Bateriaren funtzionamendua ona izateko β -polimorfoa erabili behar da, eta termodinamikoki egonkorrena eta ugariena da hori.

Gainera, katodoak porotsua izan behar du, bi faktore hauek direla-eta:

- Elektrolito likido eta katodo solidoaren arteko kontaktua ahalik eta onena izateko. Era horretan lortzen den korrante elektriko dentsitatea ona da. Adibidez, ibilgailu baten bateria tipiko batean, 50-150 m^2/Ah tartean dago katodoaren gainazala.
- Erreakzioan sortzen den PbSO_4 solidoak PbO_2 -ak baino bolumen handiagoa dauka eta, beraz, katodoaren espantsioak elektrodoa hondatuko luke poro hutsik gabe.

Bi elektrodoen material aktiboa pasta moduan prestatzen da, berun metaliko hautsa (% 40 baino gehiago izaten da), berun oxido hautsa, ura eta azido sulfurikoarekin nahastuz. Pasta hori sare batean mantentzen da. Bi elektrodoen konposizioa berdina denez, beharrezkoa da

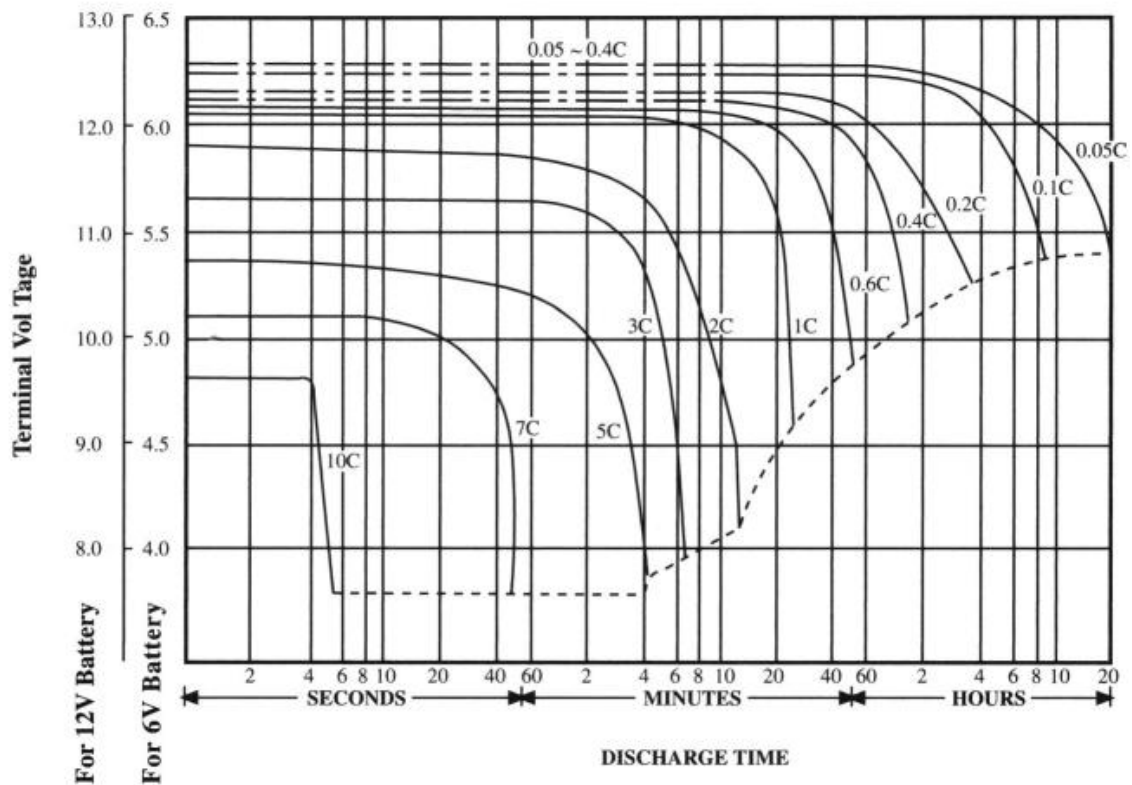
ENERGIA-METAKETA: ERREDOX OREKATIK BATERIETARA

hasierako karga-prozesua berun oxidoaren kontzentrazioa katodoan handiagotzeko eta berun metaliko proportzioa anodoan handitzeko. Bateriak funtzionamendu normala aurkezten du formazio ziklo horretatik aurrera.

