

GBL

GRADU BUKAERAKO LANA

Baterien segurtasun egoera (SOS) iragartzea

Mugertza Iguaran, Ainhoa

2022 - 2023

Industria Elektronikako Ingeniaritza



GRADU BUKAERAKO LANAREN IZENBURUA: BATERIEN SEGURTASUN-EGOERA IRAGARTZEA (SOS)

GRADU BUKAERAKO LANA, MUko Goi Eskola Politeknikoan AURKEZTUA

HONAKO TITULU HAU LORTZEKO: INDUSTRIA ELEKTRONIKAKO INGENIARITZA GRADUA

IKASTURTEA: 2022/2023


EGILEA: MUGERTZA IGUARAN AINHOA

ZUZENDARIA: Iñigo Gandiaga

TUTOREA: GOIKOETXEA, Ander

PROIEKTUA EGIN DEN ENPRESA/ERAKUNDEA: IKERLAN, S.COOP.

Lanaren egileak, Mondragon Unibertsitateko Goi Eskola Politeknikoari, doan eta ikerketa eta irakaskuntza helburu soilekin, dokumentu honen erreprodukzio eta komunikazio publikorako eskubideak baimentzen dizkio, baldin eta: jatorrizko egilea aipatzen bada, eta obraren erabilera komertziala ez bada.

 Aitorpena - EzKomertziala - PartekatuBerdin (by-nc-sa): ez da onartzen jatorrizko obraren erabilera komertzialik, ez eta obra eratorriena ere, eta horien banaketa jatorrizko obra arautzen duen lizentziaren berdina izan behar da.

ORIGINALTASUN ADIERAZPENA

Nik, Ainhoa Mugertza Iguaranek,

Adierazten dut Gradu Bukaerako Lan hau originala dela, nire lan pertsonalaren emaitza, eta ez dela aldeztu aurretik aurkeztu beste titulu edo kalifikazio profesional bat lortzeko. Besteen iturrietatik hartutako ideiak, formulazioak, irudiak eta ilustrazioak behar bezala aipatu eta erreferentziatu dira.

Joanari eta Nereari,

Laburpena

Gaur egun, teknologiak aurrera egin ahala, bateriak funtsezko osagaiak bihurtu dira, gehien bat, erabilienak, litio ioizko bateriak (LIB). Hala ere, hauen segurtasunarekiko kezka oraindik ere kritikoa da. Hori dela eta, proiektu honetan, baterien segurtasun egoera (SOS - State of Safety) estimatuko duen algoritmo bat garatu da. Honen bidez, segurtasuna estimatu eta arriskuak iragarriko dira. Proiektuan, lehenik, LIBei buruzko informazio orokorra azaldu da, eta hauen segurtasuna aztertu. Ondoren, baterien kudeaketa sistemak (BMSak) dituen funtzioei buruzko informazioa azaldu da, eta honek estimatzen dituen egoerak aztertu. Eta, jarraian, gaur egun LIBen segurtasuna nola dagoen eta segurtasun egoeraren (SOS) beharra esplikatu dira. Izan ere, literaturako aurreko deskribapenek izaera kualitatiboa dute, baina ez dute biltegitze-sistema baten segurtasunaren zenbakizko kuantifikaziorik eskaintzen. Arrazoi honengatik, SOSa kalkulatzeko duen algoritmo bat proposatu da. Behin hau eginda, landutako SOS algoritmoaren balidazioa egiteko abusuzko testak egin dira laborategian. Honela, litiozko zelula zilindrikoei egindako segurtasun entseguen informazioa bildu da. Zehazki, zein entsegu edo test mota dauden, zein egin diren, hauek burutzeko beharrezko materialak zein baldintzak, lorturiko emaitzak eta hauetatik ateratako ondoriak. Azkenik, testetatik ateratako datuekin SOS algoritmoa balioztatu da, eta, honekin, algoritmoa SOS balioa estimatzeko eta arriskuak iragartzeko gai dela frogatu da.

Resumen

Hoy en día, a medida que avanza la tecnología, las baterías se han convertido en componentes fundamentales, sobre todo, las baterías de ion litio (LIB). Sin embargo, la preocupación por su seguridad sigue siendo crítica. Por ello, en este proyecto se ha desarrollado un algoritmo que estima el estado de seguridad de las baterías (SOS - State of Safety). Con ello se estimará la seguridad y se predecirán los riesgos. En el proyecto, en primer lugar, se explica la información general sobre las LIB y se analiza su seguridad. A continuación, se explica la información sobre las funciones del sistema de gestión de baterías (BMS) y se analizan los estados que éste estima. Posteriormente, se explica cómo está la seguridad de las LIB en la actualidad y la necesidad del estado de seguridad (SOS). De hecho, las anteriores descripciones literarias tienen un carácter cualitativo, pero no ofrecen una cuantificación numérica de la seguridad de un sistema de almacenamiento. Por este motivo se ha propuesto un algoritmo que calcula el SOS. Una vez hecho esto, se han realizado en el laboratorio tests de abuso para la validación del algoritmo SOS elaborado. Así, se ha recopilado información de los ensayos de seguridad realizados a las celdas cilíndricas de litio. En concreto, qué tipo de ensayos o test existen, cuáles se han realizado, los materiales y condiciones necesarias para llevarlos a cabo, los resultados obtenidos y las conclusiones extraídas de los mismos. Por último, con los datos conseguidos de los test se ha validado el algoritmo SOS, con el que se ha demostrado que el algoritmo es capaz de estimar el valor de SOS y predecir los riesgos.

Abstract

Today, as technology advances, batteries have become key components, especially the most widely used, lithium-ion batteries (LIBs). However, safety concerns remain critical. Therefore, this project has developed an algorithm that estimates the state of safety of batteries (SOS - State of Safety). This will estimate safety and predict risks. In the project, first of all, general information about LIBs is explained and their safety is analysed. Next, the information about the functions of the battery management system (BMS) is explained and the states estimated by the BMS are analysed. Subsequently, it is explained how the safety of LIBs is nowadays and the necessity of the state of safety (SOS). In fact, the above literary descriptions have a qualitative character, but do not provide a numerical quantification of the safety of a storage system. For this reason, an algorithm that calculates the SOS has been proposed. Once this has been done, abuse tests have been carried out in the laboratory to validate the SOS algorithm developed. Thus, information has been collected from the safety tests carried out on lithium cylindrical cells. Specifically, what type of tests exist, which ones have been carried out, the materials and conditions necessary to carry them out, the results obtained and the conclusions drawn from them. Finally, with the data extracted from the tests, the SOS algorithm has been validated, demonstrating that the algorithm is capable of estimating the SOS value and predicting the risks.

Eskerrak

Eskerrak eman nahi dizkiot IKERLAN Zentro Teknologikoari, gradu amaierako lana bertan egiteko aukera emateagatik, eta bertako lankideei haien laguntza eskaintzeagatik. Nire tutoreei, Iñigo Gandiagari eta Ander Goikoetxeari, ni bideratzeagatik, proiektua aurrera ateratzeko. Eta Josu Olmosi, behar izan dudan une oro laguntzeagatik, asko eskertzen dizut. Orokorrean, lan honek iraun duen denboran lagundu didaten guztioi, mila esker.

Edukien aurkibidea

Irudien aurkibidea.....	ix
Taulen aurkibidea.....	xi
Sinboloak eta laburdurak.....	xii
1. Sarrera.....	1
1.1 Problematika.....	1
1.2 Helburuak.....	2
1.3 Garapen Jasangarriko Helburuen azterketa.....	2
1.4 Proiektuaren plangintza.....	4
1.5 Baldintza plegua.....	5
2. Artearen egoera.....	7
2.1 Sarrera.....	7
2.2 Bateriak.....	7
2.2.1 Li-ioi bateria.....	7
2.2.2 Liziozko baterietako kimiken klasifikazioa.....	10
2.3 Segurtasuna baterietan.....	13
2.3.1 Kalte mekanikoa.....	16
2.3.2 Abusu elektrikoa.....	16
2.3.3 Abusu termikoa.....	18
2.3.4 Lithium plating.....	18
2.3.5 Ihes termikoa (Thermal runaway).....	18
2.4 Litio-ioizko bateriaren arriskuak.....	19
2.4.1 Anodoa.....	19
2.4.2 Elektrolitoa.....	21
2.4.3 Katodoa.....	22
2.5 Kimikari loturiko parametroak.....	29
2.6 Baterien monitorizazioa.....	30
2.6.1 Nola egiten da? BMSaren funtzioak.....	30
2.6.2 SOC (State of Charge).....	32
2.6.3 SOH (State of Health).....	34
2.6.4 SOP (State of Power).....	35
2.6.5 SOE (State of Energy).....	37
2.6.6 Baterako estimazio metodoak.....	39
2.7 Baterien segurtasunaren monitorizazioa.....	39
2.7.1 Segurtasuna gaur egun.....	40
2.7.2 SOS (State of Safety).....	41
3. SOS Algoritmoaren garapena.....	42
3.1 Oinarri teorikoak.....	42
3.2 Planteamendu espezifikoak.....	45
3.3 Funtzioaren deskribapena.....	47
3.3.1 sos_run.....	48
3.3.2 sos_calculate.....	52
4. Testen planteamendua.....	59
4.1 Testeatuko den bateria.....	59

4.1.1	Zelularen forma eta segurtasuna.....	60
4.1.2	Zelularen geometria	64
4.2	Testen planteamendua	64
4.2.1	Abusu probak.....	65
4.2.2	Ekipamendua eta baldintzak	69
4.3	Lorturiko emaitzak	70
4.3.1	Gainkargaren testa:.....	70
4.3.2	Gaindeskargaren testa:	72
4.3.3	Erorketaren testa.....	75
4.3.4	Gainkarga test gehigarria	77
4.4	Abusu testen emaitzen eztabaida	79
5.	SOSa balioztatzea.....	82
5.1	Gainkargaren SOSaren balidazioa.....	82
5.2	Gaindeskargaren SOSaren balidazioa	88
5.3	Gainkarga gehigarriaren SOSaren balidazioa	93
6.	Memoria ekonomikoa	99
7.	Ondorioak.....	101
8.	Etorkizuneko ildoak	103
9.	Balorazio pertsonala.....	104
10.	Lan arriskuen prebentzioa.....	105
11.	Bibliografia.....	107
12.	Eranskinak.....	112
12.A	GJH.....	112

Irudien aurkibidea

1. Irudia GBLaren plangintza	4
2. Irudia Litioak elektroirik kanpokoena oparitzean, positiboki kargatuta geratzen da (litio-ioi) [3].....	7
3. Irudia Litiozko bateria baten osagaiak [5]	9
4. Irudia Li-ioi bateriaren funtzionamendua	10
5. Irudia Safety and standards of lithium ion storage systems	14
6. Irudia Akats mekanismoak litiozko baterietan.....	15
7. Irudia Gainkarga eta gaindeskarga baterietan [11].....	16
8. Irudia Gainkargaren prozesua [2].....	17
9. Irudia Gaindeskargaren prozesua [2]	17
10. Irudia Dendritek eragindako zirkuitulaburrak [15]	18
11. Irudia Ihes termikoan katodo material desberdinek sortutako energia [17]	19
12. Irudia SEIaren osaketa silizio puruko gainazal batean, karga/deskarga zikloetan [22]	21
13. Irudia Katodo desberdinen egonkortasun termikoa [26]	24
14. Irudia Katodo desberdinen egonkortasun termikoa gertutik [26].....	24
15. Irudia Grafitoa/LFP zelula baterako CO2 isurketa [27]	24
16. Irudia Grafitoa/NMC-LMO zelula baterako CO2 isurketa [27]	24
17. Irudia Tenperaturaren igoera gaintentsioan [24].....	25
18. Irudia ARC testaren emaitzak, Onset tenperaturan zoom-a eginda.....	25
19. Irudia Zirkuitulaburreko testaren tenperatura eta tentsio profilak	26
20. Irudia Gainkargaren portaeraren konparaketa.....	26
21. Irudia Tenperatura denboran gaindeskargatutako Li-ioi zeluletarako	27
22. Irudia Hainbat materialen kimikaren konparaketa eta hauen osaketa, konposizioa [29]	28
23. Irudia NMC katodoaren konposizio desberdinen gaitasuna [29].....	28
24. Irudia Baterien kudeaketa sistemaren funtzio nagusiak.....	32
25. Irudia SOParen estimazioa hainbat limiterekin [31]	36
26. Irudia Baterako estimazio metodoak [31]	39
27. Irudia EUCARen arrisku mailak.....	40
28. Irudia Segurtasun mailak [38].....	45
29. Irudia SOS balioaren arabera ohartarazpenak	46
30. Irudia sos_run kodearen fluxu diagrama	51
31. Irudia sos_calculate kodearen fluxu diagrama.....	53
32. Irudia sos_calculate kodeko erabakien fluxu diagrama.....	58
33. Irudia SAMSUNG INR21700-50E [42].....	60
34. Irudia Zelula zilindriko bateko babesgailuak	61
35. Irudia CIDaren funtzionamendua.....	61
36. Irudia CIDaren egitura, aktibatu aurretik (a) eta ondoren (b)	62
37. Irudia LIBen elementu komunak, gainberotzea, suteak edo leherketak saihesteko [45]	62
38. Irudia Zelula zilindriko baten X izpien argazkia, markatutako koefiziente termiko positiboarekin (PTC) eta korronea eteteko gailuarekin (CID) [46].....	63
39. Irudia Segurtasun haizatze tipikoa LIB zilindriko batean (gezi zuriek bateria barruko gasak askatzeko bidea adierazten dute) [47]	63
40. Irudia Bereizgailuak litiozko zelula zilindrikoetan [48]	64
41. Irudia Zelulen geometria	64

42. Irudia Gainkargako tentsioa eta bere SOSa	83
43. Irudia Gainkargako korrontea eta bere SOSa.....	83
44. Irudia Gainkargako tenperatura eta bere SOSa	84
45. Irudia Gainkargako aldagai bakoitzaren SOSa.....	85
46. Irudia Gainkargako SOS fault gertutik	85
47. Irudia Gainkargako tentsioa gertutik.....	86
48. Irudia Gainkargako SOS orokorra	87
49. Irudia Gainkargako ohartarazpen maila.....	87
50. Irudia Ohartarazpen maila une puntual batean 1era igotzeko zergatia	88
51. Irudia Gaindeskargako tentsioa eta bere SOSa	89
52. Irudia Gaindeskargako korrontea eta bere SOSa.....	89
53. Irudia Gaindeskargako tenperatura eta bere SOSa.....	90
54. Irudia Gaindeskargako aldagai bakoitzaren SOSa	91
55. Irudia Gaindeskargako SOS fault gertutik	91
56. Irudia Gaindeskargako tentsioa gertutik	92
57. Irudia Gaindeskargako SOS orokorra	92
58. Irudia Gaindeskargako ohartarazpen maila	93
59. Irudia Gainkarga gehigarriko tentsioa eta bere SOSa	94
60. Irudia Gainkarga gehigarriko korrontea eta bere SOSa.....	94
61. Irudia Gainkarga gehigarriko tenperatura eta bere SOSa.....	95
62. Irudia Gainkarga gehigarriko aldagai bakoitzaren SOSa	96
63. Irudia Gainkarga gehigarriko SOS fault gertutik	96
64. Irudia Gainkarga gehigarriko tentsioa gertutik	97
65. Irudia Gainkarga gehigarriko SOS orokorra	97
66. Irudia Gainkarga gehigarriko ohartarazpen maila.....	98
67. Irudia GBLak GJHetan duen eragina	102
68. Irudia EPI	105

Taulen aurkibidea

1. Taula Li-ioi baterien errendimenduaren ezaugarri orokorrak [4]	8
2. Taula Litio ioizko bateria moten ezaugarri komunak [10]	13
3. Taula Silizio eta grafito anodoen propietate elektrokimikoak [19]	20
4. Taula Grafitoaren eta Silizioaren abantailak/desabantailak [20]	20
5. Taula Elektrolito ohikoaren propietateak [21]	21
6. Taula Elektrolito likido eta solidoen arteko aldeak	22
7. Taula Katodo ohikoaren ezaugarriak [24]	23
8. Taula Katodoen beste ezaugarri batzuk [10]	23
9. Taula Katodoko teknologien konparaketa [25]	23
10. Taula Hutsegite mekanismoak vs katodoaren kimika	27
11. Taula NMC111, NMC622 eta NMC811ren ezaugarriak, propietateak eta desberdintasunak.....	29
12. Taula Kimika desberdinen artean alderatzeko parametroak	29
13. Taula SOEren estimazio metodoen ezaugarriak eta aplikazio-eremua [31].....	38
14. Taula Algoritmoaren sarrerak eta irteerak	47
15. Taula Parametroen "Threshold"-ak	48
16. Taula sos_run kodearen fluxu diagramaren azalpena puntuka	51
17. Taula sos_calculate kodearen fluxu diagramaren azalpena puntuka.....	53
18. Taula Zelularen ezaugarriak, <i>datasheet</i> -etik	59
19. Taula Formaren formatuaren araberako babesgailuak.....	60
20. Taula Egin diren eta egin ez diren abusuzko testak	70
21. Taula Gainkargaren emaitzak	70
22. Taula Gaindeskargaren emaitzak.....	72
23. Taula Erorketaren emaitzak	75
24. Taula Gainkargaren* emaitzak.....	77
25. Taula Testetako zelulen arrisku-mailak (EUCARen arabera)	81
26. Taula Material orokorraren kostua.....	99
27. Taula Software-en kostua	99
28. Taula Laborategiko materialaren kostua	99

Sinboloak eta laburdurak

AKRONIMOAK	EUS	ES	ENG
BMS	Bateriak kudeatzeko sistemak	Sistema de gestión de baterías	Battery management system
BEV	Bateriadun ibilgailu elektrikoa	Coche eléctrico de batería	Battery electric vehicle
DOD	Deskarga sakonera	Profundidad de descarga	Depth of Discharge
EUCAR	Automobilaren Ikerketa eta Garapenerako Europako Kontseilua	Consejo Europeo de Investigación y Desarrollo del Automóvil	European Council for Automotive Research and Development
EV	Ibilgailu elektrikoa	Vehículo eléctrico	Electric vehicle
GJH	Garapen Jasangarriko Helburuak	Objetivos de Desarrollo Sostenible	Sustainable Development Goals
GBL	Gradu Bukaerako Lana	Trabajo de fin de grado	Final degree project
HEV	Ibilgailu hibrido elektrikoa	Coche híbrido eléctrico	Hybrid electric vehicle
LCO	Litio kobalto oxidoa	Óxido de litio y cobalto	Lithium Cobalt Oxide
LFP	Litio burdin fosfatao	Fosfato de hierro y litio	Lithium Iron Phosphate
LIB	Litio ioizko bateria	Baterías de iones de litio	Lithium ion battery
LMO	Litio manganeso oxidoa	Óxido de litio y manganeso	Lithium Manganese Oxide
LTO	Litio titanatoa	Titanato de litio	Lithium Titanate
NCA	Litio nikela kobalto aluminio oxidoa	Óxido de litio, níquel, kobalto y aluminio	Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide
NMC	Litio nikela manganeso kobalto oxidoa	Óxido de litio, níquel, manganeso y kobalto	Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide
PHEV	Ibilgailu hibrido elektriko entxufagarria	Coche híbrido eléctrico enchufable	Plug-in hybrid electric vehicle
SEI	Elektrolito solidoaren interfasea	Interfase de electrolito sólido	Solid electrolyte interface
SOC	Karga egoera	Estado de carga	State of Charge
SOE	Energia egoera	Estado de energía	State of Energy
SOH	Osasun egoera	Estado de salud	State of Health
SOP	Potentzia egoera	Estado de potencia	State of Power

SOS	Segurtasun egoera	Estado de seguridad	State of Safety
TBMS (TMS+BMS)	Kudeaketa termikoko sistema	Sistema de gestión térmica	Thermal management system
UPS	Etengabeko elikatze-iturria	Sistema de alimentación ininterrumpida	Uninterruptible power supply

1. Sarrera

Dokumentu honek, Mondragon Unibertsitateko Goi Eskola Politeknikoan egindako Gradu Bukaerako Lana (GBL) biltzen du. Lan hau, IKERLAN zentro teknologikoan gauzatu da.

Dokumentuan, proiektuaren gaineko informazio guztia aurkituko duzu, era egokian antolatuta. Sarrerarekin hasiz, gaiaren egungo egoera landu da, jorratuko den arazoa, proiektuak dituen helburuak eta hau era egokian burutzeko plangintza eta baldintza plegua bildu dira. Jarraian, proiektuaren edukia eta garapenaren atalak, eta baita lorpenak edo erdietsiriko emaitzak. Bestalde, dokumentu honek memoria ekonomikoaren eta lan arriskuen prebentzioaren inguruko atalak ere izango ditu. Horrez gain, Garapen Jasangarriko Helburuekiko (GJH) alineazioa eta hauek lortzeko bidean zein ekarpen egiten diren adieraziko da. Eta, azkenik, egindako lanarekin ateratako ondorioak eta etorkizunerako ildoak azalduko dira.

1.1 Problematika

Gaur egun, teknologia etengabe eguneratzen eta berritzen ari den garai honetan, bateriak funtsezko osagaiak bihurtu dira. Izan ere, egunerokotasunean etengabe erabiltzen ditugun ia gailu elektroniko guztiek dute bat barnean, telefono mugikorretatik hasi eta auto elektrikoetaraino. Bateriak energia kimikoa energia elektriko bihurtzen duten gailuak dira, hau da, energia elektrikoaren erreakzio kimiko baten bidez biltegitatu eta askatzen duten gailuak. Beraz, funtzionatzeko energia elektriko eramangarria eta autonomoa behar duten tresna elektriko eta elektroniko ugari erabiltzen dituzte bateriak, eta horregatik, garrantzi handia hartu dute.

Orain arte, bateria mota ezberdin ugari garatu dira, beren abantailekin zein desabantailekin. Elektronika eramangarriko baterien merkatua Li-ioi baterien (LIB) mende dago, beste bateria sistemekiko dituzten abantailengatik dira erabilienak. Gainontzeko biltegitatze sistemekin konparatuta, LIBek autodeskarga baxua dute, osagai arinez osatuak daude, azkar kargatzen dira eta potentzia-energia dentsitate balantze egokiena dute. Horrez gain, giro tenperatura tarte zabalean funtzionatzeko abilezia dute eta iraupen luzea izan dezakete lan baldintzen arabera. Beraz, energia garbi eta jasangarriaren eskariak gora egiten duen neurrian, LIBak energia premia gero eta handiagoari erantzuteko irtenbidea izan daitezke.

Abantaila hauek kontuan edukita, auto elektrikoetan ere LIBak dira erabilienak. Bereziki, duten energia dentsitate altuarengatik, honek, bateriaren bolumen eta pisu konkretu batekin ibilgailu batek karga bakarrarekin egin dezakeen distantzia zehazten baitu.

Haatik, tenperatura altuekiko eta gaitzgariekiko duten degradazio azkarrak eta sentikortasunak, sua hartzeko edo eztanda egiteko arriskua dakar, eta, ondorioz, segurtasun gailu gehigarriak behar dituzte, hauen kostua areagotuz [1]. Esan beharra dago, litio ioizko bateriak ibilgailu elektrikoetan eta beste aplikazio industrial ugarietan barnetatzen ari diren heinean, arriskuak gertatzeko aukerak areagotu egiten direla, aplikazio hauek zelula kopuru eta dentsitate energetiko handiagoak behar dituztelako.

Horrela, LIBen merkatuaren hedapena eta ibilgailu elektrikoetan dituzten inplikazio nabarmenak oztokatzen dituzte haien segurtasun zerbitzu mugatuek. Kontuan hartu behar da, bateria baten segurtasuna

bere kimikak, funtzionamendu ingurune edo ingurune operatiboak eta abusuarekiko duen tolerantziak baldintzatzen dutela. LIB baten barnean, akatsak, sistema elektrokimikoaren ezegonkortasunak eragiten ditu. Hortaz, Li-ioi baterietan gertatzen diren erreakzio elektrokimikoak, bateria bera osatzen duten materialen propietateak eta aparte gertatzen diren bigarren mailako erreakzioak ulertzea funtsezkoa da baterien segurtasunerako. Barneko alterazioen kausa nagusia kanpoko ingurunea da, bateriak non funtzionatzen duen, hau da, bere inguruneak, eginkizun garrantzitsua betetzen du segurtasunean [2].

SOSaren (State of Safety) estimazioa energia biltegitratzeko gailuen egoeraren estimazioari buruzko ikerketaren esparruan sortzen ari den gai berrienetako bat da. Orain arte, baterien segurtasunari buruzko deskribapenek izaera kualitatiboa izan dute, eta ez dute biltegitratze sistemen segurtasunaren zenbakizko kuantifikaziorik eskaini. Hau da, segurtasuna aztertzeo, ikertzaileak, energia biltegitratzeko sistementzat funtzionamendu eremu edo eremu operatibo bat zehazten saiatu dira, batez ere, propietate termikoetan oinarrituta, baina ez dute adierazi eremu hori nola kuantifikatu zenbakiekin.

Baterien segurtasuna bermatzeko, beraz, segurtasun egoera (SOS) arrazoizko balio operatiboetara mugatu nahi da. Hori lortzeko, proiektu honetan, bateria batek izan ditzakeen arrisku edo galzoriak detektatzen dituen segurtasun estimatzaile bat garatuko da. LIBek dituzten arriskuak identifikatuz eta hauen kausa eta ondorioen arabera izango dena.

1.2 Helburuak

Proiektu honetan, bateria batek izan ditzakeen arriskuak detektatzen dituen segurtasun estimatzaile (SOS) bat landuko da, litiozko bateriak oinarri hartuz. Hau da, litio ioizko bateriek ibilgailu elektrikoetan izan ditzaketen arriskuak eta hauek nola ekidin landuko da. Proiektuaren helburu nagusia SOS algoritmoa garatu eta balioztatzea izango da.

Bestalde, helburu nagusira heltzeko, honako azpihelburuak proposatu dira:

- Litio-ioizko baterien (LIB) segurtasunari buruzko konparaketa kuantitatibo bat egitea.
- Li-ioi bateria konkretu baten segurtasuna laborategian aztertzea. Bateriak ohiko erabilerako baldintzak gainditzera behartuko dira, hauek abusu probetara ezarriz.
- SOS algoritmoaren kodifikazioa egitea.

Helburu eta azpihelburuak aurrera eramateko, proiektuaren memoria den dokumentu hau atal desberdinetan antolatu da. Horrela, 2.atalean, artearen egoeran, litiozko baterien gaineko informazioa eman da, hauen segurtasuna analizatuz. 3.atalean, ordea, SOS algoritmoaren garapenerako egindakoa azaldu da. 4.atala laborategian egindako testei buruzkoa da, eta lorturiko emaitzak ikertu dira bertan. Azkenik, 5.atalean helburu nagusia landu da, hau da, SOSaren balidazioa.

1.3 Garapen Jasangarriko Helburuen azterketa

Garapen Jasangarrirako Helburuek (GJH) pobrezia eta desberdintasunari aurre egiteko, mundu osoaren bizitza eta perspektibak hobetzeko eta planeta babesteko helburua dute. Helburu hauek, zehazki, 17 helburu dira.

Litiozko baterien segurtasun-egoerak hurrengo Garapen Jasangarriko Helburuetan du eragina:

- **GJH 3, OSASUNA ETA ONGIZATEA:** Litiozko baterien segurtasuna funtsezkoa da pertsonen osasuna eta bizitza arriskuan jar ditzaketen istripuak saihesteko.
- **GJH 7, ENERGIA ESKURAGARRI ETA EZ KUTSATZAILEA:** Litiozko bateriak funtsezkoak dira energia berriztagarriak biltegitratzeko, eta horrek gure sare elektrikoetan energia berriztagarrien ahalmena handitzen eta erregai fosilekiko mendekotasuna murrizten lagun dezake.

Litiozko baterietan segurtasun-neurriak garatzean, energia garbi eta jasangarrien erabilera sustatzen laguntzen da, energia eskuragarriagoa eta ez-kutsagarria ahalbidetuz.

- **GJH 8, LAN DUINA ETA HAZKUNDE EKONOMIKOA:** Litiozko baterien ekoizpen eta salmenta seguruak mundu osoan enpleguak eta onura ekonomikoak sor ditzake.
- **GJH 9, INDUSTRIA, BERRIKUNTZA ETA AZPIEGITURA:** Litiozko bateriak funtsezkoak dira energia garbiko azpiegiturak sortzeko eta energia biltegitratzeko sistemen berrikuntzetarako.

Litiozko baterien segurtasuna hobetzean, industria jasangarriagoa eta berritzaileagoa lortzen laguntzen da, azpiegitura iraunkoragoak eta seguruagoak ahalbidetuz, garapen ekonomiko eta teknologiko iraunkorra bermatuz.

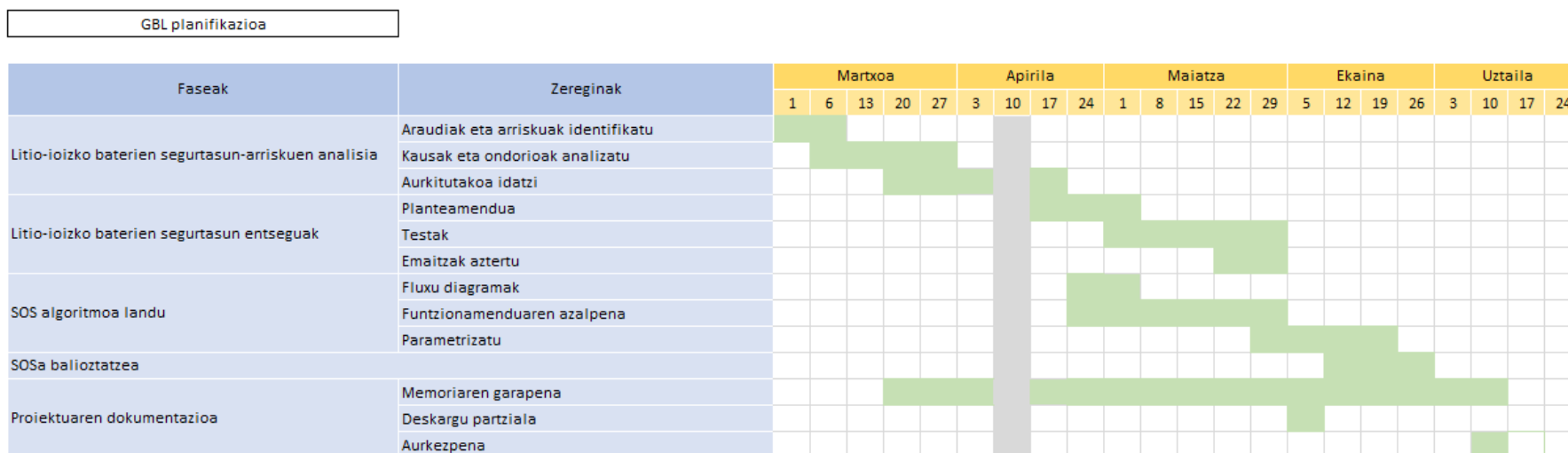
- **GJH 11, HIRI ETA KOMUNITATE JASANGARRIAK:** Litiozko bateriak funtsezkoak dira garraio-sistema elektriko eskuragarriak, iraunkorrak eta, batez ere, guztientzat seguruak lortzeko. Gainera, tokiko sare elektrikoen gaineko karga murrizten lagun dezakete.
- **GJH 12, EKOIZPEN ETA KONTSUMO ARDURATSUAK:** Litiozko bateriak sortzeko eta birziklatzeko segurtasuna ezinbestekoa da ekonomia zirkularra sortzeko eta hondakin eta isuri toxikoak murrizteko.
- **GJH 15, LEHORREKO EKOSISTEMETAKO BIZITZA:** Litiozko bateriak modu desegokian ekoizteak eta ezabatzeak eragin negatiboa izan dezake ingurumenean eta lurreko ekosistemen bizitzan; beraz, garrantzitsua da bateriak modu arduratsuan eta seguruan ekoizten, erabiltzen eta ezabatzen direla bermatzea.
- **GJH 16, BAKEA, JUSTIZIA ETA INSTITUZIO SENDOAK:** Litiozko bateriak ekoizteko eta saltzeko segurtasuna funtsezkoa da erakundeen, legeen eta araudien osotasuna bermatzeko.
- **GJH 17, HELBURUAK LORTZEKO ITUNAK:** Nazioarteko lankidetzak eta gobernuen, sektore pribatuaren eta gizarte zibilaren arteko lankidetzak funtsezkoak dira mundu osoan litiozko bateriak ekoizteko eta erabiltzeko segurtasuna bermatzeko.

1.4 Proiektuaren plangintza

Aipaturiko helburuak lortzeko, proiektuan egin beharrekoekin plangintza bat egin da. Bertan, proiektuak dituen faseak zehaztu dira, eta baita fase bakoitzean egin beharreko zereginak ere.

Gantt diagrama bat egin da, lanaren hasiera datatik amaiera data tartean, une bakoitzean egin beharreko zereginak aurreikusiz.

Honek, egin beharrekoa antolatzeko eta koordinatzeko balioko du.



1. Irudia GBLaren plangintza

1.5 Baldintza plegua

Jarraian, proiektua egiteko behar diren baliabideak, eskakizunak eta baldintza espezifikoak jasotzen dituen baldintza-plegua aurkezten da.

Aurretik aipatu bezala, proiektu honen helburua litio-ioi bateria (LIB) baten segurtaun egoera (SOS-State of Safety) iragartzea da. Horretarako, plataforma anitzeko algoritmoak landuko dira. Hauen bidez, arriskuak hauteman ahal izango dira bateria guztiz ez-segurua bilakatu baino lehen. Beraz, LIBaren segurtasuna estimatuko da, erabilitako parametroren baten balioa okerra/ez-segurua denean adieraziz. Hitz gutxitan, litio ioizko bateriek ibilgailu elektrikoetan zein arrisku izan ditzaketen eta hauek ekiditeko SOSa nola kalkulatu landuko da proiektuan.

Hau egiteko, lehenik eta behin, beharrezkoa da LIB batek izan ditzakeen arriskuak identifikatzea, eta hauen kausak edo zergatiak. Galzori hauek LIBetan zein ondorio dituzten aztertu behar da, adibidez, temperatura aldaketak, etab. Behin hori guztia eginda, litio-ioizko baterien segurtasun entseguak gauzatuko dira laborategian. Hala, tentsio altua edo temperatura gorakadak bezalako datuak lortuko dira, ondoren, SOS algoritmoa balioztatzeko balioko dutenak.

Algoritmo honek SOSaren egoera emango du sarrera desberdinetatik jasotako informazioa analizatu ostean. Hau da, bost parametroren datuekin iragarriko du arriskua: temperaturaren deribatua (igotzen hasten bada, daraman malda hartuta, 65°C -tara noiz iritsiko den aurreikusteko), korronea, tentsioa, SOH (State of Health) eta SOS fault (zentzurik ez duten kasuetarako, akatsak detektatzeko).

SOSaren balioa segurua dela esateko bere balioak 0.8-1 tartean egon beharko du, balioa 0.8 baina txikiagoa izanez gero arriskua dagoela adieraziko da. Horrez gain, SOSa 0.8 ber n ($< 0.8^n$) baino txikiago bada, n parametro kopurua izanik, LIBa arrisku handian dagoela aditzera emango da.