Elektrodoak mantentzeko erabiltzen diren sareak berunezkoak izaten dira, baina gehigarri batzuk gehitzen dira propietate mekanikoak hobetu eta korrosioari aurre egiteko. Gehigarriak Sb, As, Ca eta Sn izaten dira.

Elektrolitoa azido sulfuriko eta ur nahasketa bat izaten da (normalean, H_2SO_4 % 40 pisuan erresistentzia elektriko baxua ziurtatzeko). Elektrolitoa azidoa denez, bateriaren ontzia plastikozkoa izaten da. Gainera, deskarga-prozesuan elektrolitoa kontsumitzen denez, elektrolitoaren dentsitatea kontrolatuz bateriaren karga-egoera jakin daiteke.

27. irudian erakusten da berun-azido bateria baten deskarga-prozesua, deskarga-abiadura desberdinak erabiliz.



27. irudia. Berun-azido bateria baten deskarga-kurbak, korrante elektriko desberdinak erabiliz.

Irudi honetan, erabiltzen den korrontearen menpe daudela ikus daiteke bateriaren kapazitatea eta lan-tentsioa, eta polarizazioak eragin handia dauka azken parametro horretan.



Ba al zenekien?

Historian 100 km/h abiadura-muga gainditu zuen lehenengo autoa elektrikoa zen, eta berun-azido bateriak erabiltzen zituen. 100km/h-ko abiadura-muga 1899an gainditu zen Yvelines herrian, Parisetik gertu. Autoak, torpedo itxurarekin, «Le jamais contente» zeukan izena («Asegabea») eta gidariaren emazteari eskainia omen zegoen. Camille Jenatzy-ri, autoaren gidariari, abiadura-errekorrak gainditzea gustatzen zitzaion eta, ilegorria zenez, «deabru gorria» esaten zioten.



Bideo-linka

[Le Jamais Contente](#)

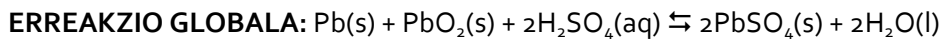
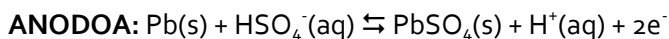
b) Ni-Cd bateria

Bateria hauek oso erabiliak izan dira iraganean, telebistaren urrutiko agintean edo autoen larrialdi-argietan adibidez (ikus 28. irudia), baina gaur egun ez dira ia erabiltzen duten memoria-efektuagatik eta kadmioa oso toxikoa delako.

Honako hau da bateria horien eskema:



Eta honako hauek dira zeldan gertatzen diren erreakzio kimikoak:



Baldintza estandarretan, 1.3 V-koa da bateria horien tentsioa.



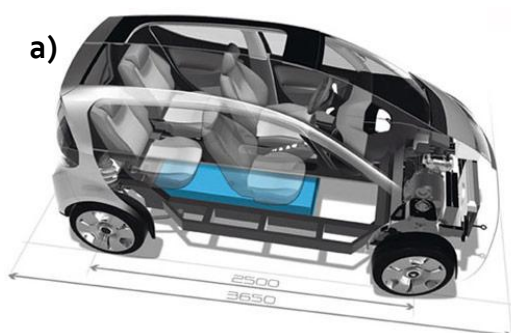
28. irudia. Ni-Cd pilen aplikazio batzuk.

c) Litio-bateriak

Li bateria primarioetan aurkeztu den moduan, litio metalikoa oso aukera interesgarria da anodoan erabiltzeko, bereziki, duen pisu baxu eta oxidazio potentzial altuagatik. Hala ere, oso errektiboa denez, Li metalikoz egindako zeldak atmosfera lehorrean prestatu behar dira, eta zelda horietan erabiltzen diren elektrolitoak ezin dira urtsuak izan. Esaterako, LiPF_6 dimetoxietano edo dimetilo karbonatoan disolbatutako gatza da gehien erabiltzen den elektriloetako bat. Li bateria sekundarioetan, elektrolitoan dauden Li^+ ioiak erreduzitu eta Li metaliko gisa ezartzen dira elektrodo negatiboan kargan zehar. Hala ere, fenomeno hori ez da uniformeki gertatzen, eta, Li metalikoa ezartzean, dendrita izeneko «adar» batzuk eratzen dira anodoaren azalean. Horrela, dendrita horiek zeldaren bereizgailua apur dezakete, eta zirkuitulabur bat eragin. Litio metalikoaren beste arazo bat da elektrolitoarekiko duen ezegonkortasuna. Li bateria primarioetan sortzen den pasibazio-geruza desegin egiten da deskarga bukatzean, baina bateria sekundarioetan berriro eratu behar da kargatzean. Li metala etengabe ezartzeak pasibazio-geruza eratzea sustatzen du, baina prozesu horretan material aktiboa galtzen da eta, gainera, gehiegizko beroketa eta su-arriskua sortzen dira.

Li metalikoaren errektibotasun handiak segurtasun-arazoak sortzen dituzenez, Li bateria sekundarioak ez dira elektrolito likidoekin erabiltzen, elektrolito solidoekin baizik; adibidez, eroale ionikoak diren polimeroekin.

Bateria horien aplikaziorik garrantzitsuena Parisen dagoen Autolib auto-sarea da. Paris eta *Île-de-France* zonaldeetan alokatzen diren auto elektriko sare bat da hori. Programa honen helburua hiriko zirkulazioa iraunkorragoa izatea denez, auto horiek guztiz elektrikoak dira eta edonork erabil ditzake arrazoizko prezioan, txartel baten bidez. Hirian zehar banatuta daude haiantzako aparkaleku bereziak, entxufeekin hornituta. 29. irudian agertzen dira Autolib auto baten eskema eta argazkia.



29. irudia. a) Autolib baten eskema eta b) Autolib bat Pariseko kale batean kargatzen.

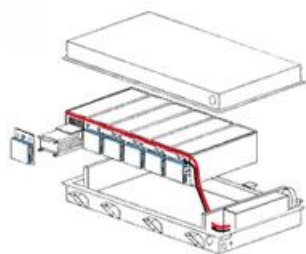
Autolib autoaren ezaugarri nagusiak jasotzen dira honako taula honetan:

7. taula. Autolib autoaren ezaugarri nagusiak.

Tamaina eta pisua	
Luzera	3.65 m
Zabalera	1.70 m
Altuera	1.61 m
Maletategiko bolumena	350 dm ³
Pisua	1120 kg
Motorizazioa eta bateria	
Potentzia maximoa	50 kW
Potentzia nominala	35 kW
Bateria	BatScap Litio Metal Polimerikoa 30 kW
Funtzionamendua	
Abiadura maximoa	130 km/h (elektronikoki mugatuta)
Azelerazioa	0 km/h-tik 60 km/h-ra 6.3 segundoan pasatzen da
Autonomia	
Hirian	250 km
Hiritik kanpo	150 km

Garraio-sistema berri honen helburu nagusia da CO₂ igorpenak % 20an gutxiagotzea. Gainera, ibilgailu horiek ez dute atmosferara partikularik askatzen. Bestalde, 3000 Autolib programaren bidez, etorkizunean 22.500 ibilgailu pribatu gutxiago egongo direla kalkulatu da. Horrela, CO₂ kopurua gutxitzeaz gain, trafiko-arazo ugari ere konponduko lirateke.

Lehen esan bezala, auto horien bateriaren osagai guztiak (elektrodoak eta elektrolitoa) solidoak dira, Li metalikoak sor ditzakeen segurtasun-arazoak saihesteko. 30. irudian agertzen dira Autolib-ek erabiltzen dituen bateria baten eskema eta argazkia.