Adierazitako guztia aurrera eraman ahal izateko, Ikerlanek eskainitako zenbait baliabide erabili beharko dira. Baliabide hauek bi multzotan banatu dira. Alde batetik, Hardware mailakoak:

- Ordenagailua: Dell Latitude 5591
- Pantailak
- Aurikularrak
- Ordenagailuko sagua
- Laborategiko materiala:
 - Samsung INR21700-50E
 - CTS Kamara klimatikoa
 - Soldagailua
 - HIOKI BT3562 (zelden egoera neurtzeko: V eta Ohm)
 - Kableak zuritzekoa
 - Katigatzeko erraminta
 - Digatroia
 - Termoparea (tipo K)
 - Baskula

Bestetik, Software mailako baliabideak:

- Interneteko sarbidea
- Matlab
- Microsoft Office
- PyCharm
- Inkscape
- Battery Manager Workstation (Digatroia)

Algoritmoa lantzearekin batera, egindako guztia idatziko da memoria batean, eta, azkenik, proiektuaren aurkezpen bat egingo da. Bertan, litiozko baterien arriskuak, laborategian emandako pausuak eta bertan lortutako emaitzak eta algoritmoarekin iragarritakoa zehaztuko da.

Proiektua 2023ko martxoan hasi eta 2023ko uztailean amaitu da. Hilabete hauetan, lanaren jarraipen egokia ziurtatzeko, Ikerlaneko tutorearekin jarraipen bilerak egin dira egindakoaren gainean hitz egin eta etorkizunean egitekoak finkatzeko. Ikerlan enpresak Hernanin duen egoitzan gauzatu da proiektua, bertako bulegoan zein laborategian, zati esperimentalala ere izan duelako.

2. Artearen egoera

2.1 Sarrera

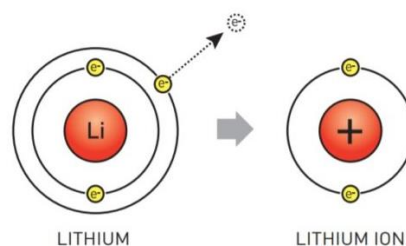
Atal honetan LIBen segurtasunaren gaur egungo egoera garatuko da. Lehenik eta behin, LIBak azalduko dira: nola funtzionatzen duten eta zein LIB mota dauden, beraien kimika desberdinen bidez klasifikatuak (materialen arabera). Jarraian, LIBetako segurtasuna aztertuko da. Segurtasunaren atal honi dagokionez, alde batetik, LIBek jarraitzen dituzten araudiak identifikatuko dira, eta baita LIBek izaten dituzten arriskuen kausak eta ondorioak ere. Beste alde batetik, bateriaren elementuetan erabiltzen diren materialen arabera eta euren kimikaren arabera izango duten segurtasuna aztertuko da. Ondoren, baterien monitorizazioari buruzko beharrezko informazioa azalduko da: baterien kudeaketa sistemaren funtzio nagusiak eta estimatzen diren egoera ezberdinak argituz. Azkenik, gaur egun baterien segurtasuna nola dagoen eta segurtasun egoeraren (SOS) beharraren azalpena gehituko dira.

2.2 Bateriak

2.2.1 Li-ioi bateria

Litioa metal alkalinoa izanik, elektroi bakarra du azkeneko orbitalean, eta, hori dela eta, hau askatzeko joera du. Azken finean, elektrizitatea elektroien joan-etorria da.

Litioa, erredukzio ahalmen txikiena duen metala da. Horrek, elektroiak oparitzeko joera handiena duen elementu kimikoa dela esan nahi du. Kanpoko elektroia ematean, litioa positiboki kargatua (Li^+) eta litio ioi deritzo (2. Irudia). Horregatik, litio ioizko bateria bezala ere ezagutzen dira litiozko bateriak [3].



2. Irudia Litioak elektroirik kanpokoena oparitzean, positiboki kargatuta geratzen da (litio-ioi) [3]

Hala ere, elektroiak hain erraz askatze horrek desabantailak ditu, elektroiak edonori ematen baitizkio, azkar erreakzionatuz.

1. Taulan LIB baten errendimenduaren ezaugarri orokorrak biltzen dira. Hauek direla eta, bateria mota hauen hainbat abantaila eta desabantaila aipa daitezke. Arestian esan bezala, energia espezifiko eta dentsitate energetiko handiko sistemak dira. Bizitza baliagarri luzea dute, eta ez dute mantentze lanik

behar. LIBek autodeskarga baxua eskaintzen dute eta gaitasun handia, eraginkortasun koulombiko handiarekin batera. Aitzitik, LIBen desabantailetakoa bat babes-zirkuituen beharra da, esaterako, gainkargen kasuan, ihes termikorik gerta ez dadin. Beste desabantailetakoa bat, tenperatura altuetan edukiera etengabe galtzen dutela da, hau da, degradatu egiten direla.

1. Taula Li-ioi baterien errendimenduaren ezaugarri orokorrak [4]

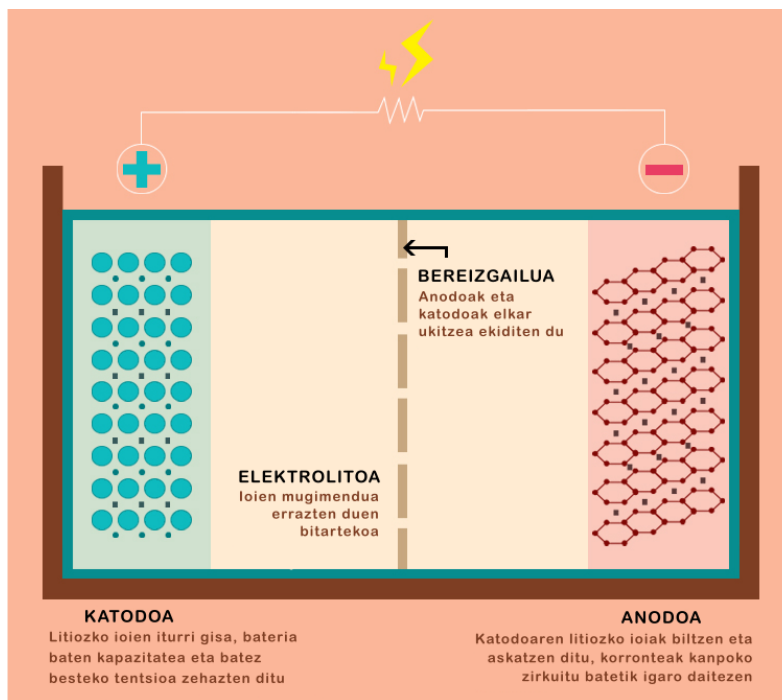
Ezaugarriak	Errendimendu tartea
Zelularen tentsio operatiboa	4.2 – 2.5 V
Energia espezifikoa	100 – 265 Wh/kg [1]
Dentsitate energetikoa	245 – 430 Wh/L
Tasa jarraituaren gaitasuna	Tipikoa: 1C Tasa altua: 5C
Bizi-zikloak DOD %100ean	Tipikoa: 3000
Bizi-zikloak DOD %20 – %40	> 20000
Bizitza baliagarria	> 5 urte
Autodeskarga tasa	%2 – %10 hilabetean
Tenperatura operatiboaren tartea	- 40°C – 65°C
Memoria efektua	Bat ere ez
Potentzia dentsitatea	2000 – 3000 W/L
Potentzia espezifikoa	700 – 1300 W/Kg

Bateria bat anodo (elektrodo negatibo) batek, katodo (elektrodo positibo) batek, bereizgailu batek eta elektrolitoak osatzen dute (3. Irudia). Katodoak eta anodoak bateria baten oinarritzko errendimendua zehazten duten bitartean, elektrolitoak eta bereizgailuak bateria baten segurtasuna zehazten dute.

- **Anodoa:** Bateriaren elektrodo negatiboa da eta material aktiboz estalita dago. Anodoaren material aktiboak korrante elektrikoa kanpoko zirkuituan zehar ibiltzea ahalbidetzen du eta, aldi berean, katodotik askatutako litio-ioien xurgapen/igorpen itzulgarria ahalbidetzen du. Beraz, katodoaren litiozko ioiak biltzen eta askatzen ditu, korronteak kanpoko zirkuitu batetik igaro daitezen [5].
- **Katodoa:** Katodoa bateriaren elektrodo positiboa da eta litio oxido metaliko batez egina egon ohi da. Litioa elementu moduan ezegonkorra denez, litioaren eta oxigenoaren konbinazioa, litio oxidoa, erabiltzen da katodo gisa, hau da, litio oxidoa material aktibo gisa erabiltzen da. Katodoak zeregin garrantzitsua du bateriaren ezaugarriak zehazteko, bere edukiera eta tentsioa katodorako erabiltzen den material aktiboaren arabera zehazten baitira. Litio kantitatea zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoa izango da kapazitatea. Honela, litiozko ioien iturri gisa, bateria baten kapazitatea eta batez besteko tentsioa zehazten ditu [5].
- **Elektrolitoa:** Ioien mugimendua errazten duen bitartekoa [5]. Hau da, eroale gisa jarduten du bateria kargatzen edo deskargatzen denean ioi elektrikoak elektrodo positiboaren eta negatiboaren artean

garraiatzeko [6]. Elektrolitorako, batez ere, eroankortasun ioniko handiko materialak erabiltzen dira litiozko ioiak alde batetik bestera erraz mugitzeko. Elektrolitoak gatzak, disolbatzaileak eta gehigarriak ditu. Gatzak litiozko ioiak mugitzeko pasabideak dira, disolbatzaileak gatzak disolbatzeko erabiltzen diren likido organikoak dira eta gehigarriak kantitate txikietan gehitzen dira helburu zehatzetarako [5]. Elektrolitoaren materialak eroankortasun ioniko ona, egonkortasun handia eta errektibitate txikia izan behar ditu bateriaren segurtasuna eta iraunkortasuna bermatzeko.

- **Bereizgailua:** Litiozko ioien baterien barruko erreazio elektrokimikoak kontrolatzen eta ziurtatzen ditu. Batetik, anodoak eta katodoak elkar ukitzea ekiditen du, hau da, bi elektrodoak isolatzen ditu, barne-zirkuitulaburrik gerta ez dadin. Bestetik, haren diseinu iragazkorrak litiozko ioiak bakarrik igaro ahal izatea bermatzen du, eta, beraz, elektrodo negatibo eta positiboen artean mugitzea [7]. Material polimeriko porotsuz egina egon ohi da, eta bateria bateko baldintzak jasan ahal izan behar ditu.

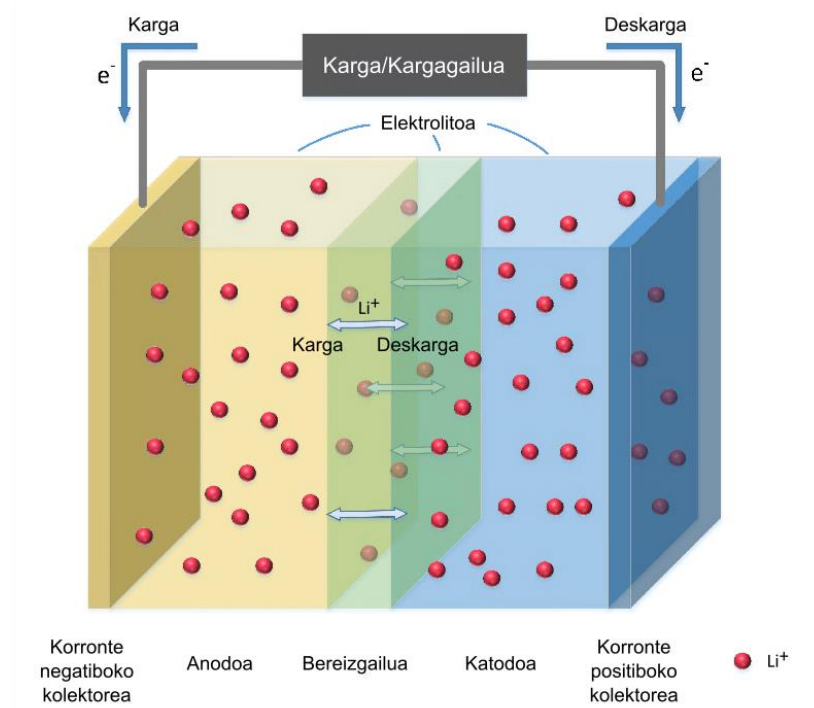


3. Irudia Litiozko bateria baten osagaiak [5]

Anodoa eta katodoa baterian lotuta daude elektrolitoaren bidez. Kanpotik ere elkartzen dira kanpoko eroale baten bidez, eta bertatik elektroioak bakarrik ibiltzen dira. Beraz, elektrolitotik litiozko ioiak elektrodo batetik bestera isurtzen dira, eta kanpoko eroaletik elektroioak.

Bateria baten funtzionamendua Erredox (erredukzio-oxidazio) izeneko erreazio elektrokimiko batean oinarritzen da. Hitz gutxitan, erreazio hau bi poloren arteko elektroio trukaketa bat da, materialen oxidazio egoeretan aldaketa bat eraginez [8]. Elektrodo batetik bestera elektroioak eta ioiak mugitu ahala, erredukzio eta oxidazio erreazio kimikoak gertatzen dira. Honetarako, ezinbestekoa da elektrodo bakoitzerako beharrezko material egokiak hautatzea, jasan beharreko erreazioaren arabera. Honi esker, zelula

kargatzen denean, energia elektrikoa energia kimiko gisa biltegitratzen da, eta, deskargan, aldiz, energia elektriko gisa.



4. Irudia Li-oi bateriaren funtzionamendua

Deskarga: Bateria deskargatzen bada, hau da, biltegitratutako energia kontsumitzen bada, gailu bati energia emanaz, elektrodo negatiboaren litiozko atomoek elektrodi bana igortzen dute, hauek kanpoko zirkuituaren bidez elektrodo positibora itzuliz. Urrats berean, litiozko ioien kopuru bera elektrolitoaren eta bereizgailuaren bidez elektrodo negatibotik positiboraino mugitzen da [7]. Laburbilduz, deskargan, litiozko ioiak eta elektrodiak anodotik katodora pasatzen dira, anodoak oxidazioa jasanez eta katodoak, berriz, erredukzioa.

Karga: Kargatzean, kanpoko iturri batek energia ematen dioenean, elektrodiak kanpoko zirkuituaren bidez doaz katodotik anodora, eta litiozko ioiak, berriz, bereizgailuaren bidez mugitzen dira elektrodo positibotik elektrodo negatibora, grafito molekulekin lotuz. Zelulak kaltetu edo gehiegi berotu ez daitezzen, litiozko ioien bateriaren gehienek karga edo babes elektronikoa dute. Zelulen diseinuari egokitzen zaizkio, eta gainkargarik eta deskarga sakonik ez gertatzea bermatzen dute [7].

Katodoaren eta anodoaren arteko potentzial-diferentzia zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoa izango da tentsioa. Potentzialaren diferentzia txikia da anodoarentzat motaren arabera, baina katodoaren kasuan, potentzialaren aldea nahiko handia da orokorrean. Beraz, katodoak zeregin garrantzitsua betetzen du bateriaren tentsioa zehazteko orduan.

2.2.2 Litiozko baterietako kimikaren klasifikazioa

Litiozko hainbat bateria mota daude. Mota horietako bakoitzak bere propietateak ditu eta aplikazio desberdinetara hobeto egokitzen da. LIBen klasifikazioa anodo eta katodoen material aktiboen arabera egiten da. Oro har, bateria bateko litio ioien iturri nagusiak elektrodo positiboaren materiala edo katodoa dira. Horregatik, gaitasun handia lortzeko, litio kantitate handiak sartzen dira material horretan. Atal honetan LIB ohikoenetako sei zerrendatzen dira, gehienak, orain arte ikerketan eta merkaturatzean arreta gehien jaso duten material katodikoak:

2.2.2.1 LCO – Litio kobalto oxidoa (LiCoO_2)

Litio kobalto oxidoa LIBetan erabiltzen den katodoko materiala da. Energia espezifikoa handia duenez, katodo mota hau ohiko aukera izaten da telefono mugikorretarako, tabletetarako, ordenagailu eramangarrietarako eta kameretarako. Litio kobalto oxidoa ezin da bere mailatik kanpoko korrante batean kargatu edo deskargatu, gainberotzea ekarriko lukeelako. Ondorioz, honen aurkako babes-zirkuituak behar ditu, eta karga eta deskarga tasa gutxi gorabehera 1C-ko maila segurura mugatzen da. Energia dentsitate altuko LCOren errendimenduari dagokionez: energia espezifikoa handia du, baina karga-ahalmen mugatua (potentzia espezifikoa). Bizitza erabilgarria deskargaren sakoneraren (DOD – Depth of Discharge), kargaren eta tenperaturaren arabera da, 500-1000 ziklo ingurukoa. Segurtasun aldetik, egonkortasun termikoa baxua du. Bestalde, kobaltoaren eskuragarritasun mugatuak, honen kostua handia izatea eragiten du [9], [10].

2.2.2.2 LMO – Litio manganeso oxidoa (LiMn_2O_4)

Litio manganeso oxidoa LIBetan erabiltzen den katodoko materiala da, eta hiru dimentsiotako egitura osatzen du, elektrodo ioien fluxua hobetuz. Horrek korrontearen banaketa hobetzen du eta barne-erresistentzia murriztu, azkar kargatu eta korrante altuarekin deskargatzeko. Bere egituraren beste abantaila batzuk egonkortasun termiko eta segurtasun handia dira. Baina bizitza baliagarri mugatua duen materiala da (300-700 ziklo) [9], [10].

Litio manganesoaren edukiera litio kobaltoarena baino heren bat txikiagoa da, gutxi gorabehera. Hala ere, bateria mota honek nikelan oinarritutako bateriak baino energia gehiago ematen du, duen diseinuari esker bateria maximizatzea ahalbidetzen duelako [9], [10].

LMO katodoa tresna mediko eta elektrikoetan erabiltzen da gehien bat. Baita ibilgailu hibrido eta elektrikoetan ere. Izan ere, litio manganeso oxidozko bateria gehienak NMCarekin (Litio nikel manganeso kobalto oxidoa) nahasten dira energia espezifikoa hobetu eta bizitza baliagarri luzatzeko [9], [10].

2.2.2.3 NMC – Litio nikela manganeso kobalto oxidoa (LiNiMnCoO_2)

Nikel manganeso kobalto LIBetan erabiltzen den katodoko materiala da, eta duen arrakastaren sekretua nikelaren eta manganesoaren konbinazio katodikoan datza. Alde batetik, nikela, energia espezifikoa handiagatik, baina egonkortasun eskasagatik da ezaguna, eta beste alde batetik, manganesoak, arantzel-egitura bat osatzeko eta barne-erresistentzia txikia lortzeko abantaila du, baina energia espezifikoa txikia eskaintzen du. Beraz, bi metalen konbinazio honek beren indarguneak sustatzen ditu, energia espezifikoa handia eta dentsitate handiko potentzia emanez. Katodoen konbinazioa nikelaren heren bat, manganesoaren heren bat eta kobaltoaren heren bat izaten da, 1-1-1 ere esaten zaiona. Kobaltoak nikela egonkortzen du, energia handiko material aktiboa, baina garestia eta urria da. Beste konbinazio batzuk

NMC622 eta NMC811 dira, material bakoitzaren frakzioaren arabera. Eta zenbat eta nikel proportzio handiagoa izan, orduan eta dentsitate energetiko hobea lortuko da, baina, arrisku maila handituz [9], [10].

NMCA bizikleta elektrikoetarako, mediku tresna elektrikoetarako eta propulzio elektriko sistematarako bateriarik gogokoena da. Eta, batez ere, ibilgailu elektriko aplikazioetarako gogokoena da, duen energia espezifiko handiarengatik eta hiru materialak (nikela, manganesoa eta kobaltoa) erraz nahasten direlako automobilgintzako aplikazio eta biltegitartzeko sistemetara egokitzeko [9], [10].

2.2.2.4 LFP – Litio burdin fosfatao (LiFePO_4)

Litio burdin fosfatao LIBetan erabiltzen den katodoko materiala da. Eskala nanometrikoko fosfatzko materialarekin dago fabrikatuta, eta horri esker, erresistentzia txikia, egonkortasun termiko ona eta bizitza baliagarri luzea ditu, zehazki, 2000 ziklo edo gehiago. Katodo mota hau katodoko beste material batzuk baino fidagarriagoa eta seguruagoa da, izan ere, egonkorra da gainkarga baldintzetan eta tenperatura altuak jasan ditzake deskonposatu gabe. Baina, nahiz eta litiozko bateriarik seguruenetakoa izan, besteekin alderatuz autodeskarga handiagoa du eta tenperatura baxuek bere errendimendua murrizten dute, muturreko kasuetan abiarazteko gaitasunean eraginez. LFPa erresistentzia eta karga korrante handiak behar dituzten aplikazio eramangarri eta egonkorretarako erabiltzen da [9], [10].

2.2.2.5 NCA – Litio nikela kobalto aluminio oxidoko (LiNiCoAlO_2)

Litio nikela kobalto aluminio oxidozko (NCA) LIBetan erabiltzen den katodoko materiala da. Hau, aplikazio industrialetan, gailu medikoetan, etab. erabiltzen da. Orokorrean, NCAk NMCarekin antzekotasunak partekatzen ditu, profil altua dutelako, hau da, energia eta potentzia espezifiko handiak eta bizitza baliagarri luzea. Bizitza baliagarria (500 ziklo) deskargaren sakonerarekin (DOD) eta tenperaturarekin dago lotuta. Bestalde, segurtasunari eta kostuari dagokienez, aldiz, ez da hain kimika mesedegarria. Nahiz eta, NCA, Litio nikel oxidorekin (LNO) garapena den, eta alumunioa gehitzeak egonkortasun handiagoa eman dion kimika honi [9], [10].

2.2.2.6 LTO – Litio titanatoa ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)

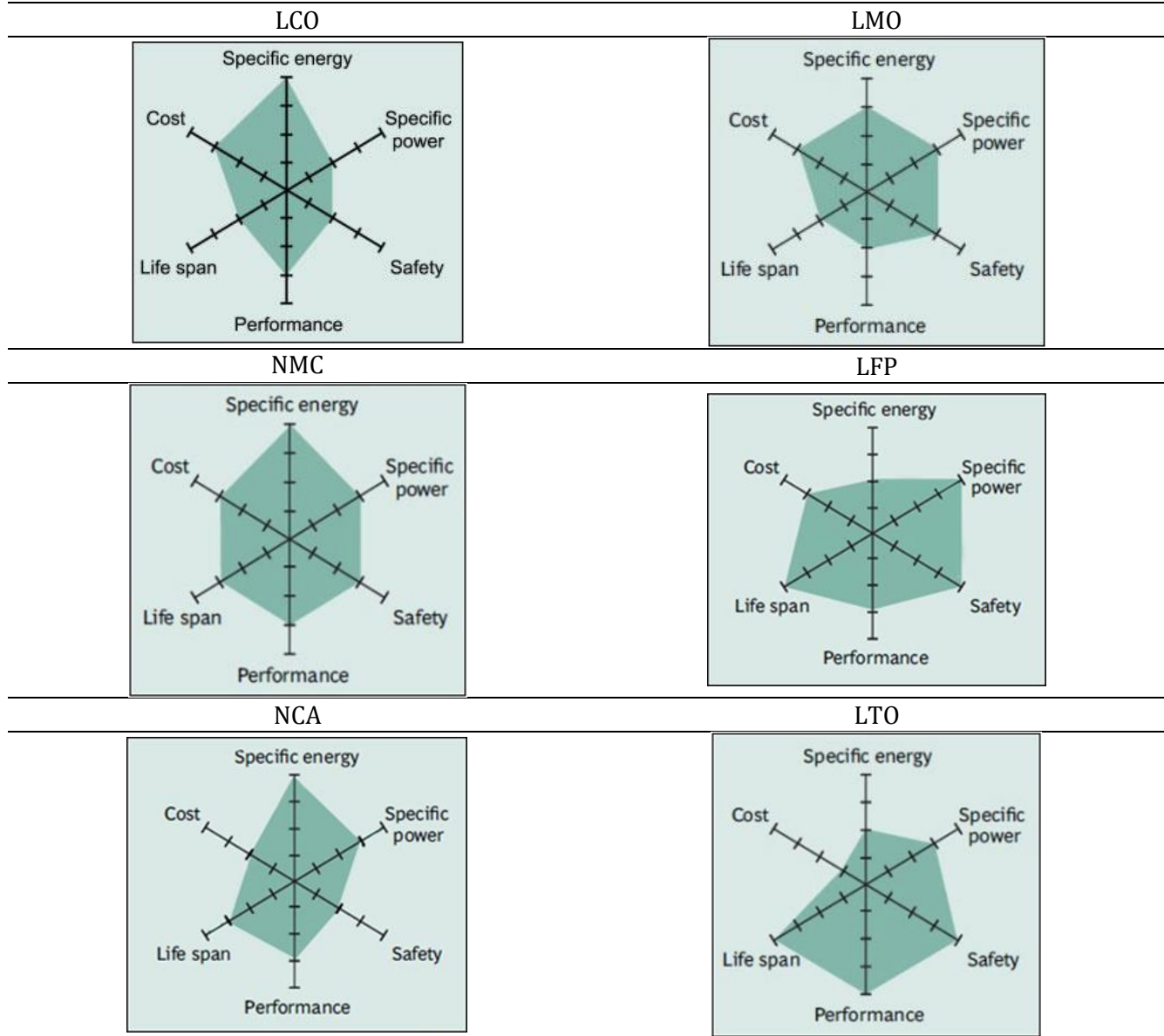
Litio titanatoa LIBetan erabiltzen den anodoko materiala da. Honek, litio ioien bateriaren anodoko grafitoa ordezkatzeko du. Laurogeiko hamarkadatik ezagutzen diren anodo hauek espinelazko estruktura dute. Eguzki-energiak elikatutako herrietako argiak, “UPS” (*Uninterrupted Power Supply*) eta “*electric powertrain*”-etan (kate zinematik elektrikoak) erabili ohi dira. Material honek karga eta deskarga tasa altuak ditu, hau da, azkar kargatu daiteke eta 10C-ko deskarga korrantea ematen du. Gainera, gaitasun handia ez ezik, bizitza baliagarri luzea du li-ioi bateria arrunt batenarekin alderatuta, 3000-7000 arteko ziklo kopuruarekin. LTO litio ioizko baterien artean seguruenetakoa da, esaterako, tenperatura baxuetan deskargatzeko ezaugarri bikainak ditu. Tenperatura altuetako egonkortasun termikoa ere beste litiozko baterietakoa baino hobea da. Hala ere, ez dauka energia espezifiko alturik, eta bateria garestia da [9], [10].

2.2.2.7 Laburpena eta konparaketa

Elektrodoetako materialen ezaugarriak direla eta, hauen arteko alderaketa ikus daiteke 2. Taulan. Bertatik ondorio gisa atera daiteke seguruena LFP eta LTO direla, hau da, energia espezifiko baxuena dutenak. Alderantziz ere hala gertatzen da, energia espezifiko altuak segurtasuna jaisteak dakar, esaterako LCO, NMC eta NCAren kasuan. Beste ezaugarri aipagarri bat, orokorrean bizitza baliagarria eta segurtasuna batera doazela da: biak altuak, biak baxuak, eta abar...

2. Taula Litio ioizko bateria moten ezaugarri komunak [10]

Li-ioi baterietako materialen ezaugarri amankomunak

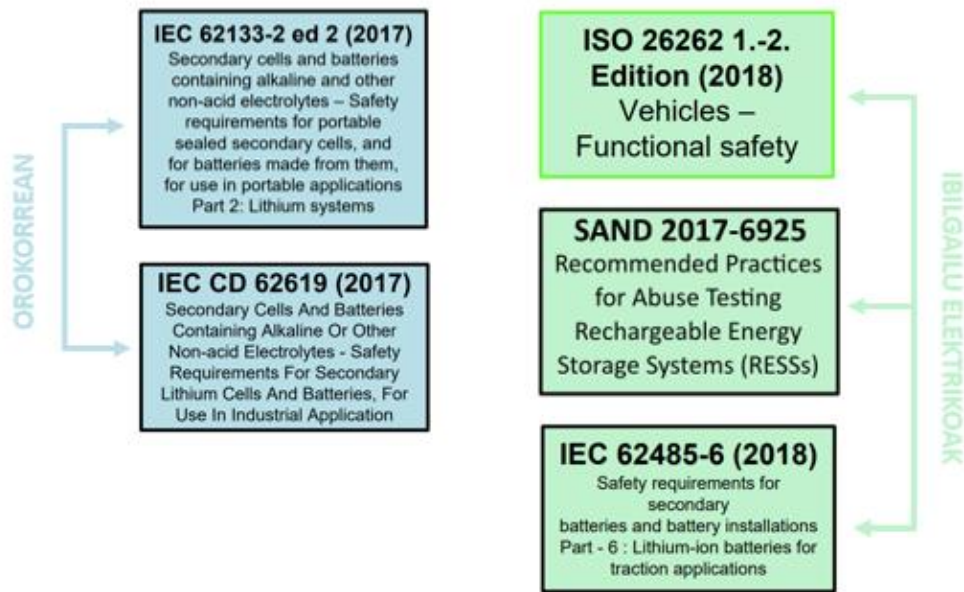


2.3 Segurtasuna baterietan

Dokumentuaren atal honetan, litio-ioizko bateria batek izan ditzakeen arriskuak eta hauek eragiten dituzten kausak identifikatu dira, kimikoen artean alderatu beharreko parametroak ezarriz. Horretarako, existitzen diren araudiak eta jarraibideak aztertu dira.

Segurtasun-arrisku posibleak ikertzeko, aplikatzen diren araudiak identifikatu dira. Ibilgailu edo auto elektrikoak bateriak erabiltzen dituzten aplikazio garrantzitsu bat direnez, atal hau aplikazio honetara bideratzea erabaki da, eta, hortaz, aplikazio hauetan zentratutako araudiak identifikatu dira:

Baterien segurtasun egoera (SOS) iragartzea



5. Irudia Safety and standards of lithium ion storage systems

5. Irudian litiozko baterien araudi batzuk erakusten dira, hauen segurtasunaren gainean. Bertan, alde batetik, segurtasun arau orokorrak daude, hau da, bateriak erabiltzen diren aplikazio industrialetako arauak. Bestalde, eskubikoak, ibilgailu elektrikoetara bideratutako araudiak dira, beti ere hauen segurtasuna bermatzeko. Beste araudi anitz daude biltegitratze sistemei zuzenduta, baina 5. Irudian agertzen direnak lan honetarako erabili edo begiratu direnak dira.

Litiozko bateriak bere funtzionamendu-eremutik kanpo erabiltzeak arriskuak ekartzen ditu. Eta, beraz, auto elektrikoetan aplikatzerako, abusuzko testak **IEC 62619:2022** arauaren arabera pasatu dituela ziurtatu behar da.

Abusuzko test hauek bi kategoriatan banatzen dira. Alde batetik, produktuaren segurtasun probak:

- T1: Kanpo-zirkuitulaburra
- T2: Inpaktua
- T3: Erorketa
- T4: Abusu termikoa
- T5: Gainkargaren testa
- T6: Deskarga behartua
- T7: Barne-zirkuitulaburra

Beste alde batetik, segurtasun funtzionalaren probak (sistema mailan):

- T8: Tentsioa kontrolatzea gainkargan
- T9: Korrante-kontrola gainkargan
- T10: Gaintemperaturaren kontrola

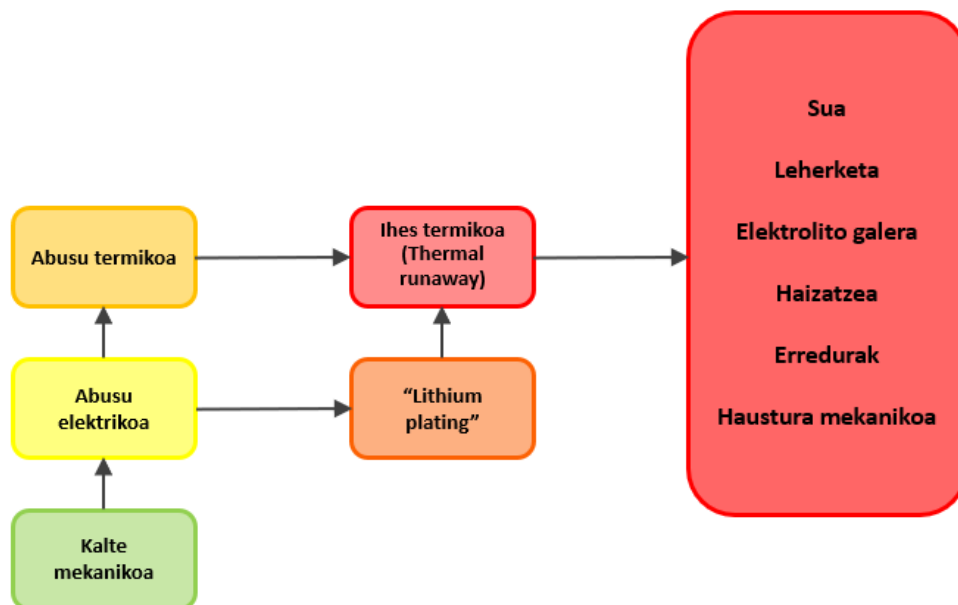
IEC 62133:2012 *“Acumuladores alcalinos y otros acumuladores con electrolito no ácido. Requisitos de seguridad para acumuladores alcalinos estancos portátiles, para uso en aplicaciones portátiles.”* dokumentuak dioenez, baterien segurtasuna bermatzeko, bi baldintza mota hartu behar dira kontuan bere erabileraren arabera:

- aurreikusitako erabilera;
- aurreikusteko moduko abusuzko erabilera.

Bateriak, beraz, aipaturiko bi erabileretan seguruak izateko moduan eraiki behar dira. **IEC 62133** arauan arrisku potentzial hauek hartzen dira kontuan:

- a) Sua
- b) Leherketa
- c) Elektrolitoa galtzea
- d) Haizatzea
- e) Kanpoko tenperatura altuegiek eragindako erredurak
- f) Barne-osagaiak agerian uzten dituen bateriaren kanpo kaxa haustea

Litiozko baterietan ekidin beharreko arriskuak identifikatu ondoren, ezinbestekoa da arrisku potentzial horiek eragiten dituzten kausak identifikatu eta aztertzea. 6. Irudian, LIBetan gertatzen diren segurtasun arazo ohikoenak daude.



6. Irudia Akats mekanismoak litiozko baterietan

6. Irudian ikus daitezkeen bezala, abusuzko egoerek barne-ondorioak eta kanpotik ikusi daitezkeen ondorioak sortzen dituzte. Barne ondorio orokorra ihes termikoa izan ohi da. Ihes termikoa, baterian sortzen den bero kantitateak bateriak disipatzen duen bero kantitatea gainditzen duenean gertatzen da. Honek, ondoren, kanpotik ikusi daitezkeen ondorio larriak sortzen ditu, hala nola sua, leherketa...

2.3.1 Kalte mekanikoa

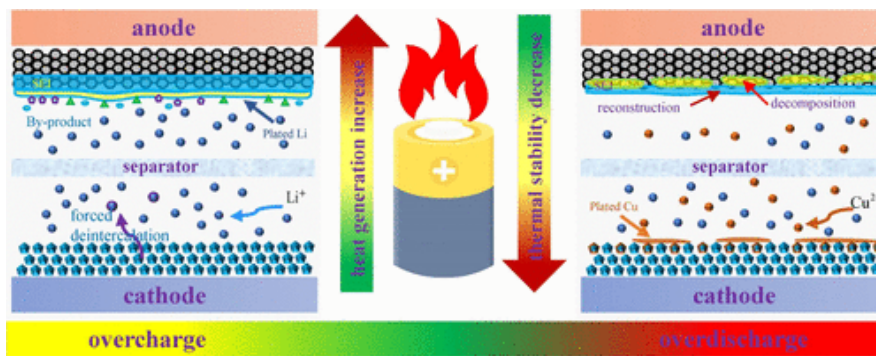
Efektu mekanikoak erraz ikus daitezkeenak dira, kalte elektriko edo termikoekin alderatuz. Esate baterako, bateriaren kanpoko deformazioa, hedapena edo puztea bateria lehen bezala ez dagoela adierazten duten seinale argiak dira [2]. Bateriak jasan beharreko kalte mekanikoak bibrazioa, talkak edo zulaketa (“*nail penetration*”) deritzona dira. Hauek, arrisku handirik sortu gabe pasa behar dituzte.