30. irudia. Autolib-ek erabiltzen duen bateria (LMP, Lithium Metal Polymer).

Autolib proiektua berritzailea da munduan, eta horren helburua da etorkizunean garraio mota horretan oinarritutako hiriak eraikitzea.

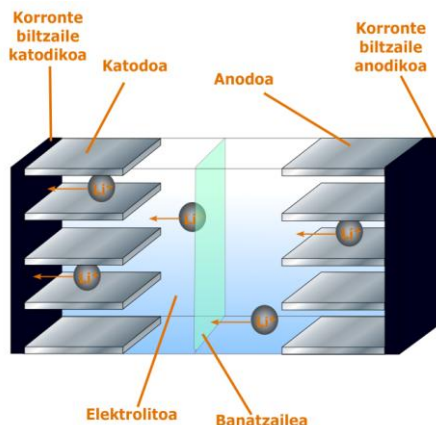


Bideo-linka

[Kotxe elektriko eta hibridoaren funtzionamendua \(ingelesez\)](#)

d) Litio-ioi bateriak

Litio-ioi baterietan erabiltzen diren anodoa eta katodoa tartekatze-konposatuak dira. Hau da, elektrodoak osatzen dituzten materialak gai dira Li^+ ioiak ateratzeko eta tartekatzeko. Horrela, Li^+ ioiak elektrodo batetik bestera mugitzen dira, kulunkaulki batean bezala. Horregatik «kulunkaulki-bateriak» edo «*rocking chair batteries*» esaten zaie. Era horretan, Li metalikoaren arazoak saihesten dira, baina, horrelako zelda batek tentsio erabilgarria izateko, handia izan behar da bi elektrodoen arteko egonkortasun-tentsio aldea.



31. irudia. Kulunkaulki-bateria baten eskema. Ikusten den bezala, bai katodoa, bai anodoa gai dira Li^+ ioiak ateratzeko edo tartekatzeko.

Normalean, ikatza izaten da gehien erabiltzen den anodo material aktiboa, bai grafito moduan, bai karbono amorfo moduan (petrolio-kokeak). Grafitoak tartekatze-propietateak aurkezten ditu, hau da, grafito orrien artean sar daitezke espezie emailleak edo espezie hartzaileak.

Lor daitekeen litio-konposiziorik ugariena LiC_6 da, hau da, litio atomo bat karbono hexagono bakoitzeko, eta honako erreakzio hau gertatzen da: $x\text{Li} + \text{C}_6 \rightarrow \text{Li}_x\text{C}_6$ ($x \approx 1$)

Hala ere, gertatzen den lehenengo erreakzioa erreakzio kimiko itzulezina da, eta 0.8 V-tan aurkezten da hori. Uste denez, erreakzio itzulezin horrek geruza pasibatzaile baten sorrerarekin dauka zerikusia. Geruza horri SEI deritzo (*Solid Electrolyte Interfase*) eta karbono, litio eta elektroitoaren arteko erreakzioaren ondorioz gertatzen da. SEIk honako ezaugarri hauek aurkezten ditu:

- Ioi eroalea da.
- Elektroiz eroalea edo isolatzailea da.
- Karbonoaren azalera babesten du beste erreakziorik gerta ez dadin.



ADI!!

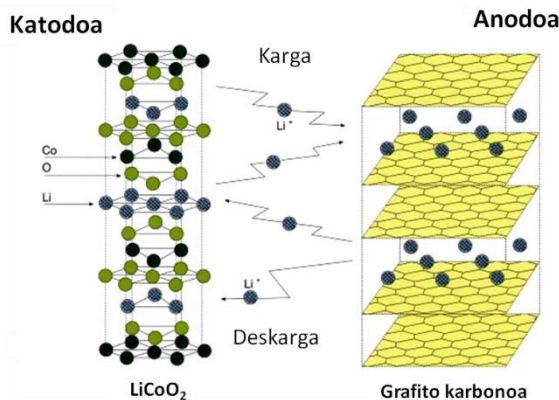
Bateria eraikitzeke mementoan, kontuan eduki behar da **SEIa** sortzeko kontsumitzen den **material katodikoa**.

Bestalde, katodoaren kasuan, LiCoO_2 konposatua izan da bateria komertzialetan gehien erabili den material aktiboa. Materiala deskargatua dago (erreduzitua) hasierako egoeran, eta honako erreakzio hau gertatzen da: $\text{LiCoO}_2 \rightarrow \text{Li}_{0.55}\text{CoO}_2 + 0.45\text{Li}^+ + 0.45\text{e}^-$

Erreakzio honetan, gehienez mugi daitekeen litio-ioi kopurua 0.45Li^+ da, bestela apurtu egingo litzatekeelako konposatuaren tartekatze-estruturara. Hori ekiditeko, bateria ez litzateke 4.2V -tik gora kargatu behar.

LiCoO_2 eta grafitoz osaturiko bateria batek (LiPF_6 gatza elektrolito organiko batean disolbatua) 3.7V -eko tentsioa ematen du, eta 32 . irudian ikus daiteke horren funtzionamendua.

LiCoO_2 konposatua oso eroalea ez denez, beharrezkoa da karbonoarekin nahastea, eta aglutinatzaile edo *binder* bat erabiltzen da nahasketa ondo trinkotu dadin (polimero bat normalean).



32. irudia. LiCoO_2 -grafito karbonoz osaturiko kulunkaulki-bateria baten eskema.

Orain arte, grafito anodoa eta LiCoO_2 katodoa izan dira mugikorretan edota ordenagailu eramangarrietan gehien erabili izan diren bateriak; baina, gaur egun, beste material batzuk ari dira ikertzen energia metatzeko gaitasun handiagoa, potentzia energetiko gehiago, kostu baxuagoa eta bateriaren iraupen luzeagoa lortzeko asmoz. Horrela, anodoaren kasuan, titanio oxidoak, litio aleazioak edota konbertsio anodoak ikertzen ari dira. Katodoaren kasuan, aldiz, kobaltoa erabiltzen uzteko asmoz, ikertzen ari dira toxikoak ez diren metalekin egindako konposatuak, adibidez, LiMn_2O_4 -a edo LiFePO_4 -a. Material horiek guztiek etorkizun handikoak dirudite, baina oraindik desabantaila garrantzitsuak dituzte.

Horretaz aparte, interesgarria litzateke, baita ere, elektrolito organikoaren erabilera gutxitzea, horien egonkortasun-tentsio tarte estua, sukotasun altua eta toxikotasuna direla eta. Horretarako, mintz polimeriko inerteen erabilera ikertzen ari da, eta baita likido ionikoena ere.



Bideo-linka

[Li-ioi bateria sekundario baten deskarga- eta karga-prozesua \(ingelesez\)](#)

e) Litio-polimeroa

Li-polimero bateriak modu laburtu honetan ere ezagutu daitezke: Li-poly, Li-Pol, LiPo, LiP edo PLI. Horiek ere litio-ioi bateriak dira, baina kasu honetan erabiltzen duten elektrolitoa ez da disolbatzaile organiko bat, baizik eta material polimeriko bat.

Polimeroen eroankortasun ionikoa zona ez-kristalinoetan gertatzen da soilik; beraz, beharrezkoa da kristalinitatea baxua izatea. Horretarako, adar monomeroak edo kopolimeroak erabiltzen dira.

Honako hauek dira litio-polimero baterien abantaila aipagarrienetako batzuk:

- Elektrolito geruza oso finak lor daitezke polimeroekin eta, ondorioz, mikrobateriak eta bateria malguagoak lor daitezke.
- Elektrolitoaren lodiera txikiagoek ioien difusio-distantziak murrizten dituzte, eta, horrela, zertxobait hobetu egiten da polimeroen eroankortasun baxua.
- Elektrolitoa likidoa ez denez, ez dago karkasa metaliko baten beharrik, eta, beraz, bateriak arinagoak dira eta forma desberdinak har ditzakete.
- Bateria polimerikoen energia-dentsitatea gaur egungo litio-ioi bateriena baino % 20 handiagoa da.



ADII!!