Abusu mekanikoaren kalteak zirkuitulaburrak, erreakzio exotermikoak eta temperatura igoera handiak (*thermal runaway* sortuz) dira. Beste abusuak baino ondorio garrantzitsuagoak dira, izan ere, besteetan barne egitura bakarrik kaltetu ohi da.

Ibilgailu elektrikoetan gehien erabiltzen diren bateriak litiozkoak direnez, eta hauek energia dentsitate handia daukatenez, kanpoko kalteek eragin handia eduki dezakete (adibidez talkak) ihes termikoa erraz sortuz [2].

2.3.2 Abusu elektrikoa

Litiozko bateria bat abusu elektrikoa jasaten ari dela esan daiteke, gainkarga, gaindeskarga ala zirkuitulaburren bat jasaten ari bada.



7. Irudia Gainkarga eta gaindeskarga baterietan [11]

2.3.2.1 Gainkarga (OV, over voltage)

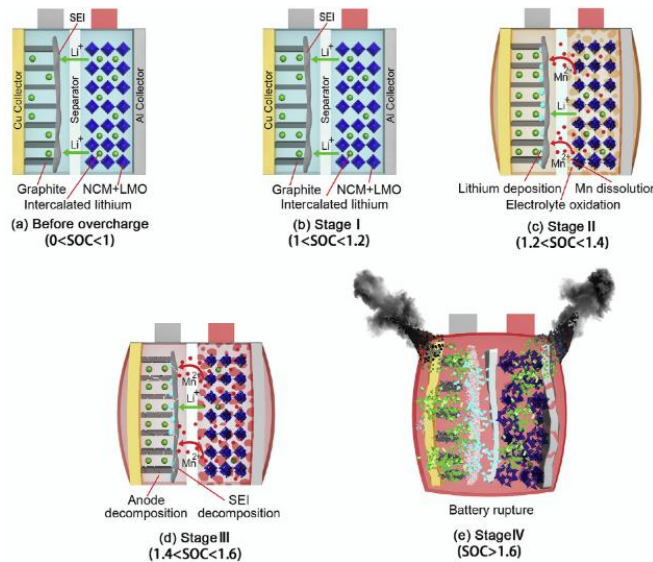
Baterietako gainkarga bateriak biltegitatu dezakeen energia elektrikoa gainditzen denean gertatzen da, korrante edo tenperatura altuek edo jarraituek eraginda. Honengatik, erreakzio batzuk agertzen dira, ihes termikoaren arduradunak [12]:

- a) Litiozko metalak anodoan geratzea (Lithium plating)
- b) Katodoko materialaren deskonposizioa (O₂ askatuz)
- c) Elektrolitoaren deskonposizioa (Beroa eta H₂, CO askatuz)

Beraz, gainkargak, barne zirkuitulaburrak sortu, tenperatura igo eta bateriaren bizitza baliagarria gutxitzeaz gain, arrisku handia du, bateria barnean gas sukoiak sor ditzakeelako.

Adibidez, 8. Irudian, gainkarga prozesu bat ikus daiteke. Lehenik, bateria gainkarga aurretik ikusten da. Segidan, gainkarga prozesua hasten da, bateriaren tentsioa handituz. Hori dela eta, bateria barruan

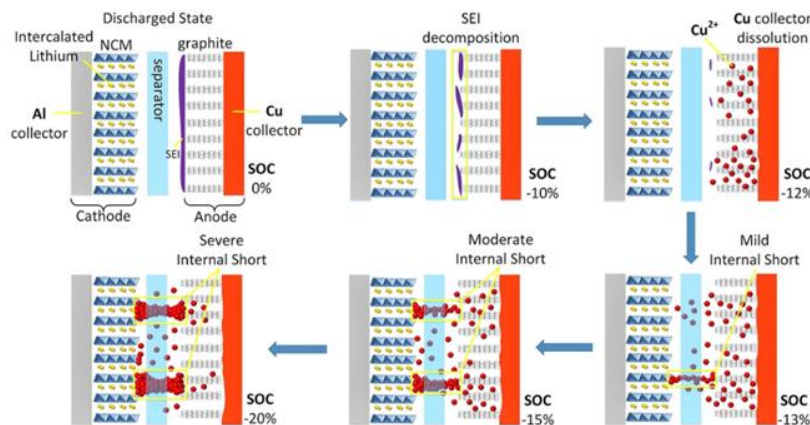
erreakzioak hasten dira, eta hauen ondorioz bateriaren temperatura azkar igotzen da eta bateria putzu egiten da. Azkenik, bateria inguratzen duen materiala hautsi eta ihes termikoa gertatzen da [2].



8. Irudia Gainkargaren prozesua [2]

2.3.2.2 Gaindeskarga (UV, under voltage)

Gaindeskarga zelula bat deskargatzen jarraitzen behartzen denean gertatzen da. Adibidez, 9. Irudian ikus daitekeen bezala, karga egoera (SOC) 0tik jaisten denean, %-10 arte jaisten jarraitzen duen heinean SEIaren deskonposizioa gertatzen da. SOCak jaisten jarraitzen badu, grafitozko anodoan, kobrezko (Cu) kolektorearen disoluzioa hasten da, kobrezko ioiak askatuz eta oxidazioa sortuz. Ioi horiek, anodotik eta bereizgailutik igarota, katodoaren gainazalean kokatzen hasten dira, dendritak sortuz, eta, ondorioz, barne-zirkuitulaburrak eraginez [2].



9. Irudia Gaindeskargaren prozesua [2]

2.3.2.3 Zirkuitulaburra

Zelula bateko zirkuitulaburrak bi eratakoak izan daitezke, kanpokoak edo barnekoak. Litiozko baterietako barne zirkuitulaburra (ISC) abusu elektriko, mekaniko eta termikoen ondorio ohikoenetako bat izaten da, Baterien segurtasun egoera (SOS) iragartzea

eta normalean ihes termikoa sorrarazten du [13]. Barnekoa, katodoa eta anodoa banatzen dituen bereizgailuak akatsen bat duenean gertatzen da. Kanpo zirkuitulaburra, aldiz, bateriaren terminal positiboa eta negatiboa erresistentzia baxu baten bidez konektatzen direnean gertatzen da. Bi motek biltegitratutako energiaren gaindeskarga eragin dezakete, beroa sortuz [14].

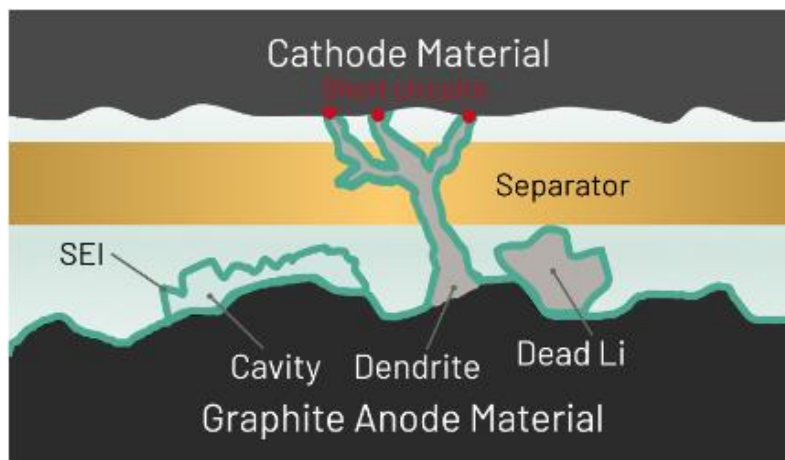
2.3.3 Abusu termikoa

Abusu termikoen kasuan, bateriak tenperatura lokalaren igoera ala “*thermal shock*”-a jasaten du. Eskuarki, bateria baten barnean topatutako tenperatura igoerek diseinuarekin edukitzen dute zerikusia, diseinu okerrak beroa disipatzean arazoak eman ohi ditu. Anodo eta katodoaren arteko erreakzio normaletan sorturiko beroa disipatzeko gai izan behar da bateria. Gai ez bada, beroa barnean pilatzen joaten da eta tenperatura batetik aurrera, “Ton” (Onset tenperatura), erreakzio exotermikoek estres termikoa areagotzen dute. Estres termikoak eta presioaren gorakadak leherketa eragiten dute. Gainera, bateria kargatzean ibilgailu elektrikoek sua har dezakete [2].

2.3.4 Lithium plating

“*Lithium plating*” fenomenoa baterien anodoan gertatzen da, anodora iristen diren litiozko ioiek ezin dituztenean anodoaren materiala eta litio metalikoa bereizi. Litiozko baterietan anodorik ohikoena grafitozkoa (karbonoa) izaten da. “*Lithium plating*”-a, beraz, litiozko ioiak anodoan forma metalikoan geratzea da, bertan dendritak sortuz [15].

Fenomeno hau abusu termiko eta elektrikoengatik gertatzen da gehien bat. Bateriak C-rate balio altuetan, karga egoera (SOC) altuetan eta/edo tenperatura baxuetan kargatzen direnean gertatzen da [16]. Dendriten sorrerak zirkuitulaburrak eta ihes termikoa izan ditzake ondorio gisa:



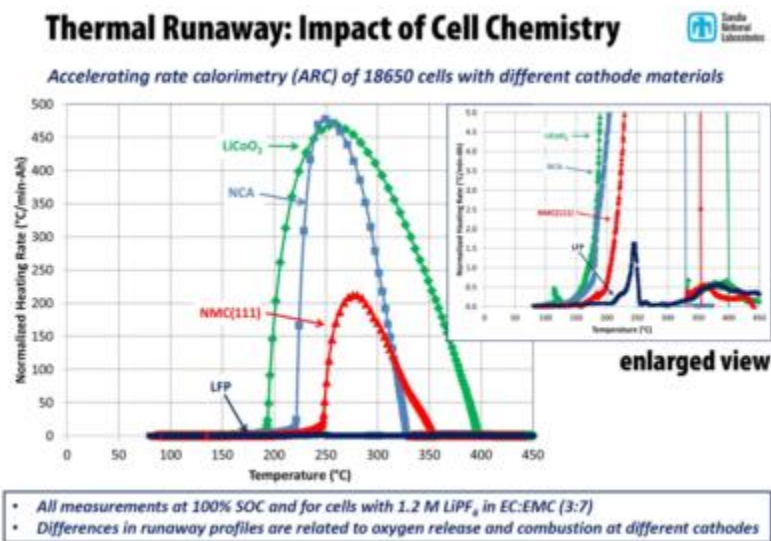
10. Irudia Dendritek eragindako zirkuitulaburrak [15]

2.3.5 Ihes termikoa (Thermal runaway)

Ihes termikoa baterientzako dagoen arriskurik kaltegarriena da. Honen kausa nagusiak bereizgailu akastunak eta katodoak askatutako oxigenoa izaten dira. Orokorrean, “*Thermal runaway*”-a abusu mota guztien ondorio izan daiteke: abusu mekaniko, termiko zein elektrikoena. Fenomeno hau sorrarazten duten kausa nagusien jatorri ezberdinak identifikatu dira. Alde batetik, bereizgailua hautsi edo bereizgailuari

akatsen bat sortzen dizkioten gertakizunak daude: abusu mekaniko eta termikoak. Kalte mekanikoek akatsak sortu ohi dituzte bereizgailuetan, eta, ondorioz, erreakzio kimiko eta bero kantitate handiak askatzen dira. Abusu termiko lokalak, hau da, bateriak bere funtzionamendu normalean sortutako beroa erritmo egokian ez disipatzeak, bereizgailuaren haustura dakar. Abusu elektrikoek ere sortzen dituzte kalteak bereizgailuan, katodoaren interfasean gertatzen den elektrolitoaren deskonposizioak beroa metatzen duelako. Beste alde batetik, baterian arrazoi ezberdinengatik sortzen den bero menderaezinak katodoko materialetik oxigenoa askatzea eragiten du. Hau, abusu elektrikoaren ondorioetako bat era bada [2].

Baterien segurtasunean kontuan hartu beharreko arriskua da ihes termikoa, izan ere, ondorio larriak izan ohi ditu, hala nola sua, leherketa, etab.



11. Irudia lhes termikoan katodo material desberdinek sortutako energia [17]

2.4 Litio-ioizko bateriaren arriskuak

Atal honetan, litiozko bateriei lotutako arriskuak aztertzen dira hauen kimikaren arabera. Bateria bateko anodoa eta katodoa ezinbesteko elementuak dira bateria baten funtzionamenduan, oxidazio-erredukzio erreakzioa burutzen dute elektroien transferentziaren bidez. Kasu askotan, arriskuak anodoaren eta katodoaren fabrikaziotik datoz, eta ez bi hauen arteko konbinaziotik. Elementu bakoitza bere aldetik aztertu da, segurtasun mailarik handiena topatu ahal izateko anodo/katodo konbinazioan.

2.4.1 Anodoa

Litiozko bateriak fabrikatzeko, bateria mota hau sortu zenetik, gehien erabiltzen den anodoko materiala grafitoa da, eroankortasun elektriko altuagatik eta energia espezifiko onagatik. Gainera, material hau ugari dago, koste baxua du, energia-dentsitate handia, potentzia-dentsitatea eta ziklo luzeko bizitza erabilgarria [18].

Etorkizunera begira, silizioa anodoko material bezala erabiltzea indarra hartzen ari da. Batez ere, auto elektrikoaren baterietarako. Izan ere, bateriak energia gehiago biltzeko gai izango dira espazio gutxiago okupatuz. Gainera, silizio-anodoak dituzten bateriek karga azkarragoak izatea espero da. Guzti honengatik, auto elektriko arinagoak sortzea ahalbidetuko dela espero da, autonomia gehiagorekin.

Gaur egun, bateria batzuetan grafitoarekin nahasita dago silizioa, proportzio txiki batean, bateria hauen gaitasun espezifiko hobetzeko helburuarekin.

Hortaz, bateriako anodoak funtsezko eginkizuna du errendimenduan. Bateriaren portaera, anodoaren materialaren berezko propietateen arabera izaten da, hala nola propietate fisikoak, kimikoak eta energia biltegitzeko gaitasuna. Aitzitik, anodoaren materialaren egituraren arabera ere bada, eta, baita osagaien formaren, tainaren eta egoeraren arabera ere.

3. Taula Silizio eta grafito anodoen propietate elektrokimikoak [19]

ANODOA	Dentsitatea (gcm ⁻³)	Fase litiasikoa	Gaitasun teoriko espezifiko (mAh ⁻¹)	Karga teorikoaren dentsitatea (mAhcm ⁻³)	Bolumen aldaketa (%)	Potentziala vs. Li (~V)
Grafitoa	2.25	LiC ₆	372	837	12	0.05
Silizioa	2.33	Li _{4,4} Si	4200	9786	320	0.4

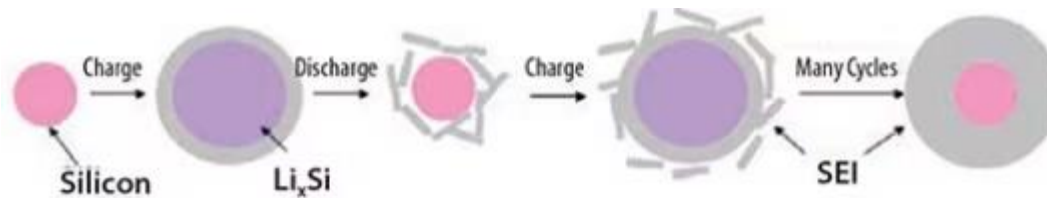
3. Taulan ikustenenez, silizioaren gaitasun espezifiko grafitoarena baino 10-12 aldiz handiagoa da. Honek, tamaina bereko bateria batean askoz ere energia gehiago egon daitekeela esan nahi du, eta ezaugarri honi esker lor daitezke autonomia handiagoko auto elektrikoak. Bi anodo material ezberdin hauek abantailak zein desabantailak dituzte.

4. Taula Grafitoaren eta Silizioaren abantailak/desabantailak [20]

Materiala	Abantailak	Desabantailak
Grafitoa	Eroankortasun elektriko handia	Gaitasun espezifiko txikia
	Egitura hierarkiko ona	Gaitasun tasa txikia
	Baliabide ugari eta kostu txikikoak	Segurtasun arazoak
Silizioa	Gaitasun espezifiko altuena	Bolumen aldaketa handia (%300)
	Baliabide ugari, garbiak eta kostu txikikoak	

Segurtasunari dagokionez, grafitoak duen lan potentzial baxua dela eta, litiozko ioiak etengabe uzteak dendritak sortzea dakar, eta, ondorioz, segurtasun arriskuak. Bateriaren kargan eta deskargan, anodoko materialak, grafitoak, gutxi gorabehera %10-eko bolumen aldaketa jasango du. Hau, litiozko ioien interkalazio eta desinterkalazioarengatik da. Tamaina aldaketa dela eta, SEI geruza pitzatu daiteke, anodoaren eta elektrolitoaren kontaktua eta erreakzioa ekarriz [21]. Silizioari dagokionez, bere erabilera praktikoak ez du aurrera egin, hainbat arazo nagusirengatik. Lehenik, materialaren zikloek iraupen eskasa

izaten dute, litiozko ioien interkalazio eta desinterkalazioarekin batera izugarrizko bolumen aldaketa jasaten duelako (>%300). Azkenik, elektrolito solidoaren interfasea (SEI) hautsi egiten da deslitzazioan. Horrenbestez, silizioaren gainazala elektrolitoaren eraginpean jartzen da eta SEIa berriro osatzen da, karga/deskarga ziklo bakoitzarekin lodituz (12. Irudia) [22].



12. Irudia SEIaren osaketa silizio puruko gainazal batean, karga/deskarga zikloetan [22]

2.4.2 Elektrolitoa

Erabiltzen den elektrolitoa garrantzi handikoa da, izan ere, bateriaren errendimenduan eragin handia du. Mota askotarikoak daude: elektrolito urtsuak, polimerikoak, solidoak eta organikoak. Gaur egun, ibilgailu elektrikoetan (EV) erabiltzen diren organikoak izaten dira (EC, PC, DMC, DEC eta EMC). 5. Taulan disolbatzaile ohiko hauen propietateak azaltzen dira.

5. Taula Elektrolito ohikoenen propietateak [21]

Elektrolitoa	Konstante dielektrikoa	Irakite puntua ° C	Izozte puntua ° C
EC (<i>Ethylene carbonate</i>)	90	238	36
PC (<i>Propylene carbonate</i>)	65	242	-49
DMC (<i>Dimethyle carbonate</i>)	3.1	90	5
DEC (<i>Diethyle carbonate</i>)	2.8	127	-74
EMC (<i>Ethyle methyle carbonate</i>)	3	108	-53

Elektrolitoen propietateek lotura zuzena dute bateriaren segurtasunarekin. Esate baterako, ECK eroankortasun hobea eta konstante dielektriko altuagoa ditu, eta horrek bateriaren bizitza baliagarria hobetu dezake eta kalitate hobeko SEI geruza eratu. Baina, giro tenperaturan egoera solidoan egoten da. PCak, berriz, konstante dielektriko handia edukitzeaz gain, izozte puntu baxua du. Hala ere, anodoaren gainazalean deskonposatu daiteke, eta, beraz, sorturiko SEI geruza ez da kalitate onekoa izaten, grafitoaren esfoliazioa eta grafito partikulen pitzadura ekarri. DMCak konstante dielektriko baxua du, eta bateriaren errendimendua bermatzeko disolbatzaile bat baino gehiagoren nahasketa erabiltzen da [21].

2.4.2.1 Elektrolito solidoak (SE)

Nahiz eta, gaur egun, automobil elektrikoetan elektrolito erabiltzen diren urtsuak diren, hau da, likido egoeran daudenak, etorkizunera eta segurtasunari begira solido egoerako elektrolitoak (SE) aurrerapen teknologiko handia dira. Hona hemen hauen abantailak [23]:

- Egonkortasun termiko altua, su edo leherketa arriskua mugatuz
- Segurtasun handiagoa funtzionamenduan
- Higadurarekiko erresistentzia
- Egoera solidoarengatik ez dago elektrolito ihesik
- Karga bizkorragoa
- Energia biltegitratzeko dentsitate handiagoa

6. Taulan elektrolito likido eta solidoen arteko aldeak erakusten dira, abantailaren arabera bietatik hobereena dena 1. zenbakiarekin adieraziz, eta okerragoa dena, aldiz, 2. -rekin.

6. Taula Elektrolito likido eta solidoen arteko aldeak

Abantailak	SOLIDOAK	LIKIDOAK	Iruzkina
Degradazio nabarmen bat erakutsi aurretik egindako zikloak	1.	2.	*Likidoak: 2000-3000 ziklo *Solidoak: 10000 ziklo
Segurtasuna	1.	2.	Egoera solidoarengatik ez dago elektrolito ihesik, ez ebaporatzeko arriskurik
Dentsitate energetikoa	1.	2.	*10 aldiz altuagoa, biek tamaina bera edukita
Egonkortasun termikoa	1.	2.	Sua edo eztanda egiteko aukera gutxiago
Ekonomikoki	2.	1.	Likidoak merkeagoak dira
Trinkotasuna eta arintasuna	1.	2.	SEk gutxiago okupatzen dute

*Elektrolitoaren egoera solidoak, anodo eta katodoan beste material batzuk erabiltzeko aukera ematen digu, eta horregatik edukiko du bateriak bizitza baliagarri luzeagoa ala dentsitate energetiko altuagoa.

6. Taulan ikus daitezkeen bezala, egoera likidokoekin alderatuz abantaila nabarmenak dituzte egoera solidoen elektrolitoek. Onura hauek direla eta, auto elektrikoaren bateriaren kapazitatea eta autonomia areagotzen dira. Hala ere, oraindik ere garapen etapan daude azkeneko hauek. Gainera, SEak aurretik aipaturiko siliziozko anodoekin jarri nahi dituzte martxan, oraindik eta bateriak seguruagoak lortzeko.

2.4.3 Katodoa

Aurretik esan bezala, litiozko bateriek material ezberdinetako katodoak erabiltzen dituzte, eta ezagunenak LMO, NCM, LFP, NCA eta LCO dira. Gaur egun, aldiz, auto elektrikoetan erabiltzen direnak dira. Bertan, bakoitzaren energia espezifikoak eta tentsioa litioaren aurrean erakusten dira.

7. Taula Katodo ohikoenen ezaugarriak [24]

Materiala	Energia espezifikoa (mAh/g)	V vs Li(V)
NMC	140 – 180	~3.8
LFP	160	3.45
NCA	200	3.73

Halaber, 2.2.2 atalean aipatu diren ezaugarriak zein elektrodo positibo hauen beste hainbat ezaugarri bildu dira 8. Taulan.

8. Taula Katodoen beste ezaugarri batzuk [10]

Materiala	Tentsioa [V/zelulako]	Energia espezifikoa [Wh/kg]	Bizi zikloak	Ihes termikoa [°C]	Kostua [\$/kWh]
NMC	3.0 – 4.2	150 – 220	1000 – 2000	210	420
LFP	2.5 – 3.65	90 – 120	≥ 2000	270	580
NCA	3.0 – 4.2	200 – 260	500	150	350

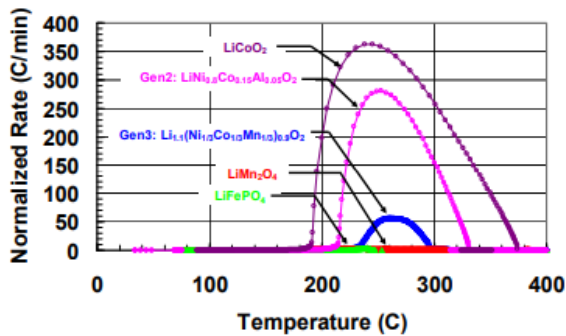
Katodoaren aukeraketa garrantzi handiko kontua da, eragin handia duelako zelula baten segurtasunean, eta, beraz, ezinbestekoa da haren ezaugarriak kontuan hartzea. Auto elektrikoetan erabiltzen diren baterietako hiru teknologia nagusiek abantaila eta desabantaila argiak dituzte (9. Taula).

9. Taula Katodoko teknologien konparaketa [25]

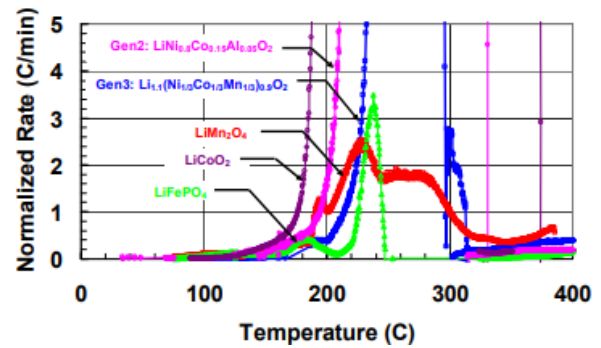
Ezaugarriak	NMC	LFP	NCA
Dentsitate energetikoa (<i>Energy density</i>)	2º	3º	1º
Espazioa okupatzea (<i>Space occupation</i>)	1º	2º	1º
Segurtasuna (<i>Safety</i>)	2º	1º	2º
Erresistentzia termikoa (<i>Temperature resistance</i>)	Tenp. baxua	Tenp. baxua	Tenp. altua
Kargaren eraginkortasuna (<i>Charging efficiency</i>)	1º	2º	1º
Zikloaren iraupena (<i>Cycle life</i>)	3º	1º	2º

Baterien dentsitate energetikoa handitu ahala, segurtasuna jaitsi egiten da. Hiru teknologietan seguruena LFP da. Izan ere, katodoaren deskonposizioan, Litio burdin fosfatoak (LFP) ez du ia oxigenorik sortzen, ia mespretxagarria dela esan daiteke, beste teknologia guztiek ez bezala. Normalean, bateria bateko tenperatura igotzen bada, katodoak oxigenoa askatzen du, eta anodoko karbonoarekin erreakzionatzean, erreakzio exotermikoak sortzen dira. Hauek, gas kaltegarriak ekartzeaz gain, ihes termikoa gertatzeko arriskua ekartzen dute, egoten den tenperatura igoera handiarengatik.

Beraz, katodoetarako teknologia ezberdinen egonkortasun termikoa aztertu beharreko ezaugarria da, ihes termikoa ekiditeko, eta, ondorioz, sua edo leherketak. Horretarako, Onset temperatura eta sortutako beroa (W) dira kontuan hartu beharreko parametroak. 13. Irudian kimika ezberdinetako katodoen ihes termikoaren profila erakusten da, ARC (*Accelerating Rate Calorimetry*) teknikarekin katodoei entsegua egin eta gero lortutako emaitzak dira [26]. ARC testak egonkortasun termikoari buruzko informazioa ematen du.



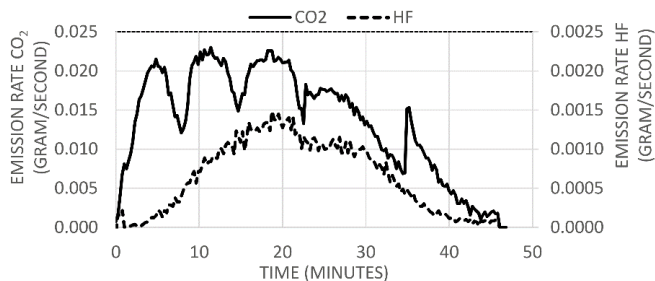
13. Irudia Katodo desberdinen egonkortasun termikoa [26]



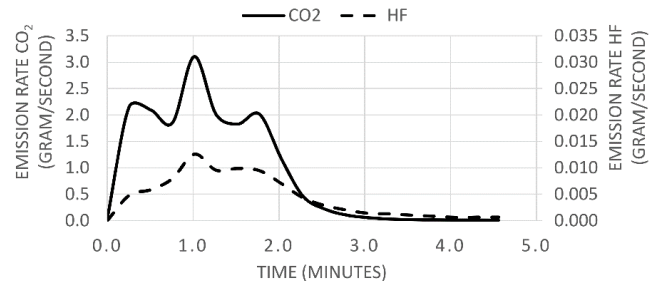
14. Irudia Katodo desberdinen egonkortasun termikoa gertutik [26]

13. Irudian eta 14. Irudian katodo bakoitzaren Ton (Onset temperatura) eta barne-berotze handiena agertzen dira, bost katodo ezagunenentzako. Autoetan erabilitako hiru ohikoenetan zentratuz, ezegonkorrena NCA eta egonkorrena, aldiz, LFP direla ikusten da. Bigarren irudian, 14. Irudian, datu berak, baina beste balio tarte batekin agertzen dira, egonkorrenen balioak hobeto ikusteko (LFP, LMO).

Funtsean, LFPk ez du ia gasik isurtzen. Hori dela eta, sua/eztanda sortzeko aukera gutxi daude. 15. Irudian eta 16. Irudian, LFP eta NMC katodoen arteko aldea ikus daiteke, biek isurtzen duten CO₂ (Karbono dioxidoa) eta HF (Hidrogeno fluoruroa) kopurua.



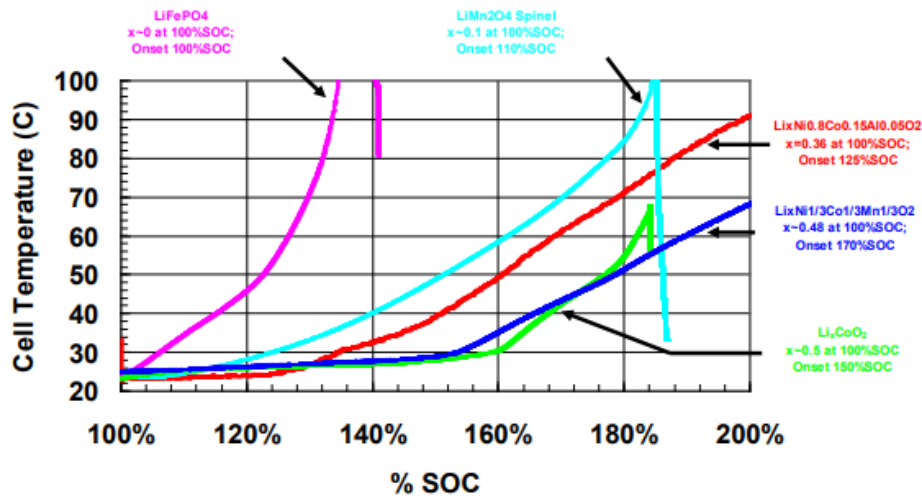
15. Irudia Grafitoa/LFP zelula baterako CO₂ isurketa [27]



16. Irudia Grafitoa/NMC-LMO zelula baterako CO₂ isurketa [27]

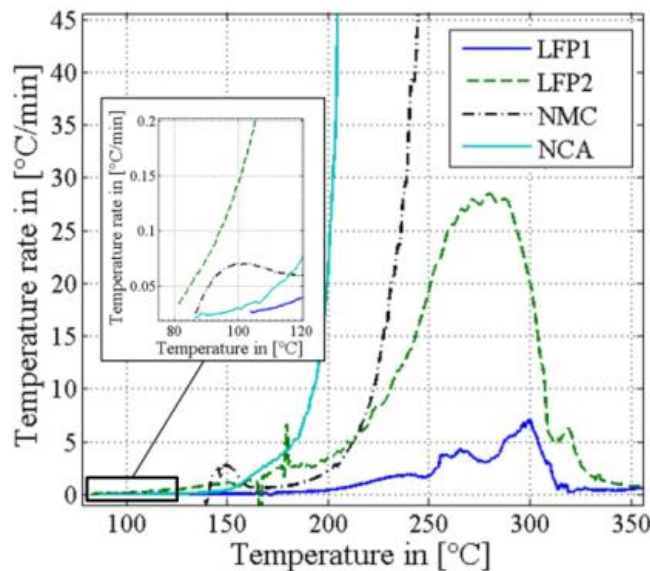
Aipatzekoa da bi argazkietan ardatzetako tartea ezberdinak direla, lehenengoaren kasuan CO₂ tartea ehun aldiz txikiagoa da. Denborari begiratu, bigarren kasuko lehenengoaren hamarren bat da.

Oro har, egonkortasun termiko altuko katodoek, tolerantzia tarte txikiak izaten dituzte gainkargan (LFP<NCA<NMC). 17. Irudian ikus daitekeen bezala, LFP SOCaren %100etik gora kargatzen bada segituan iristen da Onset temperaturara, bere temperatura oso azkar igoz. NCA, berriz, SOCaren %125etik gora iristen da Onset temperaturara. Eta, azkenik, NMC, SOCaren %170etik gora.



17. Irudia Temperaturaren igoera gaintentsioan [24]

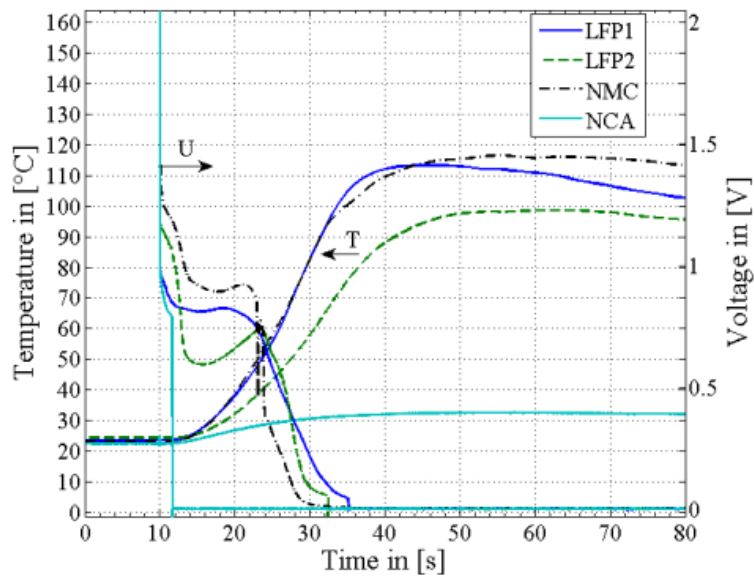
[28]-n hiru teknologiak ikertu dira, NMC/C, NCA/C eta LFP/C-ren segurtasun portaerak, test desberdinak eginez. Anodoko material gisa grafitoa (C) erabili da.



18. Irudia ARC testaren emaitzak, Onset temperaturaren zoom-a eginda

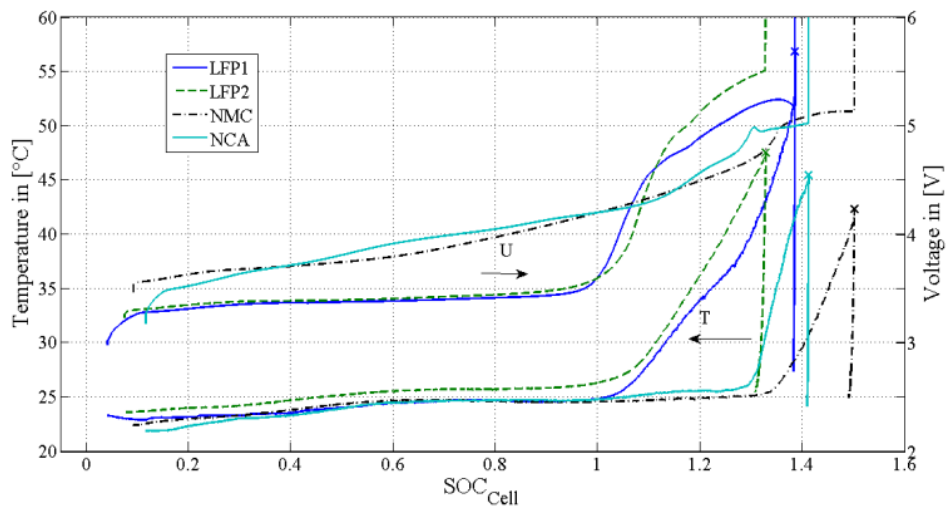
18. Irudiak LFPk egonkortasun termiko altuena duela erakusten du, honek, deskonposizioan, ez duelako erreakzio exotermikorik sortzen. Gainera, emaitzek, NMC/C-ren egonkortasun termikoa NCA/C-rena baino handiagoa dela erakusten dute.

Zirkuitulaburren kasuan, korrante altuaren ondorioz, zelula berotu egiten da. Honek, lotura estua du aurretik aipatutako egonkortasun termikoarekin (19. Irudia).



19. Irudia Zirkuitulaburreko testaren temperatura eta tentsio profilak

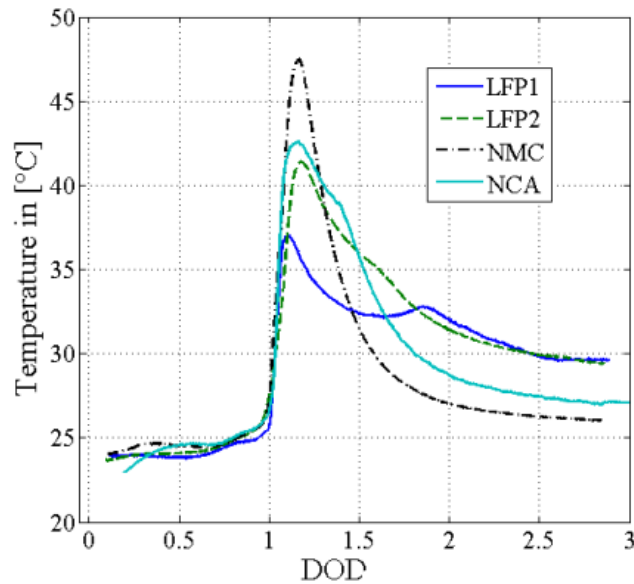
Gainkarga, litio ioien zelula batean gerta daitekeen akatsik larrienetako bat da (20. Irudia).



20. Irudia Gainkargaren portaeraren konparaketa

Aurretik aipatu bezala, ikus daiteke, LFP teknologia SOCa 1 denean dagoeneko erreakzionatzen hasten dela. Hau, LFP katodoa dagoeneko ia erabat deskargatua dagoelako da.

Gaindeskarga behartua seriean konektatutako zelula batzuek eragin dezakete (21. Irudia).



21. Irudia Temperatura denboran gaindeskargatutako Li-ioi zeluletarako

Nahiz eta tenperaturatik altuenera NMC/C teknologia iritsi, teknologia bakar bat ere ez da tenperatura arriskutsuetara iristen.

Emitza hauetan LFP/C zelulen egonkortasun termikoa egiaztatzen da, eta honekin, seguruagoak direla abusu termiko eta elektrikoetan. Hala ere, gainkargari dagokionez, LFP katodoak ez dauka erreserbarik, eta segundo gutxitan kaltetzen da, atzera bueltarik gabe. Bukatzeko, kimikaz gain, zelula bakoitzaren diseinu zehatza funtsezkoa da bere segurtasunerako [28].

10. Taulan auto elektrikoetako litiozko bateria ohikoenen hutsegite mekanismoak laburtu dira hauen arriskugarritasun mailak kontuan hartuz, erabilitako katodoaren arabera.

10. Taula Hutsegite mekanismoak vs katodoaren kimika

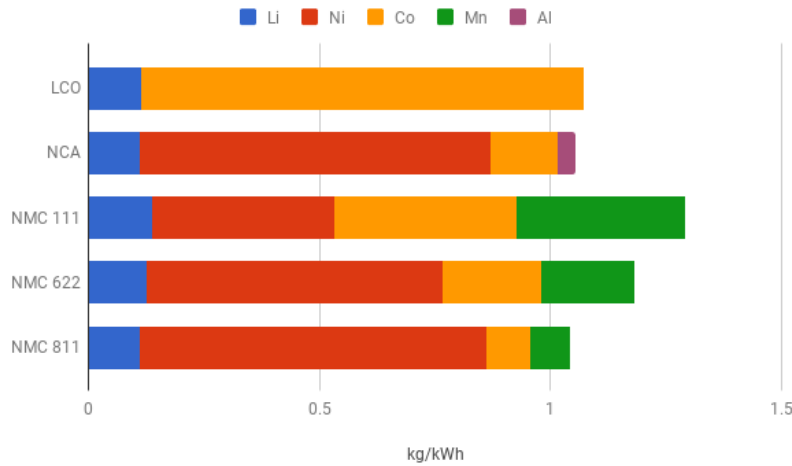
Ranking-a	Egonk. termikoa	Zirkuitulaburra	Gainkarga	Gaindeskarga
1º	LFP	LFP	NMC	LFP
2º	NMC	NMC	NCA	NCA
3º	NCA	NCA	LFP	NMC

Segurtasuna + (vertical bar on left, pointing down)
Segurtasuna - (vertical bar on left, pointing up)
Arriskugarritasun maila + (horizontal bar at bottom, pointing left)
Arriskugarritasun maila - (horizontal bar at bottom, pointing right)

2.4.3.1 Azpитеknologiak

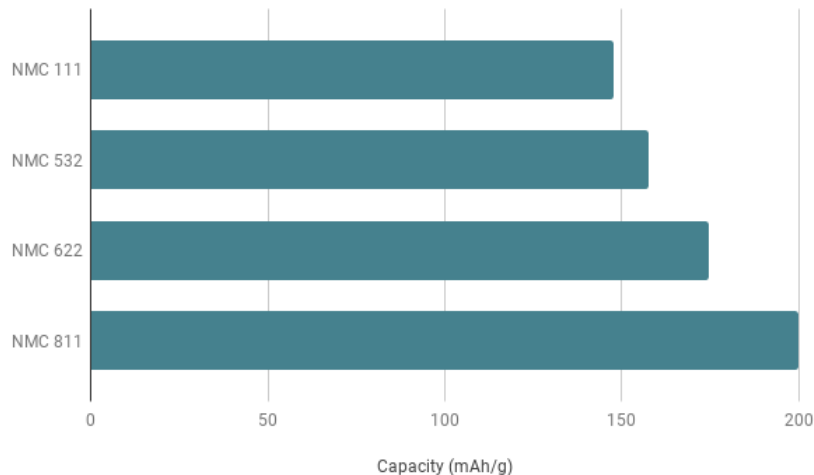
Teknologia batzuek, osagarriak gehitzen dituzte katodo beraren barruan egonkortasun termikoa hobetzeko, baina dentsitate energetikoaren kalterako. Aurretik esanda, honen adibide NMC teknologia da.

Konposizio kimiko desberdinen bidez, NMC azpитеknologiak lortzen dira: NMC111 edo NMC333, NMC622 eta NMC811. Zenbakiak materialen proportzioa adierazten du, 22. Irudian ikus daitekeen bezala.



22. Irudia Hainbat materialen kimikaren konparaketa eta hauen osaketa, konposizioa [29]

NMC azpитеknologietan, Ni materiala handitzen den heinean, energia-edukia handitzen da, baina normalean egonkortasunaren kontura. 23. Irudian ikus daitekeen bezala, Nikel kantitatea geroz eta handiagoa izan, katodoaren gaitasuna orduan eta altuagoa izango da.



23. Irudia NMC katodoaren konposizio desberdinen gaitasuna [29]

11. Taulak NMC katodo motaren hiru azpитеknologiak konparatzen ditu, bakoitzaren ezaugarriak bilduz, baita bakoitzak zein propietate dituen eta bakoitza non aplikatzen den ere.

11. Taula NMC111, NMC622 eta NMC811ren ezaugarriak, propietateak eta desberdintasunak

NMC	NMC111	NMC622	NMC811
Konposizio kimikoa	- Nikela: 1 - Manganesoa: 1 - Kobaltoa: 1	- Nikela: 6 - Manganesoa: 2 - Kobaltoa: 2	- Nikela: 8 - Manganesoa: 1 - Kobaltoa: 1
Katodoaren egitura	<i>"Layered oxide structure"</i>	<i>"Layered oxide structure"</i>	<i>"Layered oxide structure"</i>
Dentsitate energetikoa	200-240 Wh/kg	250-270 Wh/kg	300-320 Wh/kg
Tentsioa	3.6-4.2V	3.6-4.2V	3.6-4.2V
Aplikazio tipikoak	- Ibilgailu elektrikoak - Tresna elektrikoak - Errendimendu handiko beste aplikazio batzuk	- Ibilgailu elektrikoak - Energia biltegitratzeko sistemak - Gailu elektroniko eramangarriak	- Ibilgailu elektrikoak - Energia biltegitratzeko sistemak - Gailu elektroniko eramangarriak
Propietateak	- Egonkortasun termiko handia - Segurtasun errendimendu/funtzionamendu ona - Bizi-ziklo luzea	NMC111 baino dentsitate energetiko handiagoa, baina bizi-zikloa zertxobait txikiagoa eta egonkortasun termiko baxuagoa	NMC bateria guztien artean energia dentsitate handiena, baina NMC111 eta NMC622 baino egonkortasun termiko baxuagoa eta bizi-ziklo laburragoa

Laburbilduz, NMC111k segurtasun errendimendu ona eta ziklo luzeko bizitza du, eta NMC622k, berriz, energia dentsitate handiagoa. Bestalde, NMC811k energia dentsitate handiena du, baina ziklo laburragoa eta egonkortasun termiko txikiagoa beste biekin alderatuta. NMC bateria mota egokia aukeratzea aplikazio zehatzaren eta dentsitate energetikoaren, zikloaren bizitzaren iraupenaren eta segurtasunaren artean lortu nahi den orekaren arabera da.

2.5 Kimikari loturiko parametroak

Laburpen moduan, kimika desberdinen artean alderatzeko parametroak bildu dira, kimika guztiek ez baitute modu berean jokatuzen segurtasun arazoaren aurrean. 12. Taulan bateria batek dituen arriskuak agertzen dira, akats mekanismo bakoitzak eragiten dituenak, eta, gainera, bakoitzaren arabera teknologia ezberdinen artean konparatu beharreko parametroak.

12. Taula Kimika desberdinen artean alderatzeko parametroak

Kausa	Arriskua	Konparatu beharreko parametroa
Abusu termikoa	Gas isurketa, sua, leherketa	Anodoa, katodoa, elektrolitoa
Thermal Runaway	Sua, leherketa	Anodoa, katodoa, elektrolitoa
Gainkarga	Gas isurketa, sua, leherketa	Anodoa, katodoa

Abusu elektrikoa	Gaindeskarga Zirkuitulaburra	Gas isurketa Gas isurketa, sua, leherketa	Anodoa, katodoa Ri, elektrolitoa
Kalte mekanikoa		Gas isurketa, sua, leherketa, elektrolitoa galtzea	Energia espezifikoa (Wh/kg)
“Lithium plating”		Gas isurketa, elektrolitoa galtzea	Anodoa

2.6 Baterien monitorizazioa

Litiozko bateria baten monitorizazioa zirkuitu integratu espezializatu bat erabiliz egin daiteke, bateriak kudeatzeko sistema – BMS (*Battery Management System*) izenez ezagutzen dena. BMSak etengabe monitorizatzen ditu bateriaren tentsioa, tenperatura, korrontea eta beste egoera adierazle batzuk, bateriak modu seguru eta eraginkorren funtzionatuko duela bermatzeko. Izan ere, baterietako zelulak funtzionamendu tarte jakin baterako diseinatuta egoten dira tenperaturari, tentsioari eta korronteari dagokienez, eta normalean oso sentikorrak dira tarte horrekiko, batez ere, litiozko bateriak. Inolako arriskurik gabe funtzionatu ohi dute tarte horren barruan, baina parametroren bat hortik ateratzeak errendimendu arazoak ekar ditzake, hala nola bateriaren gaitasuna edo bizitza baliagarria murriztea, eta baita arazo larriak ere: sua hartzea edo eztanda egitea.

Hau guztia dela eta, une oro balio horiek monitorizatuko dituen bateria kudeatzeko sistemak erabiltzea beharrezkoa izaten da, balioak etengabe eta zehatz kontrolatzeko. BMSarekin bateria lan tarte seguru batean dagoela egiaztatuko da, eta, hala ez bada, balioak zuzentzeko eta beranduegi izan baino lehen egoera seguru batera itzultzeko beharrezko baliabideak eskaini. Ibilgailu elektriko baten bateria baterako BMS baten kasuan, bere ezaugarri garrantzitsuetako bat bateria uneoro motorraren energia eskaria hornitzeko prest edukitzea da.

2.6.1 Nola egiten da? BMSaren funtzioak

BMS batek bere eginkizuna betetzeko, hainbat funtzio egiteko gai izan behar du, bateria bat guztiz monitorizatu ahal izateko. Bete beharreko funtzio nagusi horiek hurrengoak dira [30]:

1. **Zelulen monitorizazioa:** Ibilgailu elektriko baten bateriak seriean eta paraleloan multzokatutako zelulaz daude osatuta. Zelula bakoitza besteengandik desberdina da fabrikatzerakoan dauden diferentziengatik, bateriaren zein zatitan dauden kontuan hartuta jasaten duten estres termikoagatik edo egin duten ziklo kopuruagatik, besteak beste. Gainera, litio ioizko zelulak bere parametroen (tenperatura, tentsioa, korrontea) funtzionamendu tartetik kanpo lan egiteak arrisku handia ekar dezake. Beraz, BMSak, etengabe monitorizatu eta kontrolatu behar ditu bateriaren parametro guztiak, segurtasun mugen barruan funtzionatzen ari direla bermatzeko eta gero arriskutsua izan daitekeen egoera bat saihesteko.
2. **Karga eta deskargaren kontrola:** Karga eta deskarga prozesuak kritikoak dira, izan ere, hauekin bateriaren errendimendua optimizatu daiteke, gaitasuna maximizatu edo bere bizitza baliagarria luzatu, edo, aitzitik, estresaren mende jarri eta kontrakoa lor daiteke. Horren arrazoia zelulen barruan gertatzen diren erreakzio kimikoen izaera exotermikoa da. Prozesu

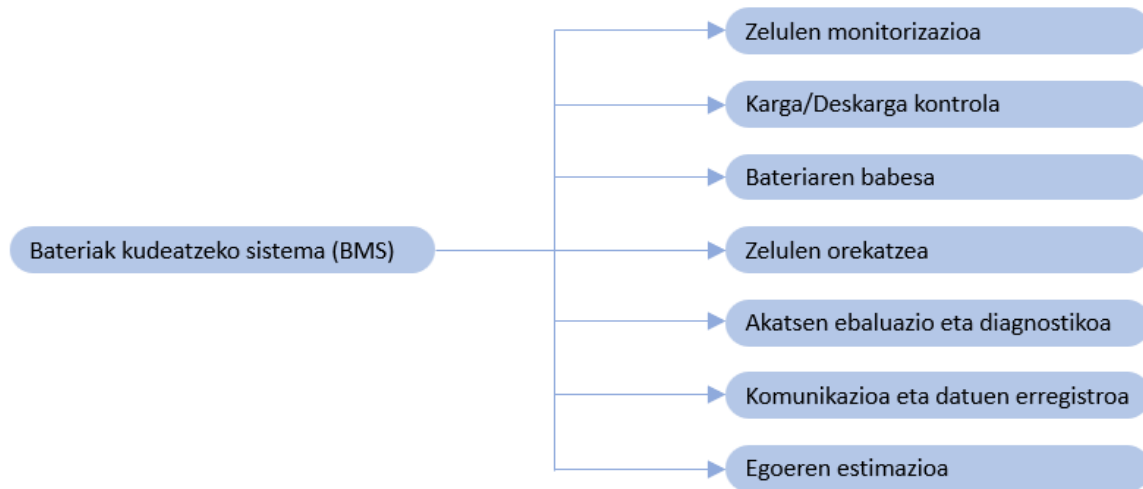
hauetakoren bat azkarregi gertatzen bada, erreakzio kimikoak azkartu egiten dira beroa sortuz eta tenperatura nabarmen igoz. Ondorioz, ihes termikoa gerta daiteke, erreakzioak azkartzeak tenperatura igotzea dakarrelako eta tenperaturaren hazkundeak erreakzio kimikoak errazten dituelako, elkar berrelikatuz. Halakorik ez gertatzeko, fabrikatzaileek, karga zein deskarga prozesuetarako, parametro bakoitzarentzat funtzionamendu eremu batzuk zehazten dituzte arriskurik egon gabe lan egiteko.

3. **Bateriaren babesa:** Zelulen arteko aldea dela eta, erraza da bateria baten zelulek karga-egoera desberdinak izatea, eta hori kontrolatzen ez bada eta saihesten saiatzen ez bada, egoera arriskutsu batean amai daiteke. BMSak zelula guztien egoera kontrolatu behar du, eta bateria deskonektatu behar du zelularen batek tarte seguruan lan egiteari uzten dionean.
4. **Zelulen orekatzea:** Zelulen arteko aldeak direla eta, kargatzeko edo deskargatzeko prozesuan zelulak bata bestearekiko erritmo desberdina dute, eta honek bateriaren errendimenduari egiten dio kalte. Zelulen monitorizazioari dagokionez, orekatze-zirkuituak zelulen arteko kargaren aldea detektatu eta diferentzia horren oreka bilatzen du. Beraz, BMSak, bateria baten, zelula bakoitzaren oreka mantentzen du. Zelula bakoitzaren tentsioa neurtzen du eta energia birbanatzen du, zelula bakoitzak karga-maila bera duela bermatzeko.

Zelulen orekaren barruan funtzionamenduaren bi printzipio daude:

- a. Metodo pasiboak: karga-egoera handieneko zeluletatik energia ezabatzean oinarritzen dira, karga-egoera txikiena dutenekin berdintzeko. Metodo hauek sinpleagoak eta merkeagoak dira, baina energia-galera eta tenperaturaren igoera dakarte.
 - b. Metodo aktiboak: karga-egoera handiagoa duten zeluletatik karga-egoera txikiagoa duten zeluletara energia transferitzean oinarritzen dira. Konplexuagoak dira, baina zelulen energiaren aprobetxamendua hobetzen dute.
5. **Akatsen ebaluazio eta diagnostikoa:** Bateriek hainbat arazo izan ditzakete: zelulen gainkarga, gainberotzea, zelulen desoreka, etab. Bestalde, BMSak beste arazo batzuk ere izan ditzake, besteak beste, erroreak datuak eskuratzean edo isolamendu arazoak. Horregatik guztiagatik, BMSak gai izan behar du akats horiek detektatzeko eta erantzun azkar bat emateko, bateriaren segurtasuna helburu nagusitzat hartuta.
 6. **Komunikazioa, datuen erregistro eta biltegitratzea:** BMSa ibilgailuaren edo gailuaren beste azpisistema batzuekin komunikatzen da. Sentsoreen bidez jasotako datuak erregistratzen eta prozesatzen ditu. Biltegitratutako datu hauek bateriaren errendimendua hobetzeko edo arazoak diagnostikatzeko erabil daitezke.

7. **Egoeren estimazioa:** Bateriaren egoeren estimazioek bateriaren egoerari buruzko informazio oso garrantzitsua ematen dute, eta geratzen zaion balio-bizitza jakiteko, bateria aurreikusitako energia-eskaerei erantzuteko gai izango den kalkulatzeko, etab. erabil daitezke.



24. Irudia Baterien kudeaketa sistemaren funtzio nagusiak

Bateriaren monitore gisa, egoeren estimazioa “*State Estimators*” (SoX) [31], BMS bateko funtsezko funtzioa da. Bateria batean egoera ezberdinak estimatzen dira, besteak beste, karga egoera (SOC), osasun egoera (SOH), potentzia egoera (SOP), energia egoera (SOE) eta segurtasun egoera (SOS). Hala ere, aipatzekoa da, gaur egun BMS komertzial guztiek ez dituztela egoeren estimazio guztiak integratzen.

Energia biltegitratzeko sistemetan, barneko egoerak zuzenean neurtu ezin direnez, zenbatetsi eta aurreikusi egiten dira tenperatura, tentsio eta korronea bezalako seinaleetatik. Baterien barneko erreakzio elektrokimikoak direla eta, barneko egoerek erlazio ez-lineala erakusten dute neurtutako kanpoko seinaleekiko, abusu baldintzetan lan egitean hau larriagotuz. Gainera, ziklo batean bateriak jasaten duen degradazioak egoeren kalkuluen fidagarritasunari eragiten dio, egoeren estimazioaren zailtasuna areagotuz. Beraz, baterien egoeren estimazioekiko zehaztasuna erronka teknikoa da oraindik.

2.6.2 SOC (State of Charge)

SOCa une horretan erabilgarri dagoen bateriaren karga osoaren ehuneko gisa definitzen da. Bere zenbatespen zehatza funtsezkoa da bateriaren erabilera optimizatzeko, ginkarga saihesteko eta bateriaren segurtasuna eta biziraupena bermatzeko. SOCaren zenbateslea bateria bat erabat kargatuta noiz dagoen eta deskargatuta noiz dagoen zehazteko erabiltzen da.

Bateriaren SOCa kalkulatzeko ibilgailu elektrikoaren funtsezko teknologietako bat da, eta horren zehaztasunak zuzenean eragiten dio ibilgailuaren energiaren kudeaketa kontrolatzeko estrategiari eta ibilgailu elektrikoaren errendimenduari. Baina estimazio-prozesuari erraz eragiten diote tenperatura, ziklo-denborak, deskarga-tasa, tentsioa, zarata eta abar bezalako faktoreek, eta horrek bateriaren SOCaren kalkulu zehatza denbora errealean egitea zailtzen du.

Bateriaren SOCa bateriaren momentuko gainerako edukieraren (Q) eta bateriaren edukiera nominalaren (CN) arteko proportzioa da, deskarga-tasa espezifiko baten pean, eta honela adierazten da:

$$SOC = \frac{Q}{C_N} \times \%100 \quad (2.1)$$

Kargatzeko eta deskargatzeko modu estandarrean, bateria erabat deskargatuta dagoenean, SOCa 0 da; bateria erabat kargatuta dagoenean, SOCa % 100 da. Bateriaren SOCa beste egoera estimazio batzuen oinarria da, eta hainbat faktorek eragiten diote, hala nola karga eta deskargaren abiadurak, ziklo denborak, tenperaturak eta bateriaren zahartzeak. Beraz, ezaugarri ez-lineal nabarmenak ditu. Ondorengoak dira SOCa kalkulatzeko metodo nagusiak [31]:

2.6.2.1 Deskarga probaren metodoa

Metodo honek modu zehatz eta fidagarrian zenbatetsi dezake SOCa. Metodo honetan, bateria korrante konstante batekin deskargatzen da, deskargako "cutoff" tentsiora arte, eta korrantea denborarekin biderkatuz lortutako balioa bateriaren SOCa da. Metodo honek denbora asko behar du, eta ez da egokia lan-baldintza dinamikoetarako. Beraz, laborategian erabili ohi da.

2.6.2.2 Inpedantziaren metodoa

Bateriaren SOCa bateriaren inpedantziari eragiten dio, eta nolabaiteko lotura kartografikoa dago haien artean. Hori dela eta, teoriarik, SOCa bateriaren inpedantzia erabiliz kalkula daiteke. Inpedantziaren metodoak bi desabantaila nabarmen ditu: bateriaren inpedantziak instrumentu bereziak behar dituela neurtzeko eta AC (korrante alternoa) inpedantzia oso sentikorra dela tenperaturarekiko eta SOHarekiko. Temperatura asko aldatzen denean, inpedantziaren metodoaren zehaztasuna murriztu egiten da.

2.6.2.3 Anperio-ordu (AH) metodoa

Bateriaren karga- eta deskarga-korrantea integratzean datza metodoa, eta, ondoren, uneko SOC balioa hasierako SOCaren bidez kalkulatu da. AH metodoaren adierazpena (2.2) ekuazioan agertzen da. AH metodoa inplementatzeko erraza da, eta, beraz, asko erabiltzen da lehen BMSetan. Hala ere, desabantaila nabarmenak dauzka metodo honek. Hasteko, hasierako SOCaren oso mendekoa da, eta hasierako SOCaren zehaztasunak zuzenean eragiten die zenbatespenaren emaitzei. Gainera, bateriaren korrante-sentsoreen neurketa-akatsak akats metatzaileak eragiten dituzte SOCaren zenbatespenaren emaitzetan. Esan daiteke metodoaren zehaztasuna ez dela zehatza baldintza konplexuetan, eta horregatik, egungo SOC algoritmoak AH metodoa beste algoritmo batzuekin konbinatu ohi duela.

$$SOC(t) = SOC(t_0) - \int_{t_0}^t \frac{\eta \cdot I}{C_N} dt \quad (2.2)$$

2.6.2.4 Zirkuitu irekiko tentsioaren (OCV) metodoa

Lotura kartografiko argia dago bateriaren OCVaren eta SOCaren artean, eta OCV-SOC erlazioa potentzia bulkada hibridoaren (HPPC - Hybrid Pulse Power Characterization) bidezko karakterizazio metodoaren bidez lor daiteke. Beraz, SOCa OCVa neurtuz kalkula daiteke. OCV metodoa erraza da zehaztasun handiz egiteko. Hala ere, OCVa neurtu aurretik, bateria gutxienez bi orduz egon behar da geldirik.

2.6.2.5 Zirkuitu baliokidearen ereduan (ECM) oinarritutako SOCaren estimazio metodoa

Metodo hau bi motatan bana daiteke: bateriaren ereduan oinarritutako zuzeneko zenbatespena eta ereduan oinarritutako iragazki egokitzailea. Lehenengoa begizta irekiko metodo bat da, bateria-ereduak lortutako tentsio analogikoa tentsio erreala ordezkatzeko erabiltzen duena. Erosoa eta intuitiboa da, eta ez hain konputazionala. Hala ere, ereduan oinarritutako zuzeneko zenbatespenak eragin handia du ereduaren zehaztasunean eta egungo neurketan. Bestalde, ereduan oinarritutako iragazki egokitzailearen metodoa begizta itxiko metodo bat da, eta maiz erabiltzen diren algoritmoak Kalman-en eta bere deribatuen iragazketa algoritmoak dira nagusiki, Kalman iragazki hedatua (EKF - *Extended Kalman Filtering*) barne.

2.6.2.6 Eredu elektrokimiko batean oinarritutako SOCaren estimazioa

[32], [33]-en bateriaren SOCa estimatzen da, mekanismo elektrokimikoaren ereduan eta elektrodoen (positiboa eta negatiboa) litio-dukian oinarrituta. Eredu elektrokimikoak modelo-zehaztasun handia du, eta hori oso onuragarria da SOCaren zehaztasuna hobetzeko. Hala ere, eredu elektrokimikoak parametro eta ekuazio partzial akoplatu asko eskatzen ditu, eta hori ez da egokia lineako/"online" aplikazioetarako.

2.6.2.7 Kutxa beltzaren ereduan oinarritutako SOCaren estimazioa

Kutxa beltzaren ereduan oinarritutako SOCaren zenbatespen-algoritmoek batez ere sare neuronal artifizialak eta euskarri-bektoreen makinak (SVM - *Support vector machines*) biltzen dituzte. Metodo honetan, zenbait parametro makrofisikoren eta bateriaren SOCaren arteko erlazioa entrenatzen da. Metodo honek ez ditu kontuan hartzen bateriaren berezko erreakzio-ezaugarriak, eta autoikaskuntzarako gaitasun handia du, oso linealak ez diren sistema batzuentzat egokia dena. Hala ere, metodo hau, neurri handi batean, datu-kopuruaren araberakoa da.

2.6.3 SOH (State of Health)

Osasun egoerak bateriaren osasun orokorra eta geratzen den bizitza baliagarria adierazten ditu. Bateriak bere bizitza baliagarrian energia hornitzeko duen gaitasuna aurreikusteko erabiltzen da, eta bateriaren egoera orokorra islatzen du, baita denboran zehar energia mantentzeko eta hornitzeko duen gaitasuna ere. SOH estimazioa funtsezkoa da bateriaren errendimenduan edozein aldaketa detektatzeko, hala nola edukiera eta potentzia, adina, erabilera edo beste faktore batzuk direla eta. Gainera, bateriaren ordezkapen-denbora aurreikusten eta ustekabeko akatsen arriskua murrizten laguntzen du.

LIBen zahartze-ziklo luzean, litio ioien inbentarioaren galera (LLI), material aktiboaren galera (LAM) eta elektrolitoaren galera (LE) faktore askoren ekintzak eragiten ditu, hala nola estres elektrokimikoak, termikoak eta kanpoko mekanikoak. Kanpoko formari dagokionez, zahartzeak kapazitatea murriztea eta bateriaren barne-erresistentzia handitzea eragiten du. Beraz, SOHa bateriaren benetako ahalmenaren eta bere edukiera nominalaren arteko erlazioaren arabera neur daiteke, edo bateriaren benetako inpedantziaren eta bere inpedantzia nominalaren arteko erlazioaren arabera. Bateriaren SOHak lotura estua du bateriaren segurtasunarekin, geratzen den bizitza baliagarriarekin (RUL - *Remaining useful life*), SOEarekin eta abarrekin. Beraz, SOHaren estimazioa baterien egoeraren estimazioaren funtsezko puntu bihurtu da.

SOH zenbatesteko metodo ohikoenek erduetan oinarritutako metodoak, datuetan oinarritutakoak eta fusiokoak barne hartzen dituzte. Gaitasunaren estimazioaren zehaztasunaren eta sendotasunaren

ikuspegitik, erduetan oinarritutako metodoa ez da egokia baldintza konplexuetan praktikan aplikatzeko. Datuetan oinarritutako metodoek mota hauek dituzte [31]:

1. Ezaugarrietan oinarritutako metodoak bateriaren ezaugarrien eta gaitasunaren arteko korrelazioa ezartzen du. Ezaugarri ohikoenak bateriaren tentsio diferentziala, karga-deskarga kurba eta edukiera inkrementalaren kurba dira.
2. SOC-kopuru elektriko metodoak bateriaren ahalmena kalkulatzeko du, dagokion SOCarekiko kopuru elektrikoaren aldakuntza-erlazioan oinarrituta, eta honako hau da adierazpena:

$$C_{norm} = \frac{\Delta Q}{\Delta SOC} \quad (2.3)$$

non C_{norm} bateriaren edukiera den, eta ΔQ eta ΔSOC , hurrenez hurren, kantitate elektrikoaren eta SOCaren aldaketa.

(2.3) ekuazioan ikus daitekeenez, gaitasunaren zenbatespenaren zehaztasunak lotura estua du SOCaren zehaztasunarekin. Beraz, SOCa eta SOHaren baterako zenbatespena asko erabiltzen da. Datuetan oinarritutako metodoek denbora errealeko estimazio-zehaztasun ideala izan dezaketen arren, gaitasun-galerari eragiten dioten faktoreak ez dira ondo kontuan hartu. Azken urteotan, datuak eta ereduak batzeko metodoak garatu dira, gaitasunaren estimazioaren zehaztasuna, egonkortasuna eta sendotasuna hobetzeko.

2.6.4 SOP (State of Power)

Potentziaren egoera (SOP) bateriak energia hornitzeko duen egungo gaitasunari dagokio. Baterien egoera ezberdinen artean, potentzia egoera (SOP) LIBetako funtzionalenetakoa da, eta aurrez zehaztutako iragarpen-leiho batean EV batek eman edo jaso dezakeen bateriaren gehieneko/puntako potentzia ahalmenari dagokio.

SOParen estimazioak bateriak karga-pikoak jasan ditzakeen edo bateria gehiegi kargatzeko edo gehiegi berotzeko arriskua dagoen identifikatzen laguntzen du, eta, beraz, garrantzitsua da irteerako potentzia handia edo karga azkarreko gaitasunak eskatzen dituzten aplikazioentzat.

SOParen ezaugarri nagusia puntako potentzia (*“peak power”*) da. Berebiziko garrantzia du energiaren kudeaketaren optimizazioan. EVak gidatzeko prozesuan, SOPa denbora errealean eguneratzen du BMSak, bateriak potentzia eskaera ase dezakeen ebaluatzeko.

Jarraian, SOPa zenbatesteko ohiko metodoak [31]:

2.6.4.1 Metodo Esperimentalak

Metodo esperimentalak, baterien potentzia proba estandarren prozeduren arabera esperimenduak eginez SOPa lortzean datza. Metodo hau egiteko erraza eta zehatza da, baina prozesua luzea da eta ezin da *“online”* aplikatu.

2.6.4.2 Ezaugarriak esleitzeko metodoa

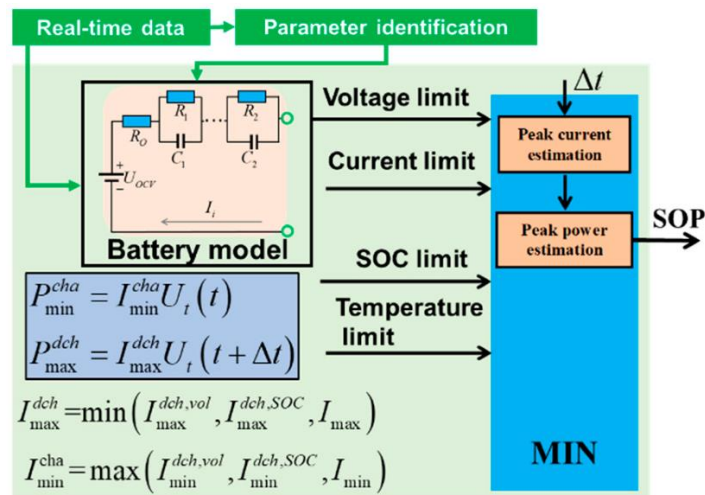
Bateriaren potentziaren eta parametro batzuen arteko korrelazio estatikoa bateria-proba estandar baten bidez lor daiteke, mapa bereizgarria deritzona. HPPC testa da mapak erauzteko metodo erabiliena. Metodoaren eragozpen nagusia lan-baldintza dinamikotarako egokia ez dela da, eta mapa bereizgarria etengabe kalibratu behar dela bateria zahartzen den heinean.

2.6.4.3 Muga-baldintzen metodoa

Metodo honetan, bateriaren puntako korrontea kalkulatzeko, tentsioa, korrontea, SOCa eta beste limite batzuk hartzen dira kontuan. Hauetatik abiatuz, puntako potentzia kalkulatzeko, puntako korrontea eta OCVaren arteko biderkadura definitzen da.

25. Irudian agertzen den metodo honen fluxuan,

- I_{max}^{dch} : Gehieneko/Puntako karga korrontea
- I_{min}^{cha} : Gehieneko deskarga korrontea
- $I_{min}^{cha,vol}$: Terminaletako tentsioak mugaturiko kargaren korronte minimoa
- $I_{max}^{dch,vol}$: Terminaletako tentsioak mugaturiko deskargaren korronte maximoa
- $U_t(t)$: Terminaletako tentsioa



25. Irudia SOParen estimazioa hainbat limiterekin [31]

Metodo honek hiru teknologia nagusi ditu:

- 1) Bateriaren tentsioa eta SOCa kalkulatzeko zein bateria eredu erabiltzen den ezartzea
- 2) Bateria ereduaren parametroak nola lortzen diren SOCa-ren estimazioaren zehaztasuna hobetzeko
- 3) Muga/limite eremuaren azpiko potentzia piko nola zehazten den

2.6.5 SOE (State of Energy)

Energiaren egoerak bateriatik atera daitekeen energia-kantitate osoa adierazten du, bere SOCaren eta SOHaren eraginpean, eta bateriaren gaitasun eta errendimendu globala ebaluatzeko funtsezkoa da. Kilowatt-orduan (kWh) adierazten da, eta ibilgailu elektriko baten autonomia edo gailu eramangarri baten funtzionamendu-denbora kalkulatzeko erabiltzen da.