- **Litio-bateriek** litio metala erabiltzen dute anodoan.
- **Litio-ioi** bateriek litioa daraman katodo bat daramate, eta litio-ioia da katodotik anodora doan espeziea.
- **Litio-polimero** baterietan, katodoa litioa daraman konposatu da baita ere, baina kasu honetan elektrolitoa polimero solido bat da (normalean, likido ez-organiko bat izaten da).

f) Ikertzen ari diren bateria berriak

Honako bateria hauek oraindik garapen fasean daude, baina momentuz emaitza interesgarriak lortzen ari dira laborategi-mailan.

1. Li-aire bateriak

Elektrolito organiko edo urtsu bat erabil dezakete. Organikoen kasuan, egonkortasun, eroankortasun eta lurrunkortasunarekin arazoak agertzen dira, eta elektrodoek desabantaila batzuk aurkezten dituzte. Anodoa litio metalikoa denez, dendrita-arazoak izaten ditu; katodoan, aldiz, mintz baten beharra dago oxigeno ez diren konposatuak airetik separatzeko. Elektrolito urtsuen kasuan, segurtasun-neurriak handitu egin behar dira litio metalikoaren eta uraren arteko kontaktua saihesteko.

2. Li-S bateriak

Kasu honetan, airearen ordean sufrea erabiliko litzateke katodo. Sufrea merkea eta ugaria da, baina arazoak ere badakartza; adibidez, Li_2S ezartzea anodoan, edota sufreakin eroankortasun elektroniko baxua katodoan. Teorian, energia metatzeko kapazitate handia daukaten bateriak dira.

3. Na-S bateriak

Litioa baino ugariagoa eta merkeagoa da sodioa. Hala ere, kasu honetan, bateriaren materialak urtuak daude, eta, horretarako, 250 °C inguruko tenperaturak behar dira. Horrek kostuak igotzen ditu, eta garrantzitsuak dira kontuan eduki beharreko segurtasun-neurriak ere.

4. Na-MCl₂ bateriak

Bateria hauek Hego Afrikan asmatu ziren eta *ZEBRA (Zero Emission Battery Research Activities)* izenarekin ezagutzen dira. Na-S baterien antzekoak dira, eta, oro har, metala (M) nikela izaten da. Hala ere, ez dirudi oso etorkizun handikoak direnik.

5. Erredox fluxuzko bateriak

Bateria hauetan, mintz batez bananduak dauden bi elektrolito nabari dira. Elektrolito bakoitzak *erredox* bikote disolbagarri bat dauka, eta mintz-ioiak selektiboki bereizten ditu. *Erredox* fluxuzko bateriarik ezagunenak banadiozkoak dira. $\text{V}^{+2}/\text{V}^{+3}$ bikotea anolotik mugitzen da, eta $\text{V}^{+4}/\text{V}^{+5}$ bikotea, aldiz, katolotik. *Erredox* fluxuzko bateriek desabantaila ugari izaten dituzte, bereziki, likidua mugitzeko behar diren ponpekin eta mintzarekin erlazionatuak.

6. Sodio eta sodio-ioi bateriak

Sodio metaliko eta sodio-ioi baterien funtzionamendua teorikoki litio metaliko eta litio-ioi baterien antzekoa da, hurrenez hurren. Hala ere, sodioaren tamaina litioarena baino handiagoa da, eta, beraz, diferentzia ugari nabari dira erreakzio eta estruktura aldetik. Hala ere, sodioa litioa baino ugariagoa eta merkeagoa da, eta, gaur egun, baterien ikerkuntzaren foku garrantzitsuenetako bihurtu da. Material hauen helburu nagusia da, sodio-ioiena batez ere, energia-metaketa geldikorra, ezin baitute lehiatu gailu elektronikoetan erabiltzen diren litio-ioi bateriekin.