Energiaren egoera, SOE, bateriaren hondar-energia gisa islatzen da, eta bateriak deskarga dezakeen karga-kantitatearekin eta bateriaren deskargan dagoen tentsioarekin dago lotuta. SOEa bi era ezberdinetan definitzen da: bateriaren gainontzeko energia teoriko (TRE - *Theoretical Remaining Energy*) bezala eta bateriaren gainontzeko deskarga energia (RDE - *Remaining Discharge Energy*) bezala. TREa bateria deskarga-korronte oso txiki batekin SOCa Ora deskargatzen denean aska daitekeen energia da. RDEa ere bateriak aska dezakeen energia da, baina karga-baldintza jakin batzuetan eta giro-tenperatura jakin batean “*cutoff*” tentsioraino deskargatzen denean. Bien arteko aldea bateriaren TREa bateriaren barruko egoera-balio bat dela da, gaur egun baterian biltegitratutako energia adierazten duena, tenperatura, karga-egoera eta abar kontuan hartu gabe, eta bateriaren RDEa, berriz, deskarga-abiadurarekin, karga-baldintzarekin, giro-tenperaturarekin eta beste faktore batzuekin lotuta dagoela. Honela, bateriaren SOEaren zenbatespena garrantzitsua da BMSren energia kudeaketaren optimizaziorako eta EVren gidatzeko autonomiaren estimazioaren zehaztasuna hobetzeko. Izan ere, SOCarekin alderatuta, SOEa egokiagoa da ibilgailu elektrikoaren autonomia kalkulatzeko, baina ez da SOCa bezain balio errealista.

Alde batetik, bateriaren RDEak lotura estua du etorkizuneko funtzionamendu-baldintzekin, giro-tenperaturarekin, bateriaren egoerarekin eta beste hainbat faktorekin. Beraz, RDEa zenbatestean, faktore horien akoplamendu-ondorioak hartu behar dira kontuan. Normalean, iragarpenetan oinarritutako metodoak erabiltzen dira. Esaterako, [34]-en korrante-sekuentzia, SOC sekuentzia, ereduaren parametro-sekuentzia eta bateriaren tentsio-sekuentzia aurreikusi zituzten etorkizuneko denborazko serieetan. Ondoren, RDE aurreikuspen domeinuan korrante eta tentsio sekuentzien bidez kalkulatu zen.

Beste alde batetik, jarraian, bateriaren TRE kalkulatzeko metodo batzuk aurkezten dira [31]:

2.6.5.1 Zuzeneko kalkulu metodoa

Tentsioa modu jakin batean proposatzen da eta balio konstante batean finkatzen da, eta SOE egungo SOC, bateriaren energia totala, edukiera eta batez besteko tentsioa erabiliz lortzen da, (2.4) ekuazioan agertzen den bezala. Kalkulu zuzeneko metodoa erraza eta praktikoa da. Hala ere, bateriaren tentsioaren batez besteko balioa gutxi gorabeherakoa denez, akats handi bat gertatuko da, eta SOEren zenbatespena SOCaren doitasunak kaltetuko du. SOCean akats handiak badaude, erroreak SOEa igorriko dira.

$$SOE = SOC \times \frac{OCV_{avg} \times C_{Bat}}{E_{Bat}} \quad (2.4)$$

2.6.5.2 Potentzia integratzeko metodoa

Metodo hau SOCa kalkulatzeko AH metodoaren antzekoa da, (2.5) ekuazioan erakusten den bezala. Metodo hau erraza da eta ez dauka SOCa estimatzeko beharrik. Hala ere, hasierako errorea ezin da ezabatu, eta metatutako errorea sentsorearen zehaztasun eskasaren ondorio izango da.

$$SOE(t) = SOE(t_0) \times \frac{\int_{t_0}^t (p_e + q_h) dt}{E_{Bat}} \quad (2.5)$$

2.6.5.3 OCV metodoa

Metodo honek bateriaren OCVaren eta SOEaren arteko korrelazioa erabiltzen du. Hala ere, bateriaren OCVa denbora luzez geldirik egon ondoren bakarrik lor daiteke. Zaila da OCV egonkor bat lortzea bateria lan-ingurune dinamiko batean dagoenean. Beraz, OCV metodoa SOEren zenbatespena mugatzen da.

2.6.5.4 Ereduetan oinarritutako iragazketa metodoa

Metodo honek potentzia integratzeko metodoa erabiltzen du SOEa kalkulatzeko eta, ondoren, iragazteko algoritmo bat erabiltzen du bateria eredian oinarrituta SOEa zuzenduz. Iragazketa-algoritmo ohikoenak KF (Kalmanen filtroa) algoritmoa, partikula-iragazkiko “particle filter” algoritmoa (PF) eta “H-infinity” algoritmoa dira. KF algoritmoa SOEaren begizta itxiko zuzenketa bat da, Kalmanen irabazia erabiliz, eta asko erabiltzen da SOEa kalkulatzeko.

Ereduetan oinarritutako iragazketa-algoritmoak zehaztasun handia du, eta SOEaren akats metatzailea saihestu dezake. Metodo honek SOEa zuzentzen du OCV eta SOE oinarrituta. Hala ere, erlazio hori SOEa TRE gisa definitzen denean soilik zehazten da. Gainera, metodoaren zenbatespenaren zehaztasuna bateria-ereduaren zehaztasunak eragiten du.

2.6.5.5 Ikaskuntza automatikoko metodoa

Orokorrean, azken urteetan, SOEa kalkulatzeko ikaskuntza automatikoaren metodoa proposatu da. [35]-en korrantea eta tenperatura erabili zituzten entrenamendurako sarrera gisa, bateriaren SOE kalkulatzeko alderantzizko sare neuronal bat eraikitzeke. [36]-en epe luzeko eta laburreko formak erabili zituzten etorkizuneko tentsioa iragartzeko, eta, ondoren, bateriaren SOEa kalkulatu zuten Monte Carlo laginketaren bidez. Ikaskuntza automatikoan oinarritutako SOEaren estimazioaren zehaztasuna, neurri handi batean, “training data”-ren arabera da.

2.6.5.6 Estimazio askoren metodoa “Joint estimation method”

[37]-en bateriaren SOCa dago lehenik balioetsita, eta ondoren SOEa, SOEaren eta SOCa arteko erlazioaren bidez, eta azkenik bateriaren energia osoa dago zenbatetsita, leiho mugikor irristakorraren metodoa (“moving sliding window method”) erabiliz. Estimazio askoren metodo hau zehatzagoa izaten da SOEaren banakako estimazio metodoa baino. Kalkulu bateratuaren bidez SOE kalkulatzeko gakoa SOEaren eta beste egoera batzuen arteko lotura argia aurkitzea da.

13. Taulan energiaren egoera estimatzeko metodoak biltzen dira, bakoitzaren ezaugarriak eta aplikazio eremuak zerrendatuz.

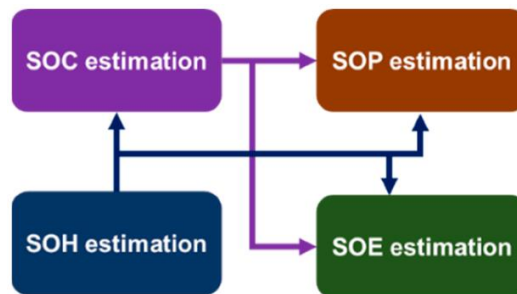
13. Taula SOEren estimazio metodoen ezaugarriak eta aplikazio-eremua [31]

Estimazio metodoa	Ezaugarriak	SOEren definizioa	
		TRE	RDE
Zuzeneko kalkulu metodoa	Sinplea, errore handiarekin	✓	

Potentzia integratzeko metodoa	Simplea, errore metagarriarekin	✓
OCV metodoa	Simplea, erabilera baldintza mugatuekin	✓
Ereduetan oinarritutako iragazketa metodoa	Zehatza eta konplexua, akats metagarriak saihets ditzake	✓
Ikaskuntza automatikoko metodoa	Datu asko behar dira prestakuntzarako	✓
Estimazio askoren metodoa	Zehaztasun handia, egoeren arteko erlazioa aurkitzeko beharra	✓
Iragarpenetan oinarritutako metodoa	Zehaztasunean dago gakoa, baina baita etorkizuneko lan-baldintzetan ere	✓

2.6.6 Baterako estimazio metodoak

Bateriaren egoerek elkarri eragiten diete, eta erlazio horiek 26. Irudian ikus daitezke. Bateriaren SOHa ezaugarritzeko erabilitako gaitasuna eta barne-erresistentzia funtsezko parametroak dira bateriaren SOCa zenbatesteko, eta zuzenean eragiten diote SOCaren estimazioaren doitasunari. SOCa eta ereduaren parametroak ezinbestekoak dira SOPa zenbatesteko. SOCak, gaitasunak eta barne-erresistentziak zuzenean eragiten diote SOEaren estimazioari.



26. Irudia Baterako estimazio metodoak [31]

2.7 Baterien segurtasunaren monitorizazioa

Baterien segurtasuna bateriak erabiltzearekin, manipulatzearrekin eta biltegitratzearekin lotutako ustekabeko akatsak edo istripuak saihesteko hartutako neurriei dagokie. Akats horiek hainbat faktoreren ondorio izan daitezke, hala nola fabrikazio-akatsak, diseinu-akatsak, erabilera desegokia eta abusua.

Azken urteotan, aurrerapenak egin dira segurtasuna hobetzarren. Material berriak garatu dira, hala nola egoera solidoko elektrolitoak, ihes termikoaren arriskua murrizteko, hori baita baterietako suteen arrazoi nagusia (2.3.5 atalean berrikusi den moduan). Gainera, gailu eta aplikazio askotan bateriaren errendimendua eta tenperatura gainbegiratzen eta erregulatzen duten kontrol-sistema aurreratuak integratu dira.

Aurrerapen horiek gorabehera, baterien segurtasuna kezka kritikoa da oraindik, batez ere, baterien teknologiak azkar eboluzionatzen jarraitzen duelako. Horregatik, beharrezkoa da ikertzen eta garatzen jarraitzea bateriak seguruak eta fidagarriak direla bermatzeko, ez soilik erabiltzaileentzat, baita ingurumenarentzat ere.

Lehen esan bezala, segurtasunari buruzko literaturako aurreko deskribapenek izaera kualitatiboa dute, baina ez dute biltegitratze sistema baten segurtasunaren zenbakizko kuantifikaziorik eskaintzen [38].

2.7.1 Segurtasuna gaur egun

Bateria baten segurtasuna sailkatzeko modu ezagunetako bat Automobilaren Ikerketa eta Garapenerako Europako Kontseiluak (EUCARek) proposatutako taula da (27. Irudia). Bertan, EUCARek (*European Council for Automotive Research and Development*), litiozko bateria batek izan ditzakeen arriskuak mailakatu ditu.

Ezarritako arrisku-maila hauek asko erabiltzen dira gaur egun. Sailkapena 0tik 7ra da, 0k efekturik ez dagoela esan nahi du, eta mailak igo heinean, arriskua igo egiten da, beraz, 7.a, eztanda, arriskutsuena da. Mailarik altuenak suposatzen du aurrekoa jada gertatu dela. Adibidez, sua badago, suposatzen da ihesak edo aireztapenak ere gertatu direla, eta, beraz, sutea haiek baino okerragoa dela [38].

Hazard Level	Description	Classification Criteria and Effect
0	No effect	No effect. No loss of functionality.
1	Passive protection activated	No defect; no leakage; no venting, fire, or flame; no rupture; no explosion; no exothermic reaction or thermal runaway. Cell reversibly damaged. Repair of protection device needed.
2	Defect/damage	No leakage; no venting, fire, or flame; no rupture; no explosion; no exothermic reaction or thermal runaway. Cell irreversibly damaged. Repair needed.
3	Leakage $\Delta\text{mass} < 50\%$	No venting, fire, or flame* no rupture; no explosion. Weight loss $< 50\%$ of electrolyte weight (electrolyte = solvent + salt).
4	Venting $\Delta\text{mass} \geq 50\%$	No fire or flame*; no rupture; no explosion. Weight loss $\geq 50\%$ of electrolyte weight (electrolyte = solvent + salt).
5	Fire or flame	No rupture; no explosion (i.e., no flying parts).
6	Rupture	No explosion, but flying parts of the active mass.
7	Explosion	Explosion (i.e., disintegration of the cell).

27. Irudia EUCARen arrisku mailak

IEC 62619:2022 arautegian adierazita dago, testak egin zaizkion bateria baten onarpen irizpideak honakoak direla: ez surik, ez leherketarik. Beraz, energia biltegitratzeko sistema (ESS) bat segurua dela esateko, honi abusu testak burutzean, arrisku mailak 4.mailan edo beherago egon behar du. Maila altuagoa bada, EUCARek dioenez, abusu proben emaitza sua, haustura edo leherketa izango da, eta, hauek, arrisku larriak dira bateriaren erabiltzailearentzat.

SAND2017 txostenean [39], haustura eta sua (5. eta 6.mailak) alderantziz daude EUCARen mailaketarekin alderatuz. Eta, gainera, ihesaren, aireztapenaren eta hausturaren eraginak azaltzean desberdintasunak dituzte [38]. Honekin ikus daiteke segurtasuna intuitiboa dela orokorrean, sarritan interpretazioaren mende dagoena, eta oraindik ere zenbakitu gabe dagoen kontzeptua dela.

2.7.2 SOS (State of Safety)

Aurreko ataletan azaldutakoa gogoan hartuz, segurtasunaren egoeran aurrerapen bat egotea garrantzi handiko gaia da. 2.7.1n sekzioan argi geratu den bezala, gaur egun baterien segurtasunaren gaineko deskribapenek izaera kualitatiboa dute, baina ez dute biltegitatze sistema baten segurtasunaren zenbakizko kuantifikaziorik eskaintzen. Horregatik, proiektu honetan litio ioizko bateria baten segurtasun egoera kalkulatzeko metodo bat landu da.

2.6 atalean aztertu den moduan, bateria baten monitorizazioaren barnean sartzen dira egoeren estimazioak (“*state estimators*”). Hala ere, estimatzen diren egoera ezberdinek (SOC, SOH...), hau da, SOX tipikoek, ez dute segurtasunaren gaineko informazio zehatzik ematen. Hori dela eta, proiektu honetan State of Safety algoritmo bat garatzea proposatzen da.

Literaturan, SOSarekiko proposamen bakarra dago soilik: [38]-ko *paper*-a izango litzatekeena. Bertan, segurtasun egoera (SOS – State of Safety), abusuaren kontzeptuarekiko alderantziz proportzionala dela dioen kontzeptuan oinarrituta zenbatesten da. Eta funtzio honek azpifuntzio desberdinak konbinatzen ditu, horietako bakoitzak abusu jakin bat deskribatuz, aldagai batekin edo gehiagorekin, hala nola tentsioa, temperatura, kalte mekanikoa, etab.

Proiektuan landutako SOSak, segurtasun zenbatesleak, bateriak izan ditzakeen anomaliak detektatuko ditu. Eta, honela, litio-ioi baterien segurtasun egoera iragarri. Aurretik esan bezala, beraz, LIBak geroz eta aplikazio industrial gehiagotan barneratzen ari diren heinean, arriskuak gertatzeko aukerak areagotu egin dira, eta horrek segurtasuna hobetzeko beharra handitzen du.

3. SOS Algoritmoaren garapena

Aurreko atalean segurtasun egoeraren (SOS) beharra azalduta eta proiektu honetan SOSa garatuko dela definituta, atal honetan SOS balioa estimatzen duen algoritmoaren garapena aurkezten da. Lehenik eta behin, oinarri teorikoak esplikatzen dira, hau da, algoritmoa zein kontzeptutan oinarritu den segurtasun egoera iragarri ahal izateko. Jarraian, planteamendu espezifikoak azaldu da, gure kasuan SOSa kalkulatzeko kontuan hartutako aldagai bakoitza definituz. Azkenik, funtzioaren deskribapena egin da, algoritmoak dituen sarrera eta irteerak espezifikatuz eta bere funtzionamenduaren azalpena gehituz.

3.1 Oinarri teorikoak

Aurreko gutzia azalduta, energia biltegitartzeko sistema baten segurtasun egoera kalkulatzeko definizio edo metodo bat aztertu da. Hau, segurtasuna abusuaren kontzeptuarekiko alderantziz proportzionala dela dioen kontzeptuan oinarritu da, eta, honela, abusa handitu ahala, segurtasuna jaitsi egiten da [38]. Beraz, SOSaren balioak ESSa abusu egoeran ez egoteko probabilitatea adierazten du, bateriaren erabilerari lotutako arrisku-maila adieraziz, bereziki muturreko baldintzetan edo kaltetu bada. Bertan kimikak, diseinuak eta bateria babesteko ezaugarriek dute eragina.

Garatutako funtzioak azpifuntzioak konbinatzen ditu, eta horietako bakoitzak abusu kasu jakin bat deskribatzen du aldagai batean edo gehiagotan, hala nola tentsioa, temperatura edo deformazio mekanikoa, sentsoeen bidez detekta daitezkeenak edo beste teknika batzuen bidez estima daitezkeenak. Segurtasun-egoeraren definizioa orokorragoa egin daiteke azpifuntzio berriak gehituz.

$$f_{safety}(x) = \frac{1}{f_{abuse}(x)} \quad (3.1)$$

(3.1) ekuazioan ikusten den bezala, segurtasuna "abusua" kontzeptuarekiko alderantziz proportzionalan definitzen da, f_{abuse} abusu-egoera izanik, f_{safety} SOS bera eta x bateriaren portaera deskribatzen duten egoera/aldagai mota guztiak (adibidez, tentsioa, temperatura, karga- eta deskarga-korronteak...) t denbora jakin batean. Formulazio horretan, abusuak gora egin ahala, segurtasun-egoerak behera egingo du, ondorioz.

Segurtasun egoerak beste egoera magnitude batzuen maila bera erabiltzen du, hala nola SOC, SOH, etab. Mailak, 0aren eta 1aren arteko balioak hartzen ditu, biak barne, 0 balioak guztiz arriskutsua esan nahi duelarik, eta 1 balioak, aldiz, guztiz segurua. Abusuaren balio absolutua infinituki handia egiten den heinean, segurtasunaren balioak 0ra jo behar du, eta abusa existitzen ez denean edo zero denean, segurtasuna 1 izan behar da. Bi kontzeptu hauen arteko harremanarekin, ondorengo ekuazioak lortzen dira:

$$f_{safety}(x) = \frac{1}{g(x) + 1} \quad (3.2)$$

garapena

non $g(x) \geq 0$ balioetarako zehaztutako abusu-funtzioa den. (3.3) ekuazioan abusia infinitua izango litzateke, eta, beraz, SOS balioa 0. (3.4) ekuazioan, berriz, abusuaren balioa 0 da, eta segurtasun balioa, ondorioz, 1.

$$f_{\%0} = 0 = \lim_{g \rightarrow \infty} \frac{1}{g + 1} \quad (3.3)$$

$$f_{\%100} = 1 = \lim_{g \rightarrow 0} \frac{1}{g + 1} \quad (3.4)$$

Abusu-funtzio hori orokorragoa izan dadin, irudikapen koadratikoa erabili da:

$$f_{safety}(x) = \frac{1}{m[h(x) - d]^2 + 1} \quad (3.5)$$

non $h(x)$ -k edozein balio har dezakeen (zero eta negatiboak barne) eta m eta d konstanteak diren, beherakadaren tasa beharren arabera kontrolatzeko aukera emanez.

Biltegiatze-sistema baten erabilera praktiko askotan, bere bizitza baliagarriaren amaierara (EOL) iritsi dela esaten da haren edukiera (potentzia eta energia) hasierako bizitza baliagarriaren (BOL) edukiera berdinen %80ra edo 0,8ra bakarrik irits daitekeenean, BOL-a %100 edo 1,0 gisa normalizatzen da. Beraz, 0.8 zenbakidun balio ezaguna ere erabiliko da muga gisa bateria abususko balio onargarrian noiz dagoen adierazteko:

$$f_{\%80} = 0.8 = \lim_{g \rightarrow 0.25} \frac{1}{g + 1} \quad (3.6)$$

Beraz, 0.8 eta 1 balioak erreferentziatzat hartuz,

$$1 = \frac{1}{m[h(x_{100}) - d]^2 + 1} \quad (3.7)$$

$$0.8 = \frac{1}{m[h(x_{80}) - d]^2 + 1} \quad (3.8)$$

Hauek ebatziz,

$$0 = m[h(x_{100}) - d]^2 \quad (3.9)$$

$$0.25 = m[h(x_{80}) - d]^2 \quad (3.10)$$

Eta, honela, d eta m parametroak atera eta segurtasunaren ekuazioan ordezkatu dira, non x_{100} eta x_{80} bateria-aldagaien konbinazioa diren, hurrenez hurren %100ko eta %80ko segurtasuna deskribatzen dutenak, t_0 jatorrizko denboran.

$$d = h(x_{100}) \quad (3.11)$$

garapena

$$m = \frac{0.25}{[h(x_{80}) - h(x_{100})]^2} \quad (3.12)$$

$$f_{safety}(x) = \frac{1}{0.25 \left[\frac{h(x) - h(x_{100})}{h(x_{80}) - h(x_{100})} \right]^2 + 1} \quad (3.13)$$

Hau orokortu egin daiteke, 0.8 beharrean, 0 eta 1 arteko ζ zenbaki bat erabiliz.

$$\zeta = \frac{1}{m[h(x_\zeta) - d]^2 + 1} \quad (3.14)$$

$$m = \frac{\frac{1}{\zeta} - 1}{[h(x_\zeta) - h(x_{100})]^2} \quad (3.15)$$

$$f_{safety}(x) = \frac{1}{\left(\frac{1}{\zeta} - 1\right) \left[\frac{h(x) - h(x_{100})}{h(x_\zeta) - h(x_{100})} \right]^2 + 1} \quad (3.16)$$

$h(x)$ abusu-funtzioak bi kasu bereizten ditu bere domeinuaren arabera, alde batetik, zerotik abiatuta, eta beste alde batetik, bi mugaren artean. Lehenengo kasua Otik abiatzen diren baldintzekin gertatzen da, adibidez, deformazio mekanikoetan, eta bigarren kasua, adibidez, tentsioa eta tenperaturaren kasuan bezala, zeinak funtzionamendu leiho batean dauden.

Aldagai bakarrean zentratuz, eta abusua aldagai horrekin batera handitzen dela kontuan hartuz,

$$f_k(x_k) = \frac{1}{\left(\frac{1}{\zeta} - 1\right) \left(\frac{x_k - x_{k,100}}{x_{k,\zeta} - x_{k,100}} \right)^2 + 1} \quad (3.17)$$

non x_k interesatzen zaigun edozein aldagai den, eta $x_{k,100}$ eta $x_{k,\zeta}$ segurtasunari dagozkion limiteak/mugak diren.

$f_k(x_k)$ hau, beraz, aldagai bakarraren azpifuntzio bezala hartuz, eta, honelako hainbat azpifuntziorekin lotuz, bateriaren SOS balio orokorra aterako da. Balio hau, banakako azpifuntzio hauen biderkadura gisa kalkula daiteke.

$$SOS(x) = f_1(x_1) \cdot f_2(x_2) \cdot \dots \cdot f_n(x_n) \quad (3.18)$$

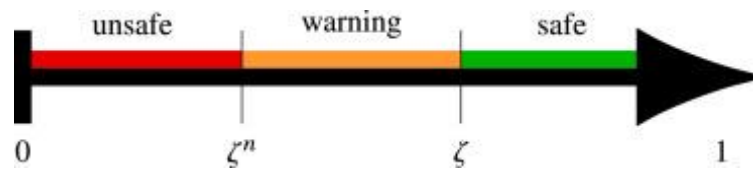
$$SOS(x) = \prod_{k=1}^n f_k(x_k) \quad (3.19)$$

non n azpifuntzioen kopurua den.

garapena

SOSaren balioaren arabera, arrisku edo alerta maila bat emango da:

- SOS = 1 erabat segurua (funtzio guztiak 1.0 dira)
- SOS = ζ ohartarazpena (funtzio bat ζ -n egon daiteke)
- SOS = ζ^n minimoa (funtzio guztiak ζ dira)
- SOS < ζ^n ez-segurua (funtzio guztiak ζ -tik behera daude)



28. Irudia Segurtasun mailak [38]

SOSak, funtsean, une jakin batean modu arriskutsuan erreakzionatzeko aukera hartzen du kontuan, eta biltegiratze-sistema erabiltzen ez denean ere kuantifikatu daiteke SOSa.

BMS batean, SOSa, itxuraz, EV eta karga-estazio gehienetan dagoeneko ezarrita dauden energia kargatzeko edo kudeatzeko sistemen barruan sar liteke. SOSa “online” kalkula daiteke, SOCaren “online” estimazioa egiten den antzera. Sistema erreal batean inplementatzeak moldagarria izan beharko luke BMSak abusu-aukera murrizten duten erabakiak har ditzan.

Proposatutako SOSaren zehaztasuna eta fidagarritasuna are gehiago hobetu daitezke azpifuntzio gehiago definituz eta daudenak doitzuz.

3.2 Planteamendu espezifikoa

Algoritmo honek bateria baten segurtasuna iragartzea du helburu, bertatik jasotzen dituen datuekin ateratako SOS balio zehatz bat emanez eta horren arabera den alerta maila bat adieraziz. Hau da, bateriatik parametro ezberdinen datuak jasotzen eta irakurtzen ditu, eta hauek funtzionamendu eremuan daudela egiaztatzen. Honela, bakoitzaren SOS indibiduala kalkulatzen da, eta, azkenik, SOS balio orokorra.

Biltegiratze sistema motaren arabera aldagai desberdinak aztertu behar dira segurtasuna deskribatzeko orduan. [38] dokumentuan, LIBetarako aplikagarriak diren aldagaiak aurkezten dira: tenperatura, korrontea, tentsioa, karga egoera (SOC), osasun egoera (SOH), barne-inpedantzia, deformazio mekanikoa eta deribatutak. Zerrenda honetatik ondoriozta daiteke segurtasuna ez dagoela arrisku edo parametro bakarraren menpe, eta garrantzitsua dela aldagai bakarrean ez zentratzea.

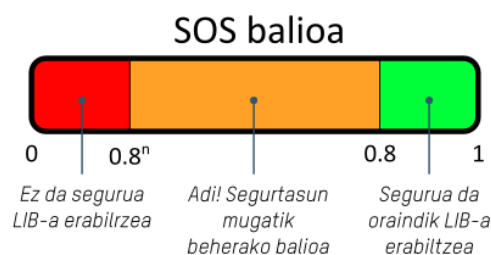
garapena

(3.18) eta (3.19) ekuazioetan ikusi bezala, beraz, segurtasun egoeraren balio orokorra, SOS indibidualen multiplikazio bidez lortzen da. Poiektu honen kasuan, SOS orokorra honako SOS indibidualen bidez zehaztea erabaki da:

$$SOS = SOS_{tT} \cdot SOS_C \cdot SOS_V \cdot SOS_{SOH} \cdot SOS_{fault} \quad (3.20)$$

- **Tenperaturarekin erlazionatutako SOS balioa (SOS_{tT}):** Denborarekiko tenperaturaren deribatua, tenperatura zein azkar aldatzen den adierazten du. Kasu honetan, tenperatura igotzen hasten den unean, honek daraman malda hartuta 65°C-tara noiz iritsiko den estimatuko da. Honela, tenperatura igoera honen arriskua aurreikusi ahal izango da.
- **Korrontearen SOS balioa (SOS_C):** Korrontearen balioa behatzeko aukerak, korronte altuak (kargan) eta korronte baxuak (deskargan) kontrolatuta edukitzea esan nahi du. Honela, gainkargak, bero sorkuntzak, etab. ekiditeko.
- **Tentsioaren SOS balioa (SOS_V):** Bateria gerta daitezkeen gaintentsioak (gainkargak) eta azpitentsioak (gaindeskargak) saihesteko.
- **Osasun egoeraren SOS balioa (SOS_{SOH}):** Bateriaren osasun egoerak (SOH) rol garrantzitsua du segurtasun egoera kalkulatzeko orduan, izan ere, bateriak, zahartzen den heinean, ezingo du gailua berria zeneko karga edo energia kantitate bera mantendu, portaera ez-segurua izateko joera handiagoa izanez. Laburki, bateria bat zenbat eta zaharragoa izan, orduan eta arriskutsuagoa da.
- **Akatsen edo zentzurik ez duten egoeren SOS balioa (SOS_{fault}):** Zentzurik ez duten kasuetan, akatsak detektatzeko balio du. Adibidez, korrontea positiboa bada, denbora batez bateria kargatzen egon bada eta, gainera, deribatua positiboa bada, orduan tentsioak goraka egin behar izan du. Egin ez badu, parametro honek akats bezala detektatuko du eta SOSa 0.8 baino txikiagoa izango da.

28. Irudiaren antzera, (3.20) ekuazioan lortutako balioa 0 eta 1 balioen artean mugatzen da, biak barne. Gainera, 0.8 balio ezaguna eta 0.8ⁿ (n azpifuntzio kopurua izanik, denen balioa 0.8koa da) balioa ere definitzen dira, alerta mailak bereizteko. 29. Irudian bereizitako eremuak agertzen dira. 1 balioak erabat segurua esan nahi du, SOS indibidualen balio guztiak 1 direla. Eremu berdeak, aldiz, bateria oraindik ere erabiltzeko segurua dela adierazten du. Eremu naranjak erne egoteko jakinarazten du, bateria segurtasun mugatik behera dagoelako, eta parametroren bat arriskutsua izan daitekeela edo arriskutsua izatera bideratu dela esan nahi du. Eremu gorrian egotea galbidetsua da, SOS balioa txikia da eta ez da segurua bateria eremu honetan egonda erabiltzea. Azkenik, 0 balioak, bateria guztiz arriskutsua dela dio.



29. Irudia SOS balioaren araberako ohartarazpenak

garapena

(3.20) ekuazioko biderkadura honekin, SOS balio indibidualen bat 0.8 baino txikiagoa bada, SOS orokorra 0.8 baino txikiagoa izango da. Balio komuna 0.8 baino txikiagoa izateak, ordea, ez du esan nahi derrigorrez parametroren bat 0.8ren azpitik dagoela. Hots, balioaren bat edo gehiago 0.8ra hurbiltzen ari badira, nahiz eta gaitetik egon, orokorra azpitik egon daiteke. Honela, algoritmoak adi egoteko ohartarazpena emango du, parametroren bat okertzen ari dela adieraziz.

3.3 Funtzioaren deskribapena

Proiektuaren hurrengo pausu moduan, 3.2 atalean proposatutako algoritmoa kodifikatu da. 14. Taulan landutako algoritmoak dituen sarrerak eta irteerak bildu dira. Programak bost sarrera ditu, aurretik aipaturiko tenperatura, korrontea, tentsioa, SOHa eta denbora. Horrez gain, segurtasuna iragartzeko ezinbestekoak diren irteerak ondorengo aldagaiak dira:

14. Taula Algoritmoaren sarrerak eta irteerak

Sarrerak	Irteerak
<ul style="list-style-type: none"> • Denbora • Korrontea • SOH • Tenperatura • Tentsioa 	<ul style="list-style-type: none"> • SOS balio orokorra • Balio indibidualak <ul style="list-style-type: none"> → Tenperaturarekin erlazionatutako SOS balioa → Korrontearen SOS balioa → Tentsioaren SOS balioa → SOHren SOS balioa → Akatsen (zentzurik gabeko egoeren) SOS balioa • Tenperaturaren deribatuaren denbora

* Kodean, emaitzak grafikatzearaz gain, sarrera batzuk ere grafikatu dira: tenperatura, korrontea, tentsioa eta denbora, zehazki. Beraz, irteera gisa ere identifika ditzakegu.