ARIKETAK

1. Doitu honako erreakzio hau: $\text{Cu} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NO} + \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$

Erantzuna: $3\text{Cu} + 8\text{HNO}_3 \rightarrow 2\text{NO} + 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{H}_2\text{O}$

2. Doitu honako erreakzio hau: $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NaI} \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} + \text{I}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4$

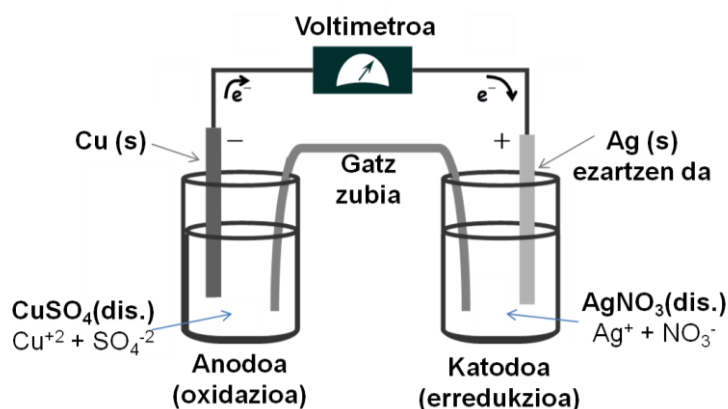
Erantzuna: $5\text{H}_2\text{SO}_4 + 8\text{NaI} \rightarrow \text{H}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O} + 4\text{I}_2 + 4\text{Na}_2\text{SO}_4$

3. Marraztu honako pila voltaiko hau: kobrezko eta zilarrezko elektrodoak CuSO_4 eta AgNO_3 disoluzioetan murgilduta, hurrenez hurren. Jakina da kobrezko elektrodoa anodoa dela.

3.1. Idatz itzazu elektrodoetako erdi erreakzioak eta pilaren erreakzio osoa, eta adierazi elektroli-fluxua.

3.2. Idatzi pilaren notazio laburtua.

Erantzuna: 3.1. Anodoa (oxidazioa): $\text{Cu}(\text{s}) \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$, Katodoa (erredukzioa): $\text{Ag}^+ + 1\text{e}^- \rightarrow \text{Ag}(\text{s})$, Erreakzio globala: $\text{Cu}(\text{s}) + 2\text{Ag}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{Ag}(\text{s})$. Elektroliak anodotik katodora doaz. 3.2. $\text{Cu}/\text{Cu}^{2+} // \text{Ag}^+/\text{Ag}$.



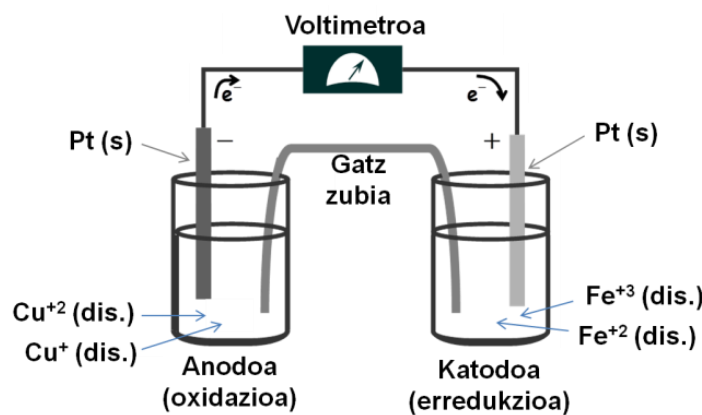
4. Pila bat eratzen dugu platinozko bi elektrodo disoluzio bitan sartuz 298 K-tan. Lehenengoa Cu^{2+} eta Cu^+ ioiekin eratuta dago, eta bigarrena Fe^{3+} eta Fe^{2+} ioiekin.

4.1. Marraztu pilaren eskema eta idatzi ematen diren erreakzioak eta potentzialaren balioa egoera estandarrean.

4.2. Lortu pilaren potentzialaren balioa, ioien kontzentrazioak honako hauek badira:

$$[\text{Cu}^{2+}] = 10^{-2} \text{M}; [\text{Cu}^+] = 5 \times 10^{-3} \text{M}; [\text{Fe}^{3+}] = 2,5 \times 10^{-3} \text{M}; [\text{Fe}^{2+}] = 5,5 \times 10^{-3} \text{M}$$

Erantzuna: 4.1. Katodoa (erredukzioa): $\text{Fe}^{3+} + 1\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$, Anodoa (oxidazioa): $\text{Cu}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 1\text{e}^-$, Erreak. globala: $\text{Fe}^{3+} + \text{Cu}^+ \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{Cu}^{2+}$, $E^0 = 0,62 \text{ V}$. 4.2. $E = 0,58 \text{ V}$.