SOSa kalkulatzeko algoritmoa bi funtzio/kodek osatzen dute. Algoritmoa bi kodetan banatzearen helburua gero benetako aplikazio batean integratzeko erraztasuna lortzea da. Alde batetik, **sos_run**, eta bestetik, **sos_calculate**. Azken honetan, orokorrean sos balioa kalkulatzeko egin beharrekoak daude programaturik, hau da, SOS algoritmoaren funtsa da. Benetako BMS batean funtzio hau *time step* bakoitzean exekutatu litzateke, denbora errealean. **sos_run** funtzioak, aldiz, **sos_calculate** funtzioa gure ordenagailuan exekutatzeko aukera ematen digu, eta guk zehazten ditugun *input*-ekin (adibidez, laborategiko testetan lortutako balioak) lortutako emaitzak ikustea.

garapena

3.3.1 sos_run

Lehenengo kode honetan, sarrerak kargatzen dira, gure kasuan, egindako abusuzko testetatik lortutako datuak kargatzen dira. Sarrera hauekin irteerak kalkulatu ahal izateko, segurtasun egoera ateratzeko, hurrengo formulak erabili dira:

Aldagai desberdinen SOS balioak ateratzeko, (3.21) ekuazioa erabili da:

$$SOS_{aldagaia} = \frac{1}{0.25 \left[\frac{x - x_{100}}{x_{80} - x_{100}} \right]^2 + 1} \quad (3.21)$$

Osasun egoeraren (SOH) kasuan, 0tik 100erako balioak hartzen ditu, hau da, ehunekotan eman ohi da. Hori dela eta, (3.22) ekuazioan ikusten den bezala, duen balioa zati 100 eginez lortuko genuke bere SOS balioa.

$$SOS_{SOH} = \frac{x}{100} \quad (3.22)$$

(3.21) ekuazioa ebatzi ahal izateko, parametro bakoitzaren limiteak ezarri behar dira, hauen funtzionamendu eremu egokia edo segurua zehazteko. 15. Taulak limite hauek biltzen ditu:

15. Taula Parametroen "Threshold"-ak

Parametroak	"Threshold"-ak/Limiteak
Temperaturaren deribatua (tT)	<ul style="list-style-type: none"> - h100 = 450 s (7.5 minutu) - h80 = 300 s (5 minutu)
Korrontea (C)	<ul style="list-style-type: none"> - h1_80 = 14.7A (dch) - h1_100 = 9.8 A (dch) - h2_100 = 3.27 A (ch) - h2_80 = 4.9 A (ch)
Tentsioa (V)	<ul style="list-style-type: none"> - h1_80 = 2.5 V (min) - h1_100 = 3 V (min) - h2_100 = 4.1 V (max) - h2_80 = 4.2 V (max)

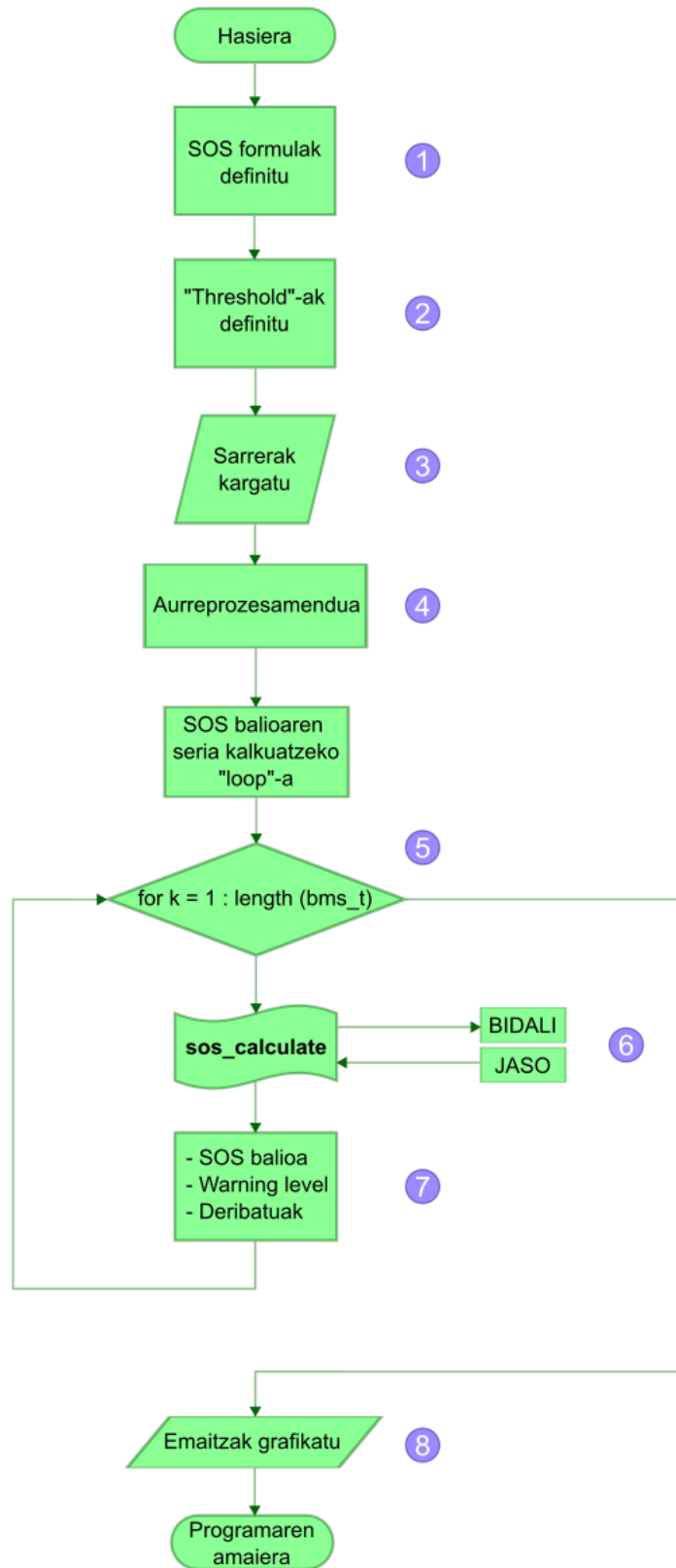
Behin formulak zein limiteak zehaztuta eta sarrerak kargatuta, **sos_calculate** kodea erabiliz, balioak etengabe biltegitratzen dira sarreretako denbora (t) ardatz hartuta. Balio hauek, SOS balioak (indibidualak eta orokorra), ohartarazpen maila eta deribatuak izango dira. Azkeneko hauek garrantzitsuak dira, izan ere,

garapena

denborarekiko edozein kantitateren deribatuak egoera bat zein azkar aldatzen ari den adierazten du, bateria baten segurtasunerako premiazkoa dena. Bestalde, ohartarazpen mailak, bateria erabiltzeko segurua den edo ez adieraziko du. Amaitzeko, lortutako emaitzak bisualki ikusi ahal izateko, grafikatu egiten dira.

30. Irudian dagoen fluxu diagrama, kode honen funtzionamenduak, hasten denetik amaitzen den arte, jarraitzen dituen urratsen irudikapen grafikoa da. Programaren urrats nagusiak identifikatzen ditu eta urratsak sekuentzia logiko batean antolatu.

garapena









garapena

30. Irudia **sos_run** kodearen fluxu diagrama

30. Irudiako diagramaren pausuak eta hauen azalpena 16. Taulan bildu dira.

16. Taula **sos_run** kodearen fluxu diagramaren azalpena puntuka

Pausuak	Azalpena
	<p>Aldagai bakoitzaren segurtasun egoera kalkulatzeko formulak definitu:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Parametro bakoitzarena: tT, C, V, SOH
	<p>Parametro bakoitzarentzat “threshold”-ak(limiteak) definitu:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Parametro bakoitzarentzat desberdinak → SOSa 0.8 eta 1 denean → Korrontearen (deskarga, karga) eta tentsioaren (min, max) kasuan, goiko eta beheko limiteak
	<p>Kodean erabiliko diren sarrerak kargatzen dira:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Testetatik lortutakoak: Q_{nom}, T_{amb}, I, T, V, SOH, t
	<p>Aurreprozesamenduan korrontearen normalizazioa egiten da:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Korrontearen balioa C-rate-era pasa: karga eta deskarga korronteari neurtzeko
	<p>Balioak etengabe eguneratzeko:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Loop hau, “k” denbora-une bakoitzean exekutatu da “bms_t” erregistroaren hasieratik amaieraraino ($length(bms_t)$), hau da, testak iraun duen denborak (bms_t) irauten duen bitartean → <i>buffer</i>: sarrera/irteera egitura, SOS seriea kalkulatzeko beharrezkoak diren balioak biltegitzen ditu
	<p>sos_calculate funtziora/kodera datuak bidali eta ondoren beste datu batzuk jasotzen dira:</p> <ul style="list-style-type: none"> → BIDALI: $bms_T(k)$, $bms_Crate(k)$, $bms_V(k)$, $bms_soh(k)$, $bms_t(k)$, <i>formula</i>, <i>thresholds</i>, <i>buffer</i>

garapena

→ JASO: $SOS(k)$, $warning_level(k)$, sos_aux_k , $buffer$, $derivatives_k$

sos balioa, $warning_level$ -a (ohartarazpen maila) eta deribatuak biltegitzen sarrera bakoitzaren balio eguneratuko:

7

- **sos_calculate** -etik jasotako k une bakoitzeko balioak gordetzen dira
- $warning_level$
 - SOS : alde batetik, sos balio orokorra gordetzen da, beste alde batetik, sos_aux_k -tik parametro bakoitzaren balioak gordetzen dira
 - der : $derivatives_k$ -ko T, C eta V-ren deribatuen (min, 10s, 60s) balioak gordetzen ditu
-

8

Lortutako emaitzak grafikatzeko dira:

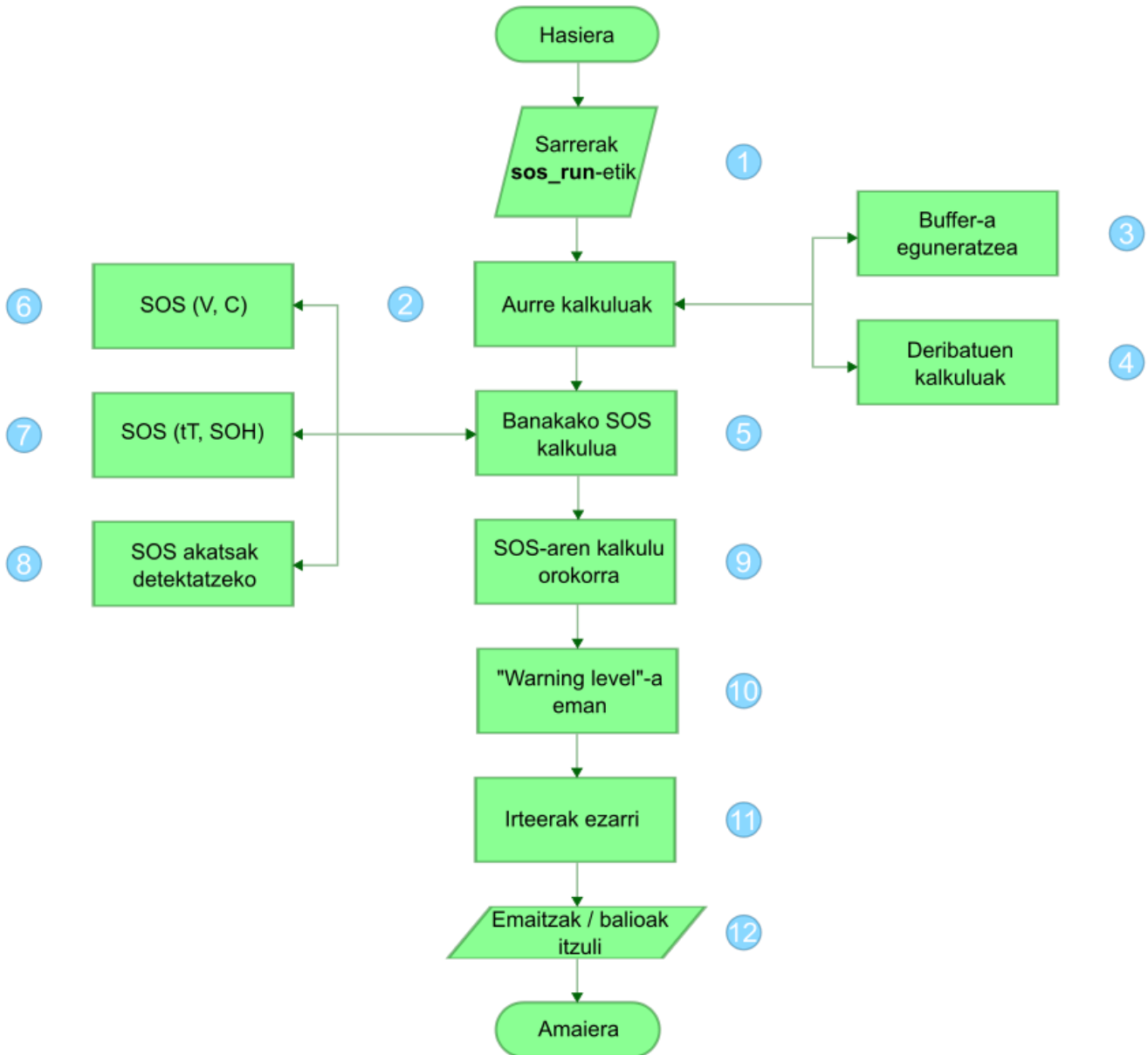
- Parametro bakoitza eta SOS balioa
-

3.3.2 sos_calculate

Programa honetan **sos_run**-etik kargatzen dira sarrerak. Balioak eguneratzeaz gain, deribatuak kalkulatu dira. SOS balio guztiak kalkulatzeko formulatan erabili beharreko datuak zehazten dira, eta balioen araberakoa izango den alerta maila bat eman. Azkenik, ateratako emaitzak **sos_run**-era bidaltzen dira.

31. Irudian dagoen fluxu diagrama ere, kodearen funtzionamendua hasten denetik amaitzen den arte jarraitzen dituen urratsen irudikapen grafikoa da.

garapena



31. Irudia **sos_calculate** kodearen fluxu diagrama

31. Irudiako diagramaren pausuak eta hauen azalpena 17. Taulan bildu dira.

17. Taula **sos_calculate** kodearen fluxu diagramaren azalpena puntuka

Pausuak	Azalpena
---------	----------

garapena

1

sos_calculate funtzioak sistemaren (**sos_run**) aldagaiak hartzen ditu sarreratzat:

- Sarrerak: T , C , V , SOH , t , $formula$, $thresholds$, $buffer$ (aurretiazko datuak biltegitzeko)

Aurre kalkuluak egiten dira:

2

- $buffer$ -a (balioak biltegitzen dituen bektore bat) eguneratzen da sistemaren T , C eta V -ren egungo balioekin eta t denborarekin
- T , C eta V -ren deribatuak (min, 10s, 60s) kalkulatu dira, $buffer$ -ean biltegitratutako datuetatik abiatuta
- $T=65^{\circ}\text{C}$ -ra iristeko falta den denbora kalkulatu da (t_{window_65}), 60 segunduko tenperaturaren deribatu erabilia (dT_{60s}). $T>65^{\circ}\text{C}$ bada, balio infinitu bat esleitzen zaio denbora horri

$Buffer$ -a eguneratzen da:

3

- Balio berriak gehitzen dizkio parametro bakoitzaren bektoreari, eta $buffer$ -ak azken 100 segunduetako balioak bakarrik dituela ziurtatzen du
- $buffer_update$ 4 parametroekin ($value_T$, $value_V$, $value_C$, t , $buffer$): parametro bakoitzaren balioa gehitzen du $buffer$ -aren barneko parametro bakoitzaren bektorean
- $buffer.t$ -ko azken baliotik $buffer.t$ -aren balio bakoitzera dagoen denbora desberdintasuna kalkulatu da, eta balio horiek dt_from_now izeneko aldagai batean gordetzen dira
- Beraz, erregistratutako/gordetako azkeneko datutik igarotako denbora kalkulatu da
 - ≥ 100 bada, $buffer$ -eko parametro bakoitzaren baliorik zaharrena borratzen da
- Eguneratutako $buffer$ -a itzultzen da

T , V eta C -ren denbora ezberdinetako (min, 10s, 60s) deribatuak kalkulatu dira:

4

- 3.puntuan bezala, $buffer.t$ -ko azken baliotik $buffer.t$ -aren balio bakoitzera dagoen denbora desberdintasuna kalkulatu da, eta balio horiek dt_from_now izeneko aldagai batean gordetzen dira
- idx_min :
 - $buffer.t$ bektorearen luzeera 1 bada, orduan denbora tarte minimoaren indizea bat izango da ($idx_min = 1$)

garapena

- *buffer.t* bektorearen luzeera ez bada 1, *buffer.t* bektorearen luzeraren balioa eta luzeraren balioaren aurreko balioa (-1) gordeko dira *idx_min*-en
- *idx_10s: dt_from_now* bektorean gordetako 10 edo handiagoak diren balioen posizioko *buffer.t* bektoreko balioak biltegitratzen ditu
- *idx_60s: dt_from_now* bektorean gordetako 60 edo handiagoak diren balioen posizioko *buffer.t* bektoreko balioak biltegitratzen ditu
- Denbora tarte minimoaren deribatuak
 - Indizea $length(idx_min) < 2$: deribatu minimoei NaN (Not a Number) balioa eman
 - $length(idx_min) \geq 2$: Deribatu minimoak kalkulatzen dira
- 10 segunduren deribatuak
 - Indizea $length(idx_10s) < 1$: 10 segundutako deribatuei NaN (Not a Number) balioa eman
 - $length(idx_10s) \geq 1$: 10 segundutako deribatuak kalkulatzen dira
- 60 segunduren deribatuak
 - Indizea $length(idx_60s) < 1$: 60 segundutako deribatuei NaN (Not a Number) balioa eman
 - $length(idx_60s) \geq 1$: 60 segundutako deribatuak kalkulatzen dira

5

Sistemaren aldagai bakoitzerako SOS balio desberdinak kalkulatzen dira, bakoitzaren *formula* eta *threshold*-etatik abiatuta:

- *sos_tT* kasuan, $T < 65^{\circ}\text{C}$ egiaztatzen da SOSa ezartzeko
- *sos_fault* kasuan, *buffer* eta deribatuetatik (*dC_10s*, *dV_10s*) abiatuta kalkulatzen da

6

Korrontearen (C) eta tentsioaren (V) sos balioak kalkulatzen dira:

- *sos_2parts*: Bi parametro hauen kasuan, goi eta behe limiteak daude (*h1_80*, *h1_100*, *h2_100*, *h2_80*)
- Parametro bakoitzaren balioa limite hauen zein tartetan dagoen jakin behar da sos balioa lortzeko, formulatan zein *threshold* erabili beharko den zehaztuz:
 - $h2_100 > \text{balioa} > h1_100$
 - $\text{sos} = 1$
 - $\text{balioa} \leq h1_100$
 - $\text{sos} = \text{formula}(h1_80, h1_100)$
 - $\text{balioa} \geq h2_100$
 - $\text{sos} = \text{formula}(h2_80, h2_100)$

garapena

7

Temperaturaren deribatuaren (sos_{tT}) eta osasun egoeraren (SOH) sos balioak kalkulatu dira:

- sos_{1part} : parametro hauen balioari dagozkion *threshold*-ak kontuan hartuta:
 - $balioa > h_{100}$
 - $sos = 1$
 - $balioa \leq h_{100}$
 - $sos = \text{formula}(h_{80}, h_{100})$

8

Bateriako akatsak detektatzen dituen sos_{fault} balioa kalkulatu da:

- C eta t balioak *buffer*-etik atera eta $buff_C$ eta $buff_t$ -n biltegitatu hurrenez hurren
- 3.puntuari bezala, $buffer.t$ -ren azken baliotik $buffer.t$ -aren balio bakoitzera dagoen denbora desberdintasuna kalkulatu da, eta balio horiek dt_{from_now} izeneko aldagai batean gordetzen dira
- dt_{from_now} bektorean gordetako 10 baino txikiagoak diren balioen posizioan $buffer.t$ -ko balioak gordetzen dira idx_{10s} izeneko aldagai batean
- idx_{10s} -ko balio/indize horiei dagozkien $buff_C$ aldagaiaren balioak $buff_C_{10s}$ -n biltegitatu dira
- Hasieran $sos = 1$
- Azkeneko 10 segundutan neurketarik egin den egiaztatzen da ($idx_{10s} = 0$?), egin ez bada ($idx_{10s} = 0$) sos balioa ($sos = 1$) mantendu, bestela:
 - $buff_C_{10s}$ -ko balio guztiak positiboak badira ($C > 0$), eta C-ren deribatua ere positiboa bada ($dI > 0$), tentsioaren deribatuak positiboa izan behar du
 - $dV < 0$ bada: $sos = 0.79$
 - $buff_C_{10s}$ -ko balio guztiak negatiboak badira ($C < 0$), eta C-ren deribatua ere negatiboa bada ($dI < 0$), tentsioaren deribatuak negatiboa izan behar du
 - $dV > 0$ bada: $sos = 0.79$
- sos balioa ematen du

9

Aurreko aldagai guztien SOS balioak biderkatzen SOS balio orokorra kalkulatu da:

- $sos_value: sos_{tT} \cdot sos_I \cdot sos_V \cdot sos_{SOH} \cdot sos_{fault}$

garapena

SOSaren balioaren arabera, ohartarazpen/alerta maila (*warning_level*) bat eman:

10

- $sos_value < 0.8^n$
 - $warning_level = 2$
- $sos_value < 0.8$
 - $warning_level = 1$
- $sos_value \geq 0.8$
 - $warning_level = 0$

11

Irteerak ezartzen dira:

- *sos_aux* : parametro guztien uneko sos balioa gordetzen du, baita $T=65^\circ\text{C}$ izateko falta den denboraren balioa ere
- *derivatives* : T, C, eta V-ren deribatu bakoitzaren (min, 10s, 60s) uneko balioa gordetzen du

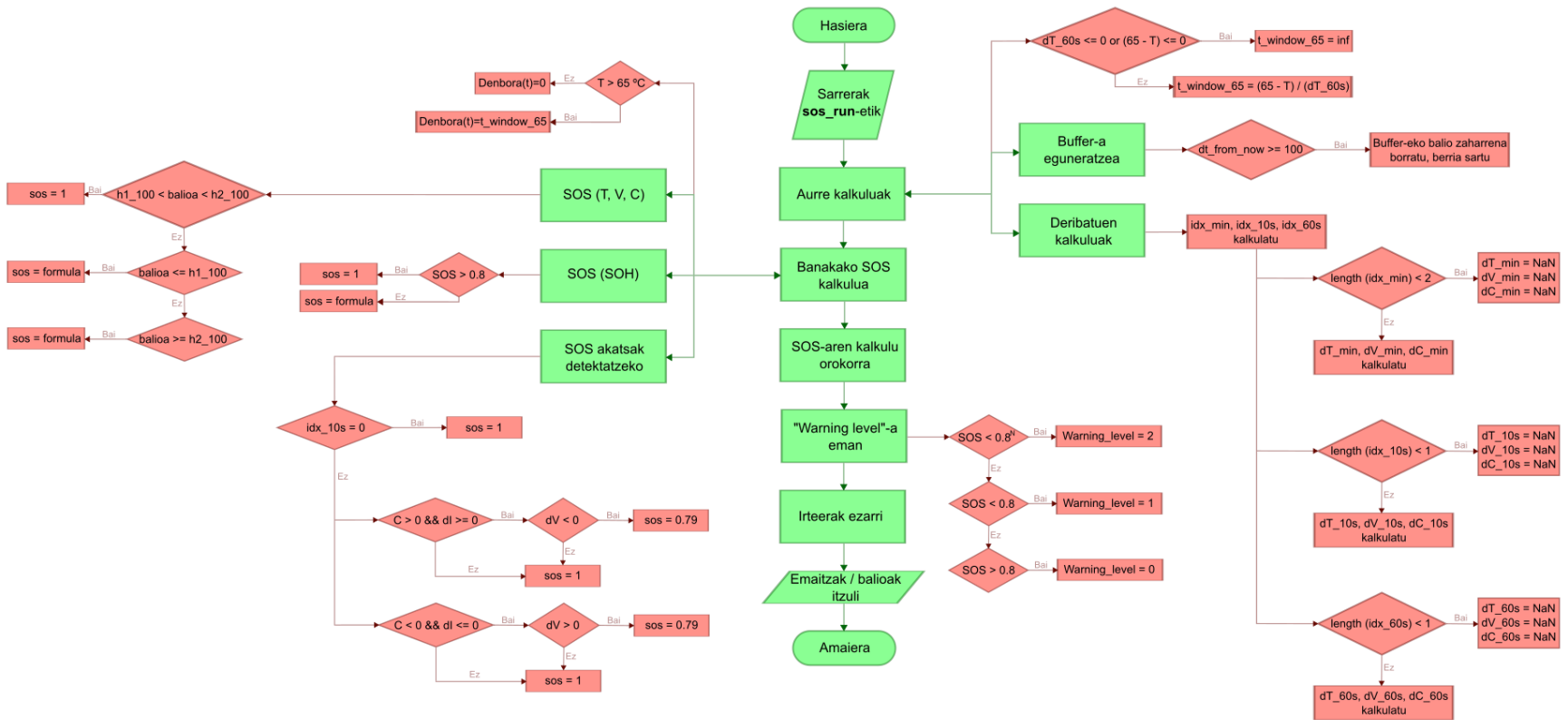
12

sos_run -era balioen itzulera / emaitzak bidaltzea:

- Irteerak: *sos_value*, *warning_level*, *sos_aux*, *buffer*, *derivatives*
-

SOS Algoritmoaren garapena

17. Taulako kodearen funtzionamenduaren azalpenean hainbat erabaki edo aukera desberdin azaltzen dira, datuen araberakoak direnak. Hauek hobeto edo errazago ulertzeko, aurreko fluxu diagramari aukerak gehitu zaizkio (gorriz), 32. Irudian ikus daitekeen bezala.



32. Irudia **sos_calculate** kodeko erabakiaren fluxu diagrama

4. Testen planteamendua

2.3 atalean LIBen arriskuak identifikatuta, abusu desberdinen arabera segurtasun probak egin dira laborategian. Atal honetan test hauen planteamendua, garapena eta emaitzen azterketa landuko dira. Lortutako emaitzak baliogarriak izango dira 3. atalean proposatutako algoritmoa balioztatzeko.

Baterien segurtasun probek garrantzi handia dute, izan ere, ohiko erabilerako baldintzak gainditzera behartzen dituzte bateriak. Horregatik, baterien segurtasun probei abusu proba ere esaten zaie. Froga hauekin bateriek lege, industria eta fabrikatzailearen baldintzak betetzen dituztela bermatzen da. Beraz, abusu probek segurtasun gehigarria dakarte berekin [40].

Laburbilduz, test hauek, bateriei ezarritako lan baldintzek haien erantzun elektriko eta termikoan duten eraginari buruzko informazioa ematen dute.

Probak egiten hasi aurretik, helburu, alderdi zein baldintzak argitu behar dira, entsegu espezifikoak egin ahal izateko. Funtsezkoa da baldintzak errealistak izatea, baliozkoak. Testak egiteko eremu eta material egokiak erabili dira. Behin hauek eginda, emaitzak aztertu eta ebaluatu behar dira, sorturiko arazo edo anomaliak identifikatzeko. Eta, azkenik, probak amaitzean, prozesuan jasotako emaitza eta aurkikuntzak dokumentatu. Hau guztia hurrengo azpiataletan aurkezten da.

4.1 Testeatuko den bateria

Probak egiten hasi aurretik, ezinbestekoa da aztertuko den bateriaren ezaugarriak ezagutzea. Horretarako, bere “*datasheet*”-a behatuko da, segurtasun testetarako kontuan hartu behar diren datuak bilduz.

Ibilgailu elektrikoetan dentsitate altuko zelulak behar izaten dira, zenbat eta dentsitate altuagoa izan, orduan eta autonomia handiagoa lortzen delako.

Testatuko den LIBa **INR21700-50E** da (SAMSUNG). Bateria honek NMC teknologia dauka katodoan eta zilindrikoa da. Zelula hau aukeratzearen arrazoia, dentsitate altuko zelula bat dela da, eta duen tamainari esker, laborategian testatzeko aukera ematen duela.

Lehenik eta behin, beraz, hautaturiko li-ioi bateriaren ezaugarriak adierazten dira 18. Taulan. Hau da, INR21700-50E bateriaren datu tekniko garrantzitsuenak.

18. Taula Zelularen ezaugarriak, *datasheet*-etik

Ezaugarriak (<i>Datasheet</i>)		INR21700-50E
Kapazitatea	[mAh]	4900
Energia	[Wh]	17.62 [41]

Pisua	[g]	69.5
Neurriak (Luzera / Diametroa)	[mm]	70.8 / 21.25
Barne erresistentzia (AC, 1kHz)	[mΩ]	14 ± 5
Tentsio izendatua	[V]	3.63
Funtzionamendu tentsioa / Tentsio operatiboa	[V]	2.5 – 4.2

33. Irudian aukeratu den bateria komertziala ikus daiteke.



33. Irudia SAMSUNG INR21700-50E [42]

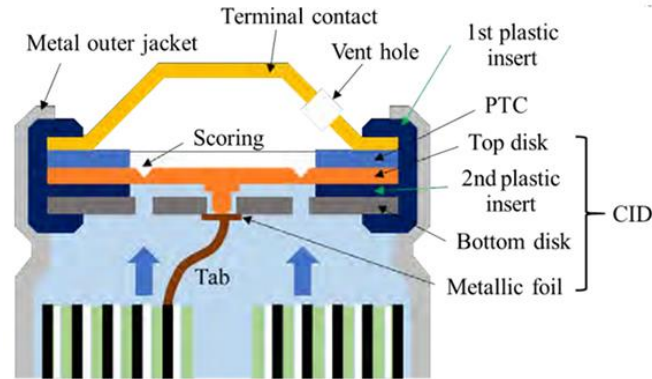
4.1.1 Zelularen forma eta segurtasuna

Litiozko zelula komertzialak beraien formaren arabera sailkatzen dira, auto elektrikoek kasuan, hiru mota izaten dira: zilindrikoa, prismatikoa eta “pouch”. 19. Taulak zelula mota hauek dituzten babesgailuak adierazten ditu:

19. Taula Formaren formatuaren araberako babesgailuak

Babesgailua	Zilindrikoa	Prismatikoa	Pouch
CID (Current Interruption Device)	Bai	Ez	Tab fuse
PTC (Positive Thermal Coefficient)	Bai	Ez	Ez
Gainkarga	Ez	Bai (OCD)	Ez
Haizegailua	Bai	Bai	Bai
Bereizgailuak	Bai	Bai	Bai
Geometria	Biribildua	Biribildua/Pilatua	Pilatua

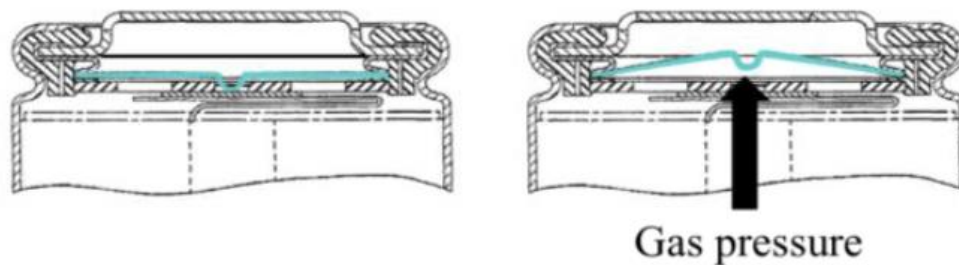
Bateriaren funtzionamendu txarraren ondorioak saihesteko eta/edo mugatzeko, hainbat segurtasun-mekanismo sar daitezke zelulan bertan. Praktikan, gailu bakar batek ere ez ditu estaltzen LIBei eman behar zaizkien segurtasun-funtzio eta behar guztiak. Testetako erabili den zelula zilindrikoa denez, babesgailuak hurrengoak dira:



34. Irudia Zelula zilindriko bateko babesgailuak

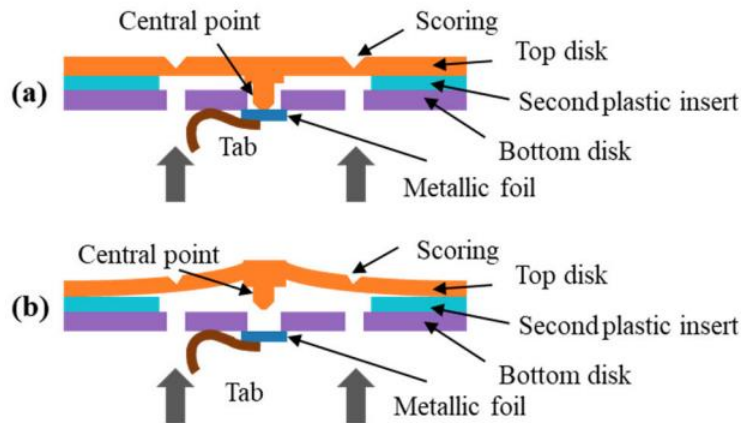
4.1.1.1 Korrontea eteteko gailua (CID)

Korrontea eteteko gailua (CID) fusible motako gailu bat da, zirkuitu elektrikoa etengabe mozten duena zelularen gehiegizko presioagatik, temperatura altuagatik edo tentsio altuagatik aktibatzen denean, diseinuaren arabera. CIDak presioaren baitan funtzionatzen du (35. Irudia) [43].



35. Irudia CIDaren funtzionamendua

Zelula zilindriko gehienetan erabiltzen den sistema hau, 34. Irudian ikusten den bezala, goiko diskoak ("Top disk"), plastikozko bigarren txertaketak ("Second plastic insert"), beheko diskoak ("Bottom disk") eta metalezko laminak ("Metallic foil") osatzen dute. Goiko diskoa malgua da, gehiegizko presiopean gorantz mugitu baitaiteke. Goiko diskoaren erdiko puntua metalezko xaflarekin soldatuta dago beheko diskoaren erdiko irekiduraren bidez, eta metalezko xafla, berriz, beheko diskoari finkatuta dago. Plastikozko bigarren txertaketak elektrikoki isolatzen ditu goiko diskoa eta behekoa. Horrela, soldadura-puntua da goiko eta beheko diskoen arteko konexio elektrikoa. Bateriak ezohiko moduan funtzionatzen duenean, bi elektrodoetatik gas kantitate handi bat sortuko da. Barne-presioa handitu egingo da, eta aurrez definitutako maila bateraino igotzen denean, goiko diskoak gorantz mugitu beharko du erdiko puntuaren eta metalezko laminaren arteko soldadura-konexioa hausteko (36. Irudia). Orduan, korronte-kolektoretik kanpo-kargarainoko bide elektrikoa etengo da, eta erreakzio elektrokimikoa gelditu egingo da bateriaren barruan [44].

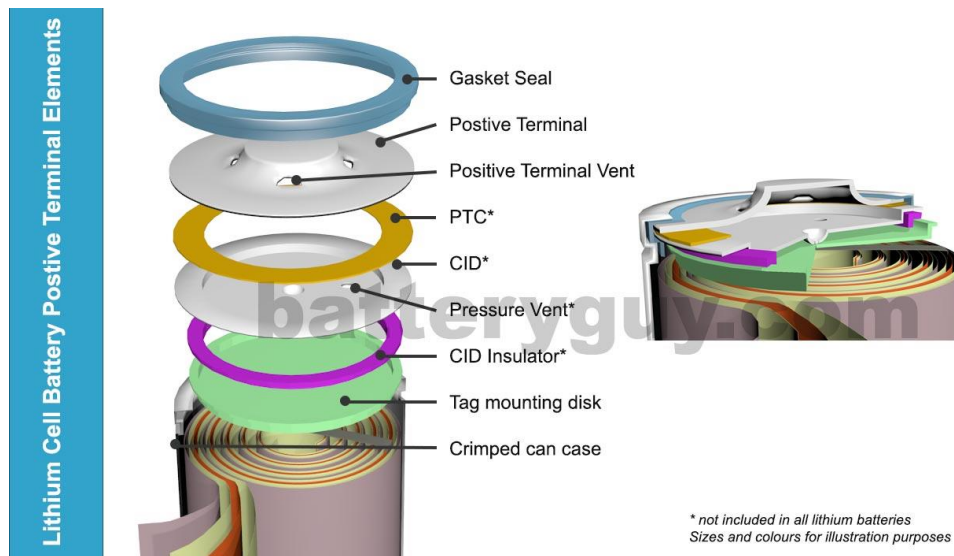


36. Irudia CIDaren egitura, aktibatu aurretik (a) eta ondoren (b)

CIDa babesgailu itzulezina da, eta horrek esan nahi du bateria energia-iturri gisa erabili ezinik geratuko dela CID aktibatu ondoren [44].

4.1.1.2 PTC sistema

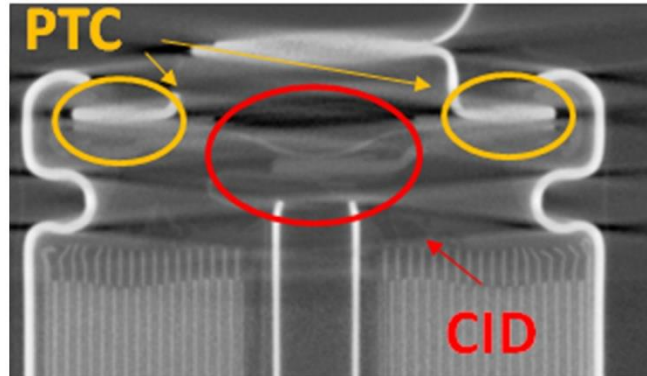
Zelulula zilindrikoen berezko sistema hau koefiziente termiko positiboko erresistentzia erabiltzean datza (PTC, *Positive Thermal Coefficient*). Elektrodo positiboaren eta korrontea eteteko gailuaren (CID) artean dago (37. Irudia).



37. Irudia LIBen elementu komunak, gainberotzea, suteak edo leherketak saihesteko [45]

Koefiziente termiko positiboaren (PTC) erresistentzia txikia da funtzionamendu normalean, eta handitu egiten da tenperatura maila kritiko batetik gora igotzen denean korrontea-fluxua murrizteko [43]. PTC bat hiru geruzako egitura duen disko deuseztatu bat da: metalezko bi geruzatan tartekatutako polimero eroale geruza bat [44].