5. Honako pila voltaiko honetan:

5.1. Kalkulatu $\text{Zn}/\text{Zn}^{2+} // \text{Ag}^+/\text{Ag}$ zeldaula elektrokimikoaren indar elektromotriz estandarra.

5.2. Suposatu Zn/Zn^{2+} erdi zeldan zink ioiaren kontzentrazioa 1M dela, eta zeldaren indar elektromotriz 1,21 V dela; temperatura, berriz, 25 °C. Zein izango da zilar ioiaren kontzentrazioa Ag^+/Ag erdi zeldan?

Erantzuna: 5.1. $E^0 = 1,56 \text{ V}$ 5.2. $1,17 \times 10^{-6} \text{ M}$

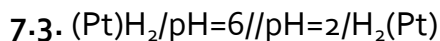
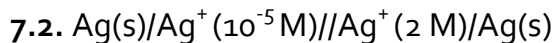
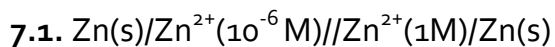
6. Pila honetarako: $\text{Mg}(\text{s})/\text{Mg}^{2+}(10^{-2} \text{ M}) // \text{Ag}^+(10^{-2} \text{ M})/\text{Ag}(\text{s})$

6.1. Idatzi elektrodo biei dagozkien erdi erreakzioak eta pilaren erreakzio globala.

6.2. Kalkulatu elektrodo bakoitzaren potentziala eta pilaren indar elektromotriz.

Erantzuna: 6.1. Katodoa (erredukzioa): $\text{Ag}^+ + 1\text{e}^- \rightarrow \text{Ag}(\text{s})$, Anodoa (oxidazioa): $\text{Mg}(\text{s}) \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$, Erreakzio globala: $\text{Mg}(\text{s}) + 2\text{Ag}^+ \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{Ag}(\text{s})$ 6.2. $E(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0,68 \text{ V}$, $E(\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}) = -2,43 \text{ V}$, $E(\text{pila}) = 3,11 \text{ V}$.

7. Kalkulatu honako kontzentrazio-pila hauen indar elektromotrizia:



Erantzuna: 7.1. 0,177 V 7.2. 0,313 V 7.3. 0,236 V.

8. Mugikor batean dagoen litio ioi bateriak 1150 mA·h kapazitatea eta 3.7 V-ko tentsioa dauzka. Zein energia eskainiko du?

Erantzuna: 4.25 W·h

9. Ikertzen ari den material bati 2C karga-abiadura aplikatzen zaio kargan eta C/50 deskargan. Zenbat ordu behar dira bateria hori kargatzeko eta deskargatzeko?

Erantzuna: Karga: 1/2 ordu = 30 min. , Deskarga: 50 ordu ≈ 2 egun.

10. 130 mAh/g-ko kapazitate espezifikoa duen material bat C/20 abiaduran kargatu nahi da eta 10 mg da material horren masa. Zenbateko intentsitatea aplikatu beharko zaio?

Erantzuna: 0.065 mA = 65 μA

Liburu interesgarri batzuk:

- José Luis Tirado eta Pedro Lavela. *Baterías avanzadas*. Córdoba Unibertsitatea, 1999.
- R.M. Dell eta D.A.J. Rand. *Understanding batteries*. The Royal Society of Chemistry, 2001.
- Allen J. Bard eta Larry L. Faulkner. *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*. John Wiley & Sons, 2000.
- Bruno Scrosati, K.M. Abraham, Walter, A. van Schalkwijk eta Jusef Hassoun. *Lithium Batteries: Advanced Technologies and Applications*. Wiley, 2013.