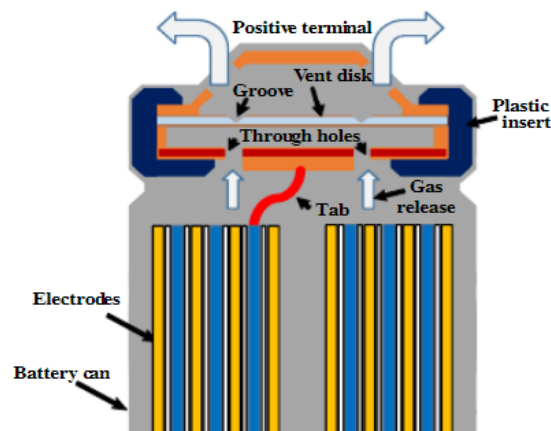
CIDa eta haizatzea bezalako babesgailuak ez bezala, PTCa babesgailu itzulgarria da, korronte altuko tontorrak galarazten dituena. Egoera eroale batera itzultzen da tenperatura giro-tenperaturaraino jaisten denean [44].



38. Irudia Zelula zilindriko baten X izpien argazkia, markatutako koefiziente termiko positiboarekin (PTC) eta korrontea eteteko gailuarekin (CID) [46]

4.1.1.3 Haizegailua/Haizatzea (“venteo”)

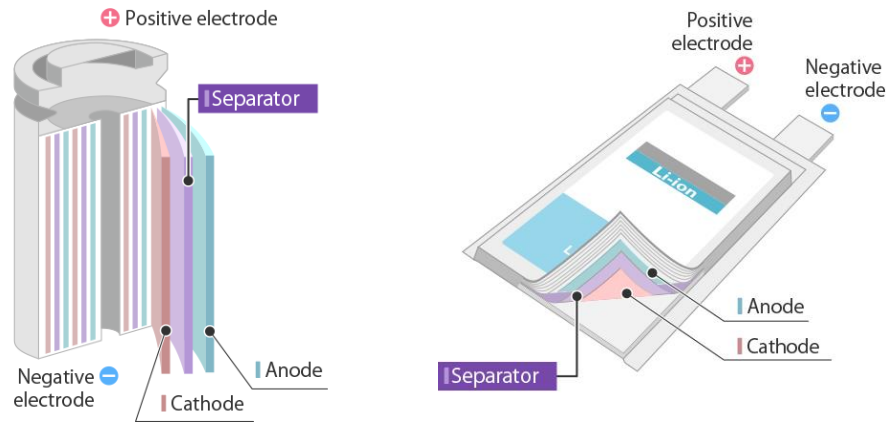
Babes-sistema hau zelula-formatu guztiei dagokie (zilindrikoak, prismatikoak eta *pouch*-ak), baina horietako bakoitzean erabiltzen den sistema oso desberdina da (zelula-formatu bereko fabrikatzaile desberdinen artean ere desberdina izan daiteke). LIB zilindriko batean segurtasun-aireztapena (haizatzea) ipintzen da ihes termikoa arintzeko eta bateria hautsi eta leher ez dadin. Beraz, haizatzea ihes termikoaren hasierako faseetan gertatu behar da, elektrolitoaren deskonposizioaren ondorioz sortutako gasak kanporatzeko, barneko presioa murrizteko eta leherketak saihesteko. Aireztapen diseinu eraginkor batek gasa bateriatik azkar botatzea ahalbidetu behar du. 39. Irudian, LIB baterako ohiko aireztapen-diseinua ageri da [47].



39. Irudia Segurtasun haizatze tipikoa LIB zilindriko batean (gezi zuriek bateria barruko gasak askatzeko bidea adierazten dute) [47]

4.1.1.4 Bereizgailuak

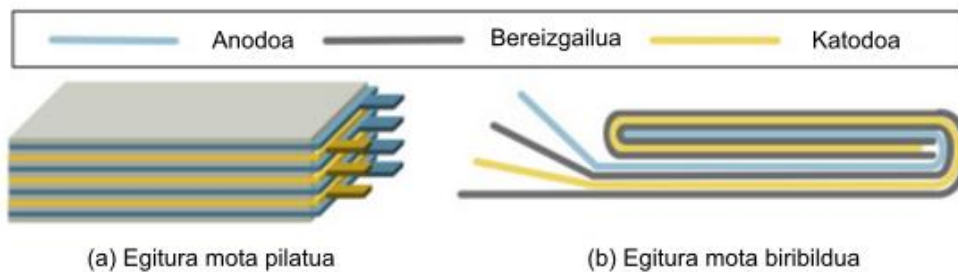
Normalean, litiozko zelulek, formatua edozein dela ere (zilindrikoa, prismatikoa edo *pouch*-a), polietilenoazko (PE) edo polipropilenoazko (PP) bereizgailu mikroporosoak erabili ohi dituzte, propietate onuragarriak dituztelako. Bereizgailu horiek elektrolitoaren xurgapen ona, eroankortasun ioniko handia, egonkortasun termiko bikaina eta erresistentzia kimikoa eskaintzen dituzte. Gainera, material horiek baterien berariazko aplikazioetarako porositate eta lodiera egokiak izan ditzaten diseina daitezke.



40. Irudia Bereizgailuak litiozko zelula zilindrikoetan [48]

4.1.2 Zelularen geometria

Zelularen barne-egitura bi motatan bana daiteke: biribildua (*wound*) eta pilatua (*stacked*), 41. Irudian ikus daitezkeen bezala.



41. Irudia Zelularen geometria

Biribilduetako fabrikazio-prozesua zelulula zilindrikoetan erabiltzen da, eta normalean zelula prismatikoen, nahiz eta zelula hauek pilatuta ere fabrikatu daitezkeen. Normalean, *pouch* zelulak pilatutako egitura mota du. Biribilduetako fabrikazio-prozesua nahiko sinplea da, eta ekoizpen-eraginkortasun handikoa. Ekoizpenean zehar, zelula biribilkatuak deformazio handia izan dezake ertzaren alde tolestuan, eta horrek iraunkortasun eta segurtasun arazoak eragin ditzake.

4.2 Testen planteamendua

LIBen segurtasuna aztertzeko, bateriak abusu desberdinak jasatera behartu dira, hauen aurrean nola erreakzionatzen duten ikusi eta ondorioak atera ahal izateko.

4.2.1 Abusu probak

Aurretik azaldu den bezala, bateriek abusu egoera ezberdinak jasaten dituzte beraien bizitza erabilgarrian zehar.

IEC62619 araudia ibilgailu elektrikoek baterietarako ere garatu da berariaz, eta, beraz, haren eskakizunak eta zehaztapenak bat datoz sektorearen beharrekin. Beste araudi batzuek ikuspegi orokorragoa izan dezakete baterietarako.

INR21700-50E LIBaren “*datasheet*”-ean/informazio orrian zelulak jasandako abusuzko testak aztertu dira, baina hauek araudi orokorrak jarraituz egin direla ikusi da. Hortaz, zelula auto elektrikoetan aplikatzeko asmoz, honek abusuzko testak IEC 62619:2022 arauaren arabera pasatu dituela ziurtatu behar da.

LIBen segurtasuna ebaluatzeko abusu motak taldetan bereiz daitezke: abusu elektrikoak, abusu termikoak eta mekanikoak.

4.2.1.1 Abusu elektrikoa

Abusu elektrikoek bateriek egoera zehatz batzuen aurrean, hala nola zirkuitulaburrak, karga azkarrak edota gaindeskargak, duten erresistentzia ikusteko balio dute. Eta hauek analizatzeko, hiru proba mota daude.

4.2.1.1.1 Gainkarga

Bateria gomendatutakoa baino gehiago kargatzea, gainkarga bati eusteko duen gaitasuna egiaztatzeke eta gainkarga honek zelularen tentsioan eta tenperaturan duen eragina ebaluatzeko.

Testa egiteko baldintzak:

- Gainkargarekin hasi aurretik zelula 0,2 I_t A-ko korrante konstante batean deskargatu: zehaztutako tentsio minimoraino (2.5V)
- Hasierako SOCa: %0 SOC (2.5 V)
- Giro tenperatura: 25 ± 5 °C
- Korronea: 1C
- Karga denbora:
 - Zelularen gainazaleko tenperaturak baldintza egonkorak lortu arte (10°C-tik beherako aldaketa 30 minutuko epean)
 - Giro tenperaturara itzuli arte
- Irizpidea: surik ez, ezandarik ez
- Proba **IEC62619** araudiaren arabera egingo da

4.2.1.1.2 Gaindeskarga / Deskarga behartua

Bateria gomendatutakoa baino sakonago deskargatzea, gehiegizko deskargari eusteko gaitasuna egiaztatzeke eta deskargak zelularen tentsioan eta tenperaturan duen eragina ebaluatzeko.

Testa egiteko baldintzak:

- Gaindeskargarekin hasi aurretik zelula $0,2 I_t$ A-ko korronte konstante batean deskargatu: zehaztutako tentsio minimoraino (2.5V)
 - Hasierako SOCa: %0 SOC (2.5 V)
 - Giro tenperatura: 25 ± 5 °C
 - Korrontea: 1C (4,900mA)
 - Deskarga denbora: 1,5 ordu (90 min)
- Irizpidea: surik ez, ezandarik ez
 - Proba **IEC62619** araudiaren arabera egingo da

4.2.1.1.3 Kanpo-zirkuitulaburra

Zirkuitulabur bat simulatzea terminal positibo eta negatiboaren artean, bateriak korronte altuko egoera bati aurre egiteko duen gaitasuna egiaztatzeko. Kanpoko zirkuitulabur batek zelularen tentsioan eta tenperaturan duen eragina ebaluatuko da.

Testa egiteko baldintzak:

- Hasierako SOCa: %100 SOC (4.2 V)
 - Giro tenperatura: 25 ± 5 °C
 - Zirkuitulaburraren kanpoko erresistentzia: 30 ± 10 mΩ
 - Testaren amaierako baldintza:
 - Denbora: 6 ordu
 - Bateriaren gainazaleko tenperatura: testeko tenperatura maximotik, tenperatura %80 jaisten denean
- Irizpidea: surik ez, ezandarik ez
 - Proba **IEC62619** araudiaren arabera egingo da

4.2.1.1.4 Barne-zirkuitulaburra

Baterian barne zirkuitulaburra eragin. Barneko zirkuitulabur batek zelularen tentsioan eta tenperaturan duen eragina ebaluatuko da.

Testa egiteko baldintzak:

- Kargatu aurretik, zelula $0,2 I_t$ A-ko korronte konstante batean deskargatu: zehaztutako azken tentsio bateraino

- Fabrikatzaileak zehaztutako korrante konstantetik gorako karga-tentsio mugatua kargatuko da zelula, eta tentsio konstantean kargatzen jarraituko da, goiko karga-korrante mugatua 0,05 It A-ra jaisten denean
 - Proba prestakuntza
 - Giro tenperatura: 25 ± 5 °C
 - Jarri aluminiozko poltsa ijeztua (laminatua) ganberan, nukleo bobinatuarekin eta nikelzko partikularekin, 45 min \pm 15 minutuz
 - Kendu nukleo harilkatua zigilatutako paketetik eta finkatu terminalak tentsioa neurtzeko eta termoparea edo termopareak nukleo harilkatuaren gainazaleko tenperatura neurtzeko. Jarri harilkatze-nukleoa presio-ekipoaren azpian, eta ziurtatu nikel-partikularen kokapen-puntua prentsatzetxantiloaren azpian kokatzen dela
 - Elektrolitoa lurruntzea saihesteko, amaitu lana 10 minutuko epean, tenperatura egokitzeko kameraren nukleo bobinatzailea kentzen denetik ekipoa dagoen kameraren atea isten den arte
 - Lamina/xafla isolatzailea kendu eta kameraren atea itxi
 - Barne zirkuitulaburra
 - Prentsaketa gailua 0,1 mm/s-ko abiaduran mugitzen da beherantz, zelularen tentsioa kontrolatuz
 - Barne-zirkuitulaburrak eragindako tentsio-erorketa detektatzen denean, jaitsiera berehala gelditu
 - Prentsaketa-txantiloia posizioan mantendu 30 minutuz
 - Presioa askatu
 - Tentsioa segundoko 100 aldiz baino gehiagotan kontrolatzen da
 - Tentsioa 50 mV baino gehiago erortzen bada hasierako tentsioarekin alderatuta, barne-zirkuitulabur bat gertatu dela erabaki da
 - Presioaren indarra zelula zilindriko batentzat 800 N-ra iristen bada 50 mV-ko tentsio-erorketaren aurretik, jaitsiera berehala gelditu
- Irizpidea: surik ez
 - Proba **IEC62619** araudiaren arabera egingo da

4.2.1.2 Abusu termikoa

Abusu termikoari dagokionez, bateriaren egonkortasun termikoa neurtzeko balio izango du. Hau da, bateriak oso tenperatura altuetan zein baxuetan nola jokatu edo erreakzionatzen duen.

4.2.1.2.1 Egonkortasun termikoa

Bateria gomendatutakoa baino tenperatura altuagoetan jartzea, tenperatura altuko egoerei aurre egiteko gaiasuna egiaztatzeko eta zelularen tentsioan eta tenperaturaren tenperaturaren igoera mailakatu ebaluatzeko.

Testa egiteko baldintzak:

Baterien segurtasun egoera (SOS) iragartzea

- Hasierako SOCa: %100 SOC (4.2 V)
- Hasierako giro tenperatura: 25 ± 5 °C
- Tenperatura jauziak: 5 ± 2 °C / minutuko
- Amaierako giro tenperatura: 85 ± 5 °C
- Amaierako tenperatura mantenduko da: 3 orduz

- Irizpidea: surik ez, eztandarik ez
- Proba **IEC62619** araudiaren arabera egingo da

4.2.1.3 Abusu mekanikoa

Abusu mekanikoak bateriak kalte fisikoren bat jasaten duenean gertatzen dira, normalean, begi hutsez ikusten dira.

4.2.1.3.1 Erorketa

Bateria talka egoera batean jartzea, kolpe eta erortze egoerei aurre egiteko gaitasuna egiaztatzeko.

Testa egiteko baldintzak:

- Hasierako SOCa: %100 SOC (4.2V)
- Giro tenperatura: 25 ± 5 °C
- Erorketaren altuera: 1m
- 3 aldiz jaurti
- Norabidea: ausazkoa

Proba egindakoa, bateria gutxienez ordubetez utzi beharko da geldirik. Eta, ondoren, ikuskapena egin.

- Irizpidea: surik ez, eztandarik ez
- Proba **IEC62619** araudiaren arabera egingo da

4.2.1.3.2 Inpaktua

Inpaktu batek zelularen tentsioan eta tenperaturan duen eragina ebaluatzea. Zelulak inpaktua jasaten duenean, honi aurre egiteko gaitasuna egiaztatzeko.

Testa egiteko baldintzak:

- Zelula 0,2 I_t A-ko korrante konstante batean deskargatuko da, edukiera nominalaren % 50eraino
- Zelula hormigoizko edo metalezko zoru lau baten gainean jarri
- 316 motako altzairu herdoilgaitzezko barra bat jarri zelularen erdian
 - Diametroa: $15,8 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$
 - Luzera: $\geq 60 \text{ mm}$ edo zelularen dimentsiorik luzeena (bietan handiena dena)
- 9,1 kg-ko masa zurruna laginaren gainean jarritako barraren gainera erortzen utzi
- Erorketaren altuera: $610 \text{ mm} \pm 25 \text{ mm}$

- Zelulak inpaktua jasatean, luzetarako ardatza:
 - Hormigoizko edo metalezko zoru lauarekiko paraleloa izango da
 - Entseguko laginaren erdian kokatutako 15,8 mm-ko diametroko azalera kurbaren luzetarako ardatzarekiko perpendikularra izango da

* Lagin bakoitzak inpaktu bakarra izango du, eta lagin desberdinak erabili behar dira inpaktu bakoitzerako.

* Lurzorua metalezkoa bada, kanpo-zirkuitulaburra saihestu beharko da, neurri egokien bidez.

- Irizpidea: surik ez, eztandarik ez
- Proba **IEC62619** araudiaren arabera egingo da

4.2.2 Ekipamendua eta baldintzak

Egindako entsegu ezberdin hauek era seguruan burutzeko, derrigorrezkoa da baldintza egokiak eta ekipamendu espezializatuak erabiltzea. Esan beharra dago, entsegu guztiak Ikerlaneko laborategian gauzatu direla, bertako materiala erabiliz.

4.2.2.1 Ekipamendua

Probak aurrera eraman ahal izateko hurrengo ekipamendua erabili behar izan da.

- CTS fabrikatzailearen ganbera klimatikoa, 600 l, 350 l eta 200 l-ko edukierakoa, -40 ° C-tik 180 ° C-ra bitarteko tenperaturarekin, neurriaren doitasuna/zehaztasuna: 0.35 ° C.

- "Digatron" zelula zikladorea, 0-6 V-ko tentsio-mailako kanal paralelizagarriekin eta 0-100 A-ko eta 0-50 A-ko korronteekin. Bere zehaztasuna eskala-hondoaren % 0,1ekoa da. Tenperaturak K motako termopareekin eskuratzeko sistema bat barne hartzen du.

- Hioki BT3562 bateria-testeatzailea, 0-60 V-ko tentsio-tartearekin eta irakurketaren % 0,5eko doitasunarekin.

4.2.2.2 Baldintzak

Baldintza batzuk bete dira testak egiteko orduan. Alde batetik, testa egiten den bitartean zein aldagai neurtu zehaztu da. Eta, beste alde batetik, testa hasi eta amaitu ondoren neurtutakoa.

Testa egin bitartean, segunduro, hurrengo neurtuko da:

- Zelularen terminaletako tentsioa
- Korrontea
- Zelularen gainazaleko tenperatura
- Giro tenperatura

Testa hasi aurretik eta amaitu ondoren, honako hauek neurtuko dira:

- 1kHz-tako barne erresistentzia
- Zelularen masa

- Zelularen dimentsioak
- Zelularen kanpoko itxura

4.3 Lorturiko emaitzak

Laborategiko baldintza eta ekipamendu mugatuengatik, ezin izan dira 4.2.1.atalean azaldutako abusuzko proba guztiak egin. 20. Taulan proiektuan egindako eta ez egindako probak bildu dira, bi taldetan bereizirik.

20. Taula Egin diren eta egin ez diren abusuzko testak

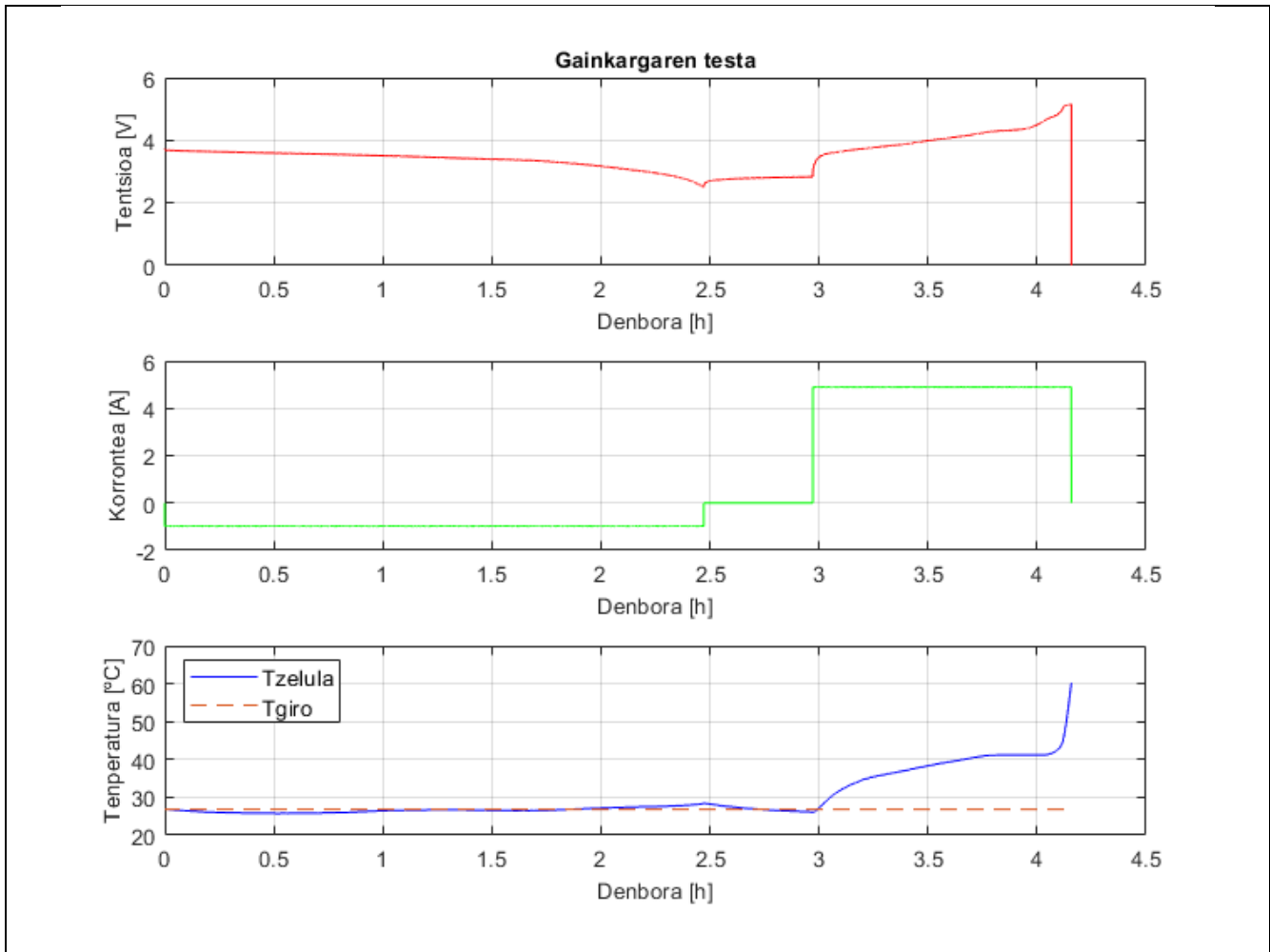
Egin direnak		Egin ez direnak	
Abusu elektrikoa	<ul style="list-style-type: none"> • Gainkarga • Gaindeskarga 	Abusu elektrikoa	<ul style="list-style-type: none"> • Kanpo-zirkuitulaburra • Barne-zirkuitulaburra
		Abusu termikoa	<ul style="list-style-type: none"> • Egonkortasun termikoa
Abusu mekanikoa	<ul style="list-style-type: none"> • Erorketa 	Abusu mekanikoa	<ul style="list-style-type: none"> • Inpaktua

Datozen ataletan, egindako abusuzko testetatik lortutako emaitzak erakusten dira:

4.3.1 Gainkargaren testa:

21. Taula Gainkargaren emaitzak

Gainkargaren testa	
Zelularen ID-a	SAM-737
Testeko erregistroaren fitxategia	SOS_SAM_737_DCH02_Gainkarga.csv
Zelularen hasierako egoera	
Tentsioa	3.725 V
Barne-erresistentzia (AC, 1kHz)	23.1 mΩ
Pisua	70 g
Luzera	72 mm
Diametroa (terminal + / zentroa / terminal -)	15.5 mm / 21 mm / 16 mm
Emaitzak	
Zelularen tentsioa, korrontea, tenperatura eta giro tenperatura testak iraun duen bitartean:	



Oharrak

Behin zelula guztiz deskargatuta, tentsioaren balioa 2.5V izanik (SOC=%0), 30 minutuko etenaldia egin da kargarekin hasi aurretik. Denbora horretan, bateriaren erlaxazio-efektua (“relaxation effect”) gertatzen da. Tentsioaren grafikan ikus daitekeenez, tentsioak igoera motel bat jasaten du, zehazki, 2.5V-tatik 2.83V-ra. LIBetan, litio ioien kontzentrazio gradiente ezberdinak daude bateria osoan deskarga edo karga gelditu ondoren. Hori dela eta, bateriari deskargako korrontea erretiratzean, tentsioak salto egiten du eta igotzen hasi ohi da.

Zelularen amaierako egoera

Tentsioa	0.2493 V
Barne-erresistentzia (AC, 1kHz)	327.8 Ω
Pisua	70 g
Luzera	72 mm
Diametroa (terminal + / zentroa / terminal -)	15.5 mm / 21 mm / 16 mm

Amaierako ikuskapen bisuala

Ezkerrean terminal positiboa, eta eskubian, terminal negatiboa.



4.3.2 Gaindeskargaren testa:

22. Taula Gaindeskargaren emaitzak

Gaindeskargaren testa

Zelularen ID-a	SAM-735
Testeko erregistroaren fitxategia	SOS_SAM_735_DCH02_GainDeskarga.csv
Zelularen hasierako egoera	
Tentsioa	3.738 V
Barne-erresistentzia (AC, 1kHz)	23.09 mΩ
Pisua	69 g
Luzera	70 mm
Diametroa (terminal + / zentroa / terminal -)	15.5 mm / 21 mm / 16 mm
Emaitzak	
Zelularen tentsioa, korrontea, temperatura eta giro temperatura testak iraun duen bitartean:	
<p>Gaindeskargaren testa</p> <p>The figure consists of three vertically stacked line graphs sharing a common x-axis representing time in hours (Denbora [h]) from 0 to 3.5. The top graph plots voltage (Tentsioa [V]) on the y-axis from -1 to 4. A red line starts at approximately 3.7V, remains relatively stable until 2.5 hours, then drops to about 2.8V. At 3.0 hours, it drops sharply to approximately -0.5V. The middle graph plots current (Korrontea [A]) on the y-axis from -5 to 0. A green line is constant at -1A until 2.5 hours, then jumps to 0A until 3.0 hours, and finally drops to -5A. The bottom graph plots temperature (Temperatura [°C]) on the y-axis from 20 to 100. It shows two series: 'Tzelula' (cell temperature, solid blue line) and 'Tgiro' (ambient temperature, dashed orange line). Both are around 25°C until 3.0 hours, after which the cell temperature rises sharply to approximately 90°C, while the ambient temperature remains constant at 25°C.</p>	
Oharrak	
4.3.1-eko ginkargaren kasuan bezala, lehenik eta behin tentsio minimora deskargatu da zelula (2.5V), eta ondoren 30 minutuko etenaldia egin da. Kasu honetan ere, tentsioak gorakada bat jasan du, 2.83V-ra.	

Zelularen amaierako egoera	
Tentsioa	0.01 V
Barne-erresistentzia (AC, 1kHz)	-
Pisua	69 g
Luzera	70 mm
Diametroa (terminal + / zentroa / terminal -)	15.5 mm / 21 mm / 16 mm
Amaierako ikuskapen bisuala	
Ezkerrean terminal positiboa, eta eskubian, terminal negatiboa.	
	

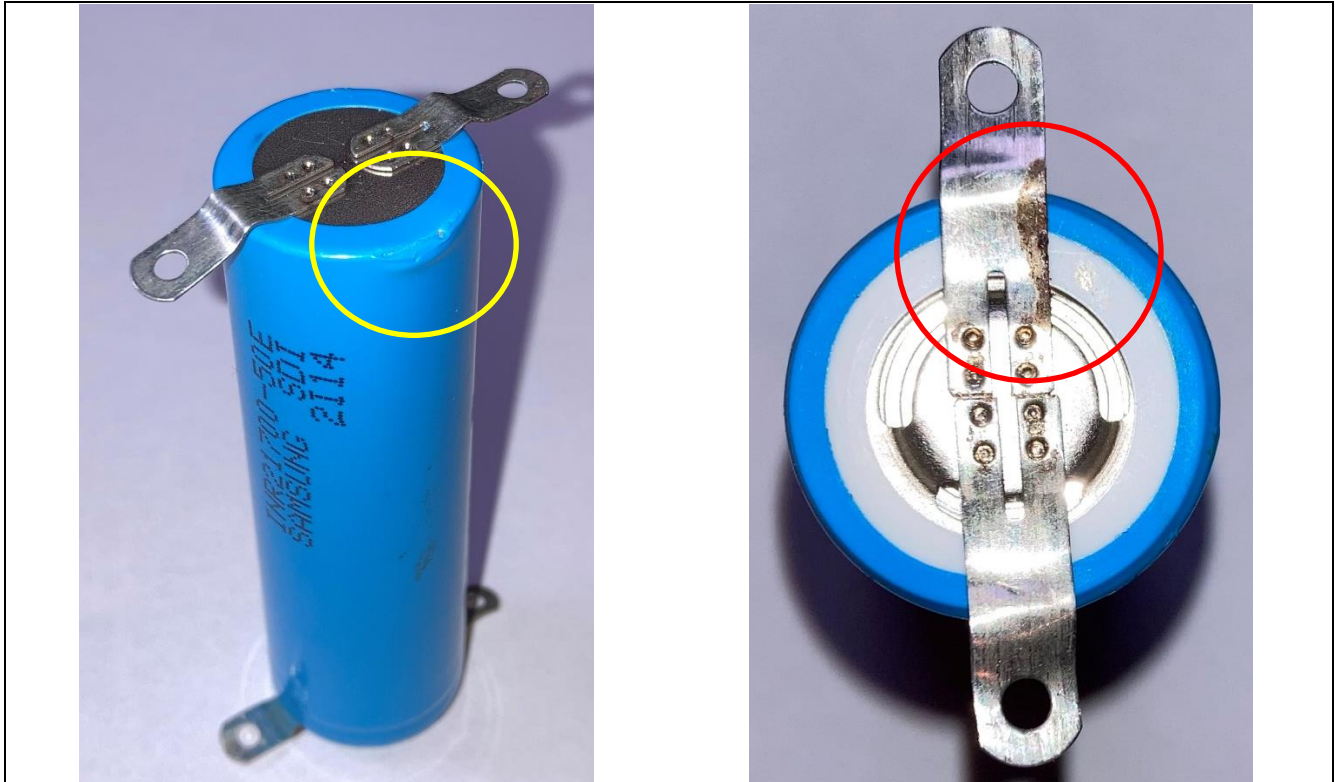


4.3.3 Erorketaren testa

Erorketaren testaren kasuan, ez da kamara klimatiko batean egin, eta ez dira tentsioa, korrontea, etab. neurtu testa egin bitartean. Hori dela eta, emaitzak bisualak dira. Kanpotik zelularen ikuskapen bisuala eginez aterako dira ondorioak.

23. Taula Erorketaren emaitzak

Erorketaren testa	
Zelularen ID-a	SAM1107
Testeko erregistroaren fitxategia	-
Zelularen hasierako egoera	
Tentsioa	3.764 V
Barne-erresistentzia (AC, 1kHz)	23.22 mΩ
Pisua	70 g
Luzera	70 mm
Diametroa (terminal + / zentroa / terminal -)	17 mm / 20.5 mm / 15 mm
Emaitzak (Amaierako ikuskapen bisuala)	



Oharrak

Ezkerreko argazkian horiz biribilduta ikus daiteke zelulak mailatu bat duela, lurraren aurka talka egitean jasotako kolpearen ondorio. Bestalde, zelularen eskubiko argazkian, terminal positiboan elektrolito-ihesa izan daitekeena ikus daiteke.

Zelularen amaierako egoera

Tentsioa	3.764 V
Barne-erresistentzia (AC, 1kHz)	23.142 mΩ
Pisua	69 g
Luzera	70 mm
Diametroa (terminal + / zentroa / terminal -)	17 mm / 21 mm / 15 mm

Ikuskapen bisuala

Ezkerrean terminal positiboa, eta eskubian, terminal negatiboa.



4.3.4 Gainkarga test gehigarria

Bestalde, beste zelula bati ere gainkargaren abusuzko testa egin zaio, baina kasu honetan, SOCa=%0 izan gabe. Hau da, IEC62619 araudiaren planteamendua jarraitu gabe. Honekin, gainkarga jasan baino lehenago zelula guztiz deskargatua egoteak edo ez aldeak dituen ikusi ahal izan da.

24. Taula Gainkargaren* emaitzak

Gainkargaren* testa	
Zelularen ID-a	SAM1111

Testeko erregistroaren fitxategia	SOS_SAM_1111_DCH02_Gainkarga0.5.csv
Zelularen hasierako egoera	
Tentsioa	3.7659 V
Barne-erresistentzia (AC, 1kHz)	23.331 mΩ
Pisua	70 g
Luzera	71 mm
Diametroa (terminal + / zentroa / terminal -)	17 mm / 21 mm / 16 mm
Emaitzak	
Zelularen tentsioa, korrontea, temperatura eta giro temperatura testak iraun duen bitartean:	
<p>Gainkargaren* testa</p> <p>The figure consists of three vertically stacked line graphs sharing a common x-axis representing time in hours (Denbora [h]) from 0 to 0.7.</p> <ul style="list-style-type: none"> Top Graph: Tentsioa [V] vs Denbora [h]. The voltage starts at approximately 3.8V, jumps to 4V at 0.05h, and then gradually increases to about 5.5V at 0.65h before dropping sharply to 0V. Middle Graph: Korrontea [A] vs Denbora [h]. The current is 0A until 0.05h, then jumps to a constant 5A until 0.65h, and then drops to 0A. Bottom Graph: Temperatura [°C] vs Denbora [h]. It shows two series: 'Tzelula' (solid blue line) and 'Tgiro' (dashed orange line). The ambient temperature (Tgiro) remains constant at approximately 27°C. The cell temperature (Tzelula) starts at 25°C, rises to about 35°C at 0.4h, and then continues to rise to approximately 45°C at 0.65h. 	
Oharrak	
4.3.1 eta 4.3.2 ataletan abusuzko testekin hasi aurretik, zelularen tentsioa minimora deskargatu da (2.5V), baina kasu honetan, gainkargaren testa egin zaion zelularen hasierako tentsioa 3.7659V izan da.	
Zelularen amaierako egoera	
Tentsioa	0.277 V

Barne-erresistentzia (AC, 1kHz)	453 Ω
Pisua	70 g
Luzera	71 mm
Diametroa (terminal + / zentroa / terminal -)	17 mm / 21 mm / 16 mm

Ikuskapen bisuala

Ezkerrean terminal positiboa, eta eskubian, terminal negatiboa.



4.4 Abusu testen emaitzen eztabaida

Lehenik eta behin, esan behar da Samsung-eko INR21700-50E bateriari egindako test hauek bateria hau segurua dela frogatu dutela. Izan ere, abusuzko test desberdinak jasan arren, ez da ez surik ez leherketarik

gertatu. Aurreko ataletan aipatu bezala, bateria batek jasan ezin dituen arriskuak dira bi horiek, eta testen planteamendua egin denean horiek ez gertatzea zen irizpidea. Beraz, egindako proba desberdinetan frogatu da LIB honek babesgailuak (4.1.1-n aipatutakoak) dituela bateriaren funtzionamendu txarraren ondorioak prebenitzeko eta/edo mugatzeko.

Abusu-proben ondoren, bateriaren azterketa zehatza egin behar da, egiturazko edozein kalte, barne-osagai edo parametroen aldaketak, elektrolito-ihesak edo narriaduraren edo akatsaren ageriko beste zeinu batzuk ebaluatzeko.

SAM737 (4.3.1) bateriak jasan duen gainkargaren kasuan, emaitzen grafikotan ikus daiteke zelula kargatzen hasten den unetik tenperaturak goraka egiten duela. Zelula 4.898A kargatu da kargak iraun duen denbora guztian. Zelula 4.9V-tara iritsi denean tenperaturaren malda asko handitu da, 5 minututan parametro honen gorakada 20 gradukoa izanez. Gogoratu behar da, 4.2.1.1.1. atalean, gainkargaren planteamenduan, karga denbora zehaztu dela: zelularen gainazaleko tenperaturak baldintza egonkorrak lortu arte (10°C-tik beherako aldaketa 30 minutuko epean) edo giro tenperaturara itzuli arte. Baina hau gertatu baino lehenago, bateriaren barneko babesgailu batek salto egin du, zehazki, tentsioa 5.149V-tan zegoenean eta tenperaturak gorakada handia izan duenean (60,2°C-tara iritsiz). Ondorioz, zelulak ez du kanpoko aldaketarik izan.

SAM735 (4.3.2) zelulak gehiegizko deskarga jasan du -4.899A-ra deskargatuz. Gainedeskarga hasi den unean, bateriaren tentsioa 2.83V-tan zegoen. Gainedeskargak iraun duen bitartean zelularen tenperaturak gora egin du maldatsu etengabe. 4.2.1.1.2ko baldintzetan deskarga denbora 1.5 ordura mugatu da, baina entseguan 12,5 minutu besterik ez ditu iraun. Denbora tarte honetan tentsioak 3.524Vko beherakada izan du, -0.687V-ko tentsio minimora iritsiz. Tenperaturari dagokionez, denbora tarte berdinean, 63.4°C-ko gorakada arriskutsua izan du, 89.7°C-ko tenperaturaren balio maximora iritsiz. Balio altu horietara iritsita LIBaren barneko babesgailuak salto egin du, eta, honek, ez du kanpoko aldaketarik jasan.

SAM1107 (4.3.3) bateriari egin zaion erorketaren testean, gutxienez ordubetez bateria geldirik utzi ondoren, ikuskapena egin eta zelularen tentsioa mantendu egin dela eta barne erresistentzia ere, nahiz eta pixka bat jaitsi, mantendu egin dela esan daiteke. Bestalde, abusuaren ondoren gramo bat gutxiago pisatu du (69g).

SAM1111 (4.3.4) zelulari ere gainkargaren testa egin zaio, baina kasu honetan testen planteamenduan zehaztutako baldintza guztiak jarraitu gabe. Hau da, entseguaren hasieran tentsioa minimoa izan gabe. 3.7659V-ko tentsiotik abiatuta, 4.898A-ko korrontearekin kargatuz, 5.101V-ko tentsio maximora iritsi da. Puntu horretara iritsi bitartean, tenperaturak 19.5°C igo ditu, neurtu den gehienezko tenperatura 45.7°C izanik. Balio horietan zelularen barneko babesgailuak salto egin eta testa amaitu da, LIBak kanpoko aldaketarik jasan gabe.

Gainkarga jasan duten bi zelulen emaitzak alderatuz, ondorio hauek atera dira: bi kasuetan, tentsioa 5.1V inguruan egonda egin du salto babesgailuak, eta, tenperaturari begira, amaierako minutuetan malda aldapatsuagoa izan da testeko aurreko denbora guztian baino. Tenperaturaren aldaketa, ordea, ezberdina izan da. **SAM737** LIBaren entseguaren iraupenean, bateria lehenik guztiz deskargatuz, tenperaturaren

aldaketa 33.4°C-koa izan da eta 60.2°C-tara iritsi da. **SAM1111**en kasuan, berriz, temperatura aldaketa 19.5°C-koa izan da, lorturiko temperatura maximoa 45.7°C izanez. Honekin argi geratzen da zelula bat geroz eta gehiago kargatu, temperatura geroz eta gehiago igoko dela.

Test bakoitzean lortutako emaitzak 2.7.1 atalean azaldutako EUCARen arrisku mailen (27. Irudia) arabera sailkatu dira 25. Taulan. Alde batetik, hiru bateria desberdinei egindako abusu elektrikoetako testetan (bi gainkarga eta gaindeskarga bat), hiru zelulak EUCARen 2. arrisku mailan (akatsa/kalte) egongo lirarteke. Hau, zelulak modu itzulezin batean kaltetu direlako da. Eta gainera, ez delako ez ihesaldirik, ez gas isurketarik, ez surik edo hausturarik eta ez leherketarik gertatu. Beste alde batetik, egin den abusu mekanikoaren (erorketa) testaren zelulari ikuskapen bisuala egitean, terminal negatiboan kolpe bat ikusten da, eta, terminal positiboan, aldiz, elektrolito ihesa egon dela uste da. Hau dela eta, EUCARen 3. en arrisku mailan (ihesaldia, $\Delta_{\text{masa}} < \%50$) sailkatuko litzateke: ez du gasik askatu, eta ez da ez surik, ez hausturarik eta ez leherketarik gertatu, baina elektrolitoaren pisua galdu da.

25. Taula Testetako zelulen arrisku-mailak (EUCARen arabera)

Zelularen ID-a	EUCAR		
	Arrisku-maila	Deskribapena	Efektuak
SAM737	2	Akatsa/kalte	Ihesik gabe; haizatzerik edo surik gabe; hausturarik gabe; leherketarik gabe; erreakzio exotermikorik edo ihes termikorik gabe. Zelula kaltetua, atzera bueltarik gabe. Beharrezko konponketa.
SAM735	2	Akatsa/kalte	Ihesik gabe; haizatzerik edo surik gabe; hausturarik gabe; leherketarik gabe; erreakzio exotermikorik edo ihes termikorik gabe. Zelula kaltetua, atzera bueltarik gabe. Beharrezko konponketa.
SAM1107	3	Ihesaldia, $\Delta_{\text{masa}} < \%50$	Haizatzerik edo surik gabe; hausturarik gabe; leherketarik gabe. Elektrolitoaren pisuaren $< \% 50$ galtzea.
SAM1111	2	Akatsa/kalte	Ihesik gabe; haizatzerik edo surik gabe; hausturarik gabe; leherketarik gabe; erreakzio exotermikorik edo ihes termikorik gabe. Zelula kaltetua, atzera bueltarik gabe. Beharrezko konponketa.

Bateriak abusu baldintzetara bultzatzean, erabilera okerraren ondorioz antzeko baldintzetan bateriak nola jokatuko duen jakiteko ahalmena lortzen da. Hau da, gertatuko dena aurreikusi eta, honela, arriskuren bat gertatu aurretik erreakzionatzeko gaitasuna izan. Hori frogatzeko, abusuzko test hauetan lorturiko emaitzetako datuak 3. atalean azaldutako algoritmorako erabili dira. Honela, algoritmo honen funtzionamendua egiaztatu ahal izango da, eta ikusi ea gai den egoera ez seguruak identifikatu eta iragartzeko.

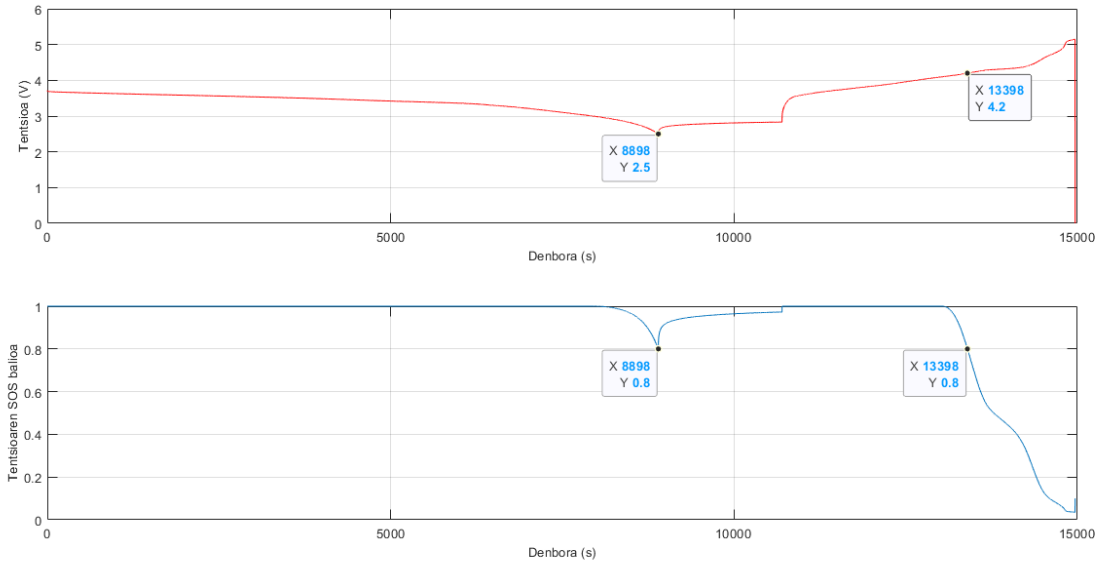
5. SOSa balioztatzea

Garatutako segurtasunaren algoritmoaren zehaztasuna eta fidagarritasuna balioztatzea funtsezkoa da hau aplikatzen hasi aurretik, hainbat arrazoiengatik. Lehenik eta behin, segurtasunaren estimazio zehatz batek baterietako arriskuak detektatu ahal izango direla bermatzen du egoera arriskutsua bihurtu aurretik. Alerta edo ohartarazpen maila bat ematean, algoritmoak garaiz esku hartzeko eta prebentzio-neurri egokiak hartzeko aukera ematen du, baterien istripuak edo akatsak gertatzeko probabilitatea murriztuz. Bigarrenik, balidazioak, algoritmoa optimizatzea eta hobetzea ahalbidetzen du. Laborategiko proben bidez, algoritmoan egon daitezkeen akatsak edo mugak antzeman daitezke, eta, horri esker, ikertzaileek eta garatzaileek beren ereduak hobetu eta segurtasun-iragarpenen zehaztasuna hobetu dezakete. Gainera, berebiziko garrantzia du baterien segurtasuna zenbatesteko algoritmoen fidagarritasunean konfiantza ezartzeko orduan. Bateriak aplikazio kritikoetan erabiltzen direnez, hala nola ibilgailu elektrikoetan eta energia biltegitratzeko sistemetan, alderdi interesdunek sinesgarritasuna eta fidagarritasuna eskaintzen dituzten algoritmoak bermatuko dituzte.

Aurreko atalean aipatu bezala, SOSaren balidazioa egiteko, laborategian egindako abusuzko testetatik lortutako datuak erabili dira, erorketaren testekoak izan ezik, ez baitira bateriaren aldagaiak monitorizatu abusuzko test hau burutu bitartean. Bestalde, bai gainkarga eta bai gaindeskarga baterietan ekidin nahi diren arriskuak dira. Test hauetatik bateriaren portaera eta erantzuna hainbat baldintzatan jasotzen dituzten datuak sortzen dira. Hori dela eta, datu horiek oinarri bihurtzen dira bateria baten segurtasun-egoera zehaztasunez iragartzeko orduan segurtasuna eta haren eraginkortasuna zenbatesteko algoritmoa balidatzeko. 5.1 atalean lehen gainkarga testa erabiltzen da SOSa balidatzeko, 5.2 atalean gaindeskarga testa eta 5.3 atalean gainkarga test gehigarria.

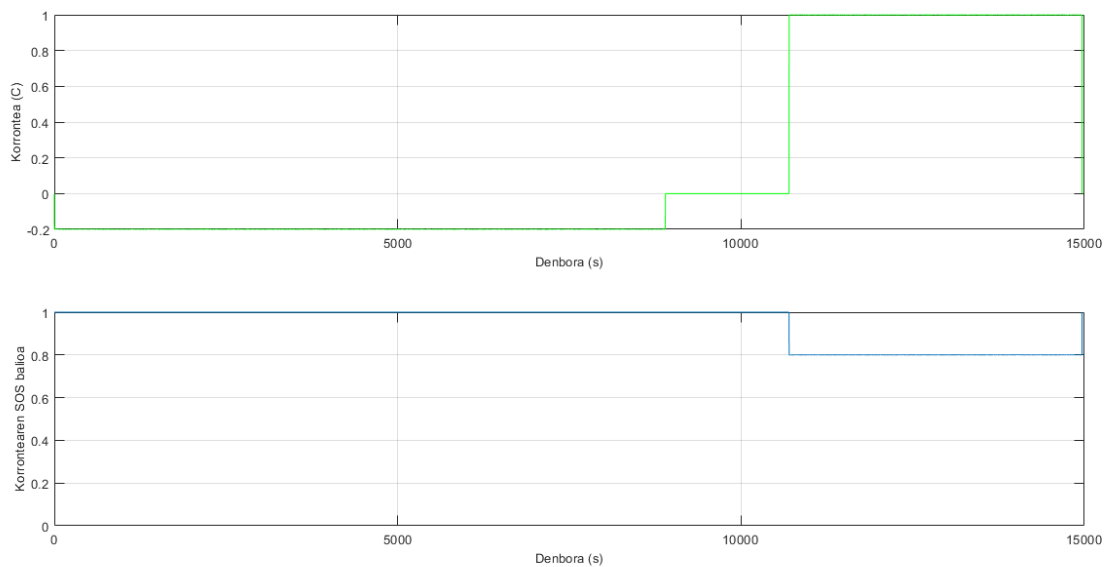
5.1 Gainkargaren SOSaren balidazioa

Gainkargako tentsioari dagokionez, 15. Taulan ezarritako limiteak betetzen direla ikusi daiteke 42. Irudian. Lehenik, tentsioaren SOS balioa 1ekoa da (guztiz segurua). Zelula guztiz deskargatzen hastean, tentsioa 3V-tatik jaistearekin batera hasten da SOS balioa jaisten, eta tentsioa minimora iristean (2.5V), SOS balioa 0.8n ezartzen da (justu alarma agertu baino lehenago). Karga denboran, aldiz, tentsio minimotik igotzen hastean, SOS balioa berriro ere 1era igotzen da, hain zuzen ere, zehaztutako 4.1V-taraino. 4.2V-tan, gainkarga hastean, segurtasun balioa 0.8ra jaisten da, eta tentsioak igotzen jarraitu ahala, balio hau jaitsi egiten da, tentsioa segurtasun mugetatik kanpo dagoela adieraziz. Gainkargak aurrera jarraitu ahala, SOSa ia 0raino erortzen da.



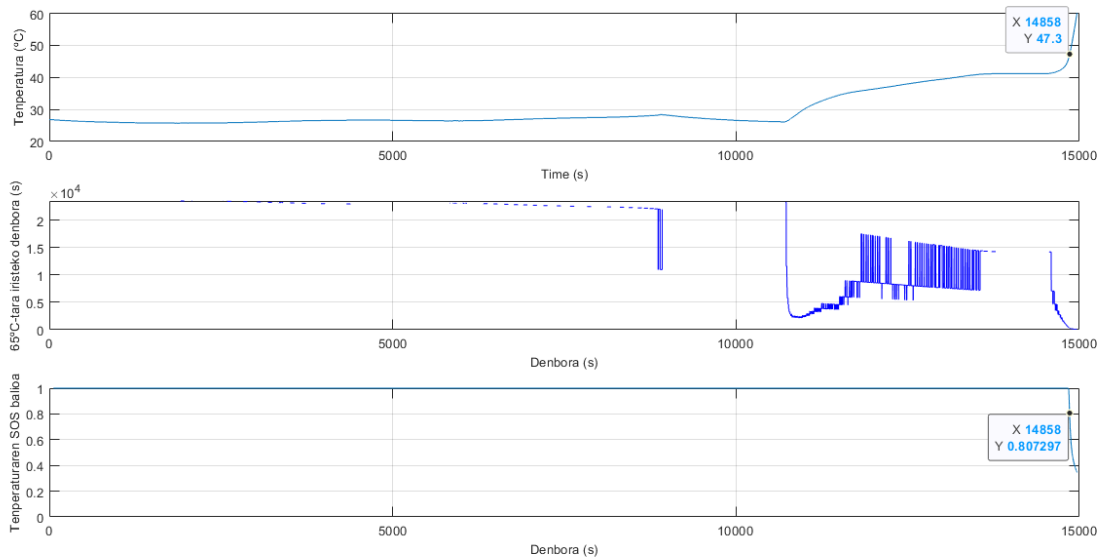
42. Irudia Gainkargako tentsioa eta bere SOSa

Korronteari dagokionez (43. Irudia), zelula 0.2C-ra deskargatzen denez, korrontearen SOS balioa 1ean mantentzen da, baita 30 minutuko pausak irauten duen bitartean ere (korrontea 0 izanik). Zelula kargatzean, aldiz, 1C korrontearekin egiten denez, korrontearen SOS balioa 0.8ra jaitsi eta bertan mantentzen da (hau da, ez da alarmerik aktibatzen).



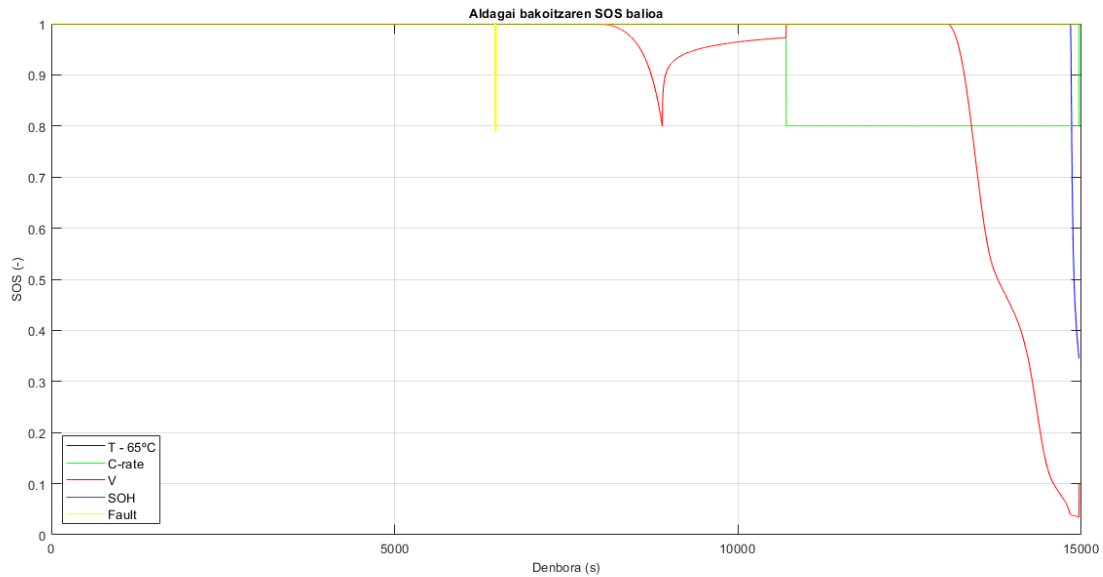
43. Irudia Gainkargako korrontea eta bere SOSa

44. Irudian gainkargako tenperatura ikus daiteke lehenik, ondoren tenperaturari 65°C -tara iristeko falta zaion denbora estimatua, eta, azkenik, tenperaturarekin erlazionatutako SOS balioa. Kargako korronea hasten den unetik egiten du zelularen tenperaturak gora, eta gorakada horren maldaren arabera 65°C -tara iristeko falta den denborarekin SOS balioa ateratzen da. Beraz, ia amaierararte, mugatutako tenperaturara iristeko denbora oraindik luzea denez, tenperaturaren segurtasun balioa 1ean mantentzen da 47.3°C -tan 0.8ra jaitsi arte. Hortik behera jaisten jarraitzen du testa amaitu arte, zehazki, 110 segundotan. Bateria guztiz ez segurua bilakatu baina gutxi gorabehera 2 minutu lehenago ohartarazten du tenperaturaren SOS balio honek, baina testean tenperatura ez denez 65°C -tara iritsi, ezin da erabat ziur jakin denbora hau nahikoa izango litzatekeen.



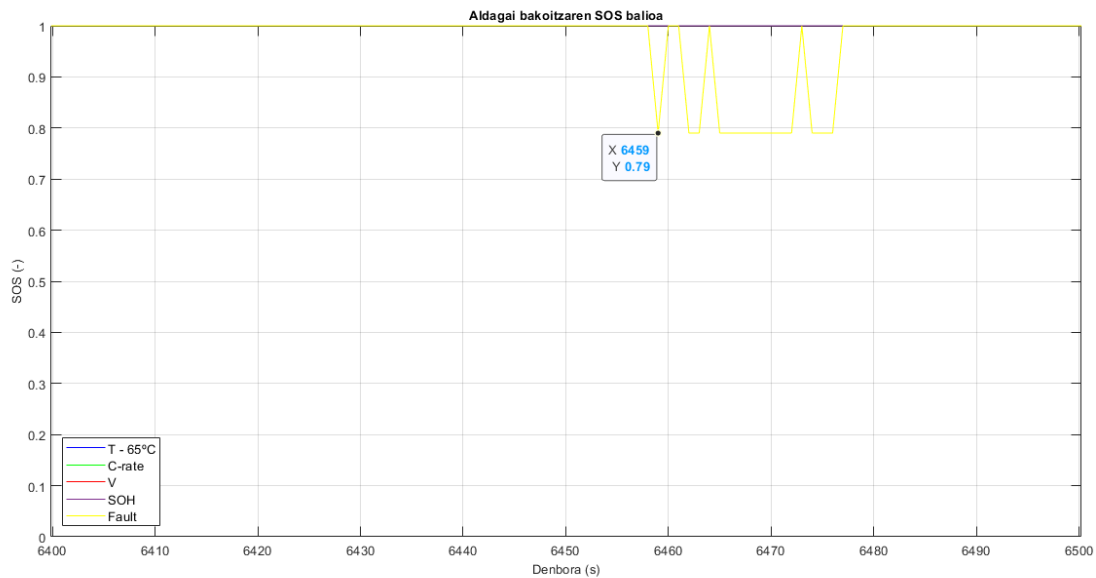
44. Irudia Gainkargako tenperatura eta bere SOSa

Hiru SOS balio individual hauek, eta, gainera, SOHaren eta sos_fault-en (3.2 atalean aipatutako akatsak detektatzeko aldagaia) SOS balioak biltzen dira 45. Irudian. Aipatzekoa da SOHaren balioa %100ean ezarri dela, eta, ondorioz, entsegu osoan bere SOS balioa 1ean mantentzen dela. Bateria, etorkizunean, degradatzen joango denez, bere segurtasun maila jaisten joango da, eta hau SOSean islatuko da. Proiektuaren luzera dela eta, ezinezkoa izan da bateria degradatzea eta honen efektua kuantifikatzea.

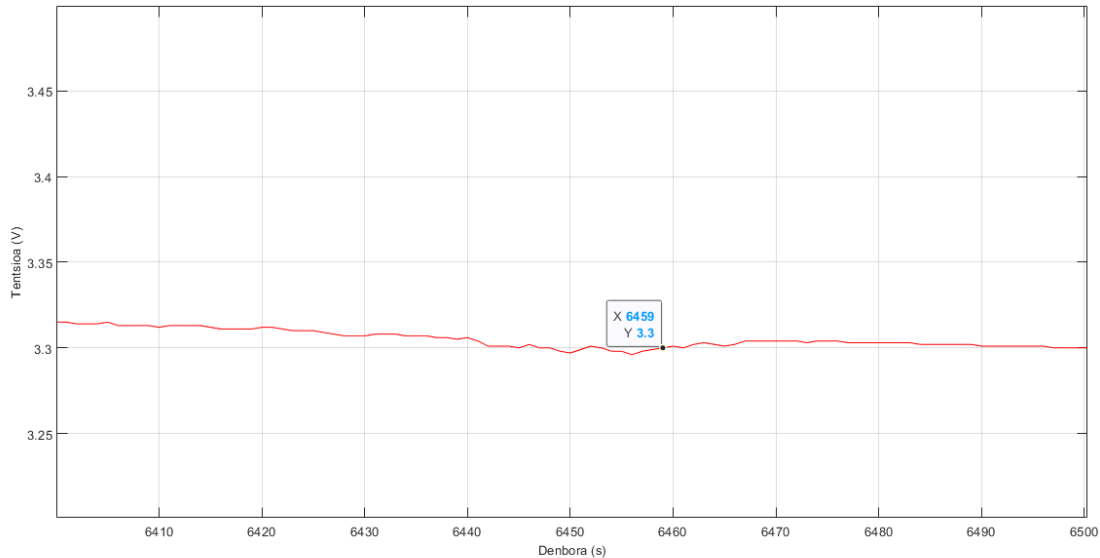


45. Irudia Gainkargako aldagai bakoitzaren SOSa

45. Irudian ikus daitekeenez SOS fault-ek akatsen bat detektatzen du zelula tentsio minimoraino deskargatzen ari den bitartean. Zelula korrante negatiboarekin deskargatzen ari denez, eta tentsioa jaisten ari dela suposatzen denez, ez litzateke akats hori agertu beharko. Hala ere, tentsioaren balioak gertutik analizatuta, 47. Irudia eta 46. Irudiaetan ikus daiteke tentsioak balio oso txikiko gorakada batzuk izan dituela, eta hori dela eta SOS fault-ek akatsa detektatu duela.



46. Irudia Gainkargako SOS fault gertutik

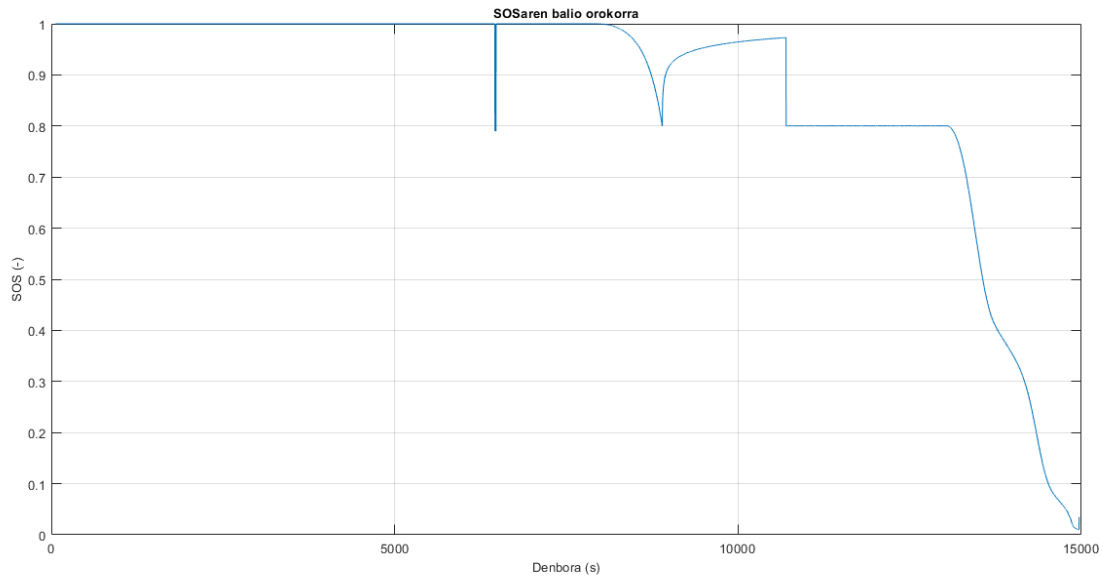


47. Irudia Gainkargako tentsioa gertutik

Tentsioaren gorakada txiki horiek sensoreren akatsen batengatik izan daitezke. Gainera, SOS fault-ek azkar hartzen duenez berriro ere 1eko balioa, ez zaie garrantzi handirik emango igoera horiei.

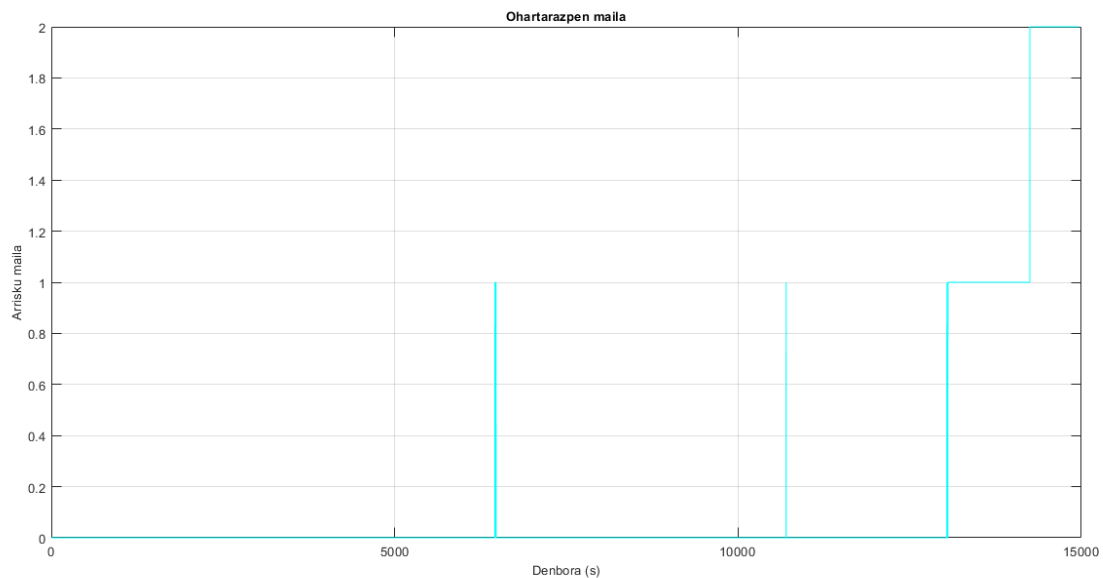
Esan beharra dago aldagai indibidualen SOS balioek berebiziko garrantzia dutela. Izan ere, sensoreren batek huts egingo balu, gainontzeko balioekin jarraituko litzateke segurtasun egoera edo maila neurtzen. Esate baterako, tentsioa neurtzen duen sensoreak akatsen bat edukiko balu eta huts egin, tenperaturaren balioak aztertuz gai izango ginateke zerbait gaizki dabilela ikusi ahal izateko.

45. Irudiako balio guztien biderkaduraren emaitza 48. Irudiako SOS balio orokorra da. Grafiko honetatik ondoriozta daitekeena da, orokorrean, zelula honen SOS balioa segurua dela tentsioa 4.2V-tatik pasa arte. Behin hori pasata, SOSa beheraka doa etengabe ia 0ra iritsi arte, bateria segurua ez dela adieraziz.



48. Irudia Gainkargako SOS orokorra

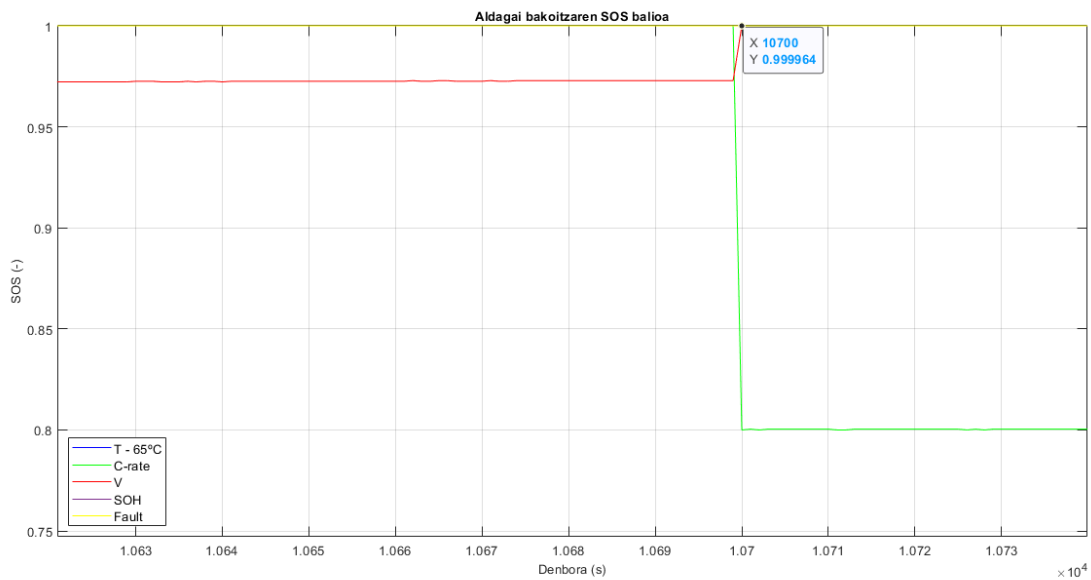
Segurtasun egoeraren balioa hobeto ulertzeko, arrisku mailak bereizi direla esan da 3.2 atalean, eta bere balioaren arabera ohartarazpen edo alerta maila bat ematen dela. 49. Irudian ikus daiteke SOSaren arabera emandako alerta maila.



49. Irudia Gainkargako ohartarazpen maila

Esan bezala, orokorrean, zelularen tentsioa 4.2V-tik gora egon arte SOS balioa segurua izan da, ohartarazpen maila 0 izanik, SOSa 0.79-ra jaitsi den bi momentu puntualetan izan ezik. Lehenengo aldian, Baterien segurtasun egoera (SOS) iragartzea

aurretik azaldutako tentsio gorakada txikiengatik igo da ohartarazpen maila 1era. Bigarrenean, aldiz, 50. Irudian ikus daiteke zergatia. Korrotearen SOS balioa 0.8 denez, eta besteek guztiek balioa 1 dutenez tentsioak izan ezik (0.999), biderkaduraren emaitza 0.79 izango litzateke, eta horregatik ohartarazpen mailaren igoera 1era. Honekin ikus daiteke aldagaietakoren bat 0.8tik gertu badago, eta beste aldagaien bat gune ez segurura hurbiltzen hasten bada, algoritmoak erne egoteko abisua emango duela. Behin tentsioak 4.2V-ak pasata, ohartarazpen maila gero 1era pasa da. Tentsioak eta tenperaturak gora egin ahala, SOS balioa behera joan da, eta ohartarazpen maila 2ra igo.

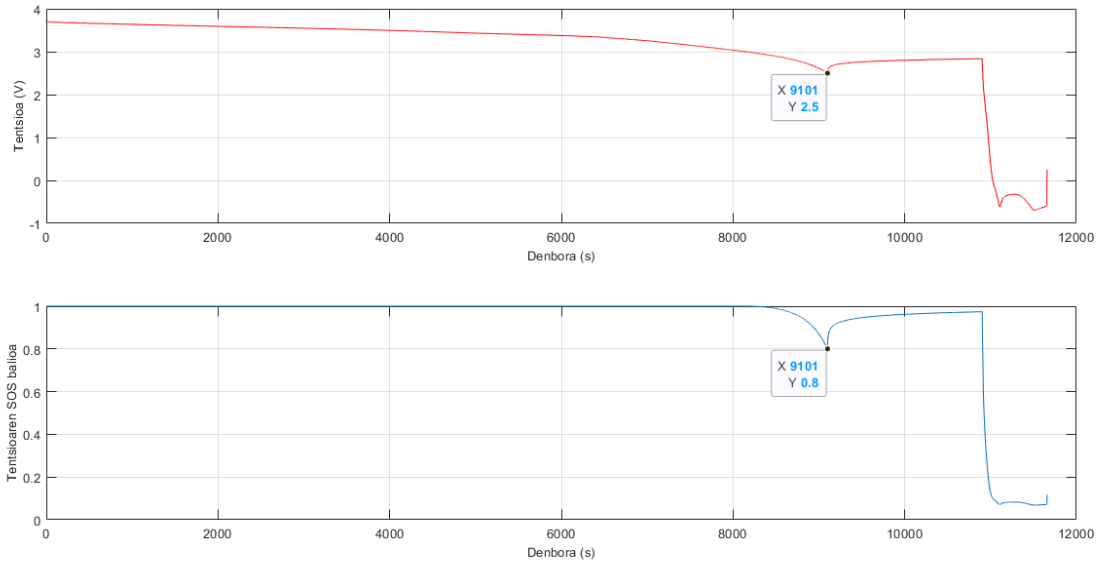


50. Irudia Ohartarazpen maila une puntual batean 1era igotzeko zergatia

Laburbilduz, orokorrean gainkargako testaren emaitzekin, SOSaren algoritmoak garaiz ohartaraziko luke bateria egoera ez segurua batean sartu dela. SOS=0.8 eta tentsioaren erorketaren (zelula “hausten” denean) arteko denbora tarte nahikoa da zelularen akatsari aurrea hartu ahal izateko arriskutsua bilakatu aurretik, gutxi gorabehera 26 minutukoa da tarte. Lehen aipa bezala, sentsore batek huts eginda ere, SOSak zelula gune ez seguruan dagoela ohartaraziko luke, gainontzeko aldagaietan oinarrituz.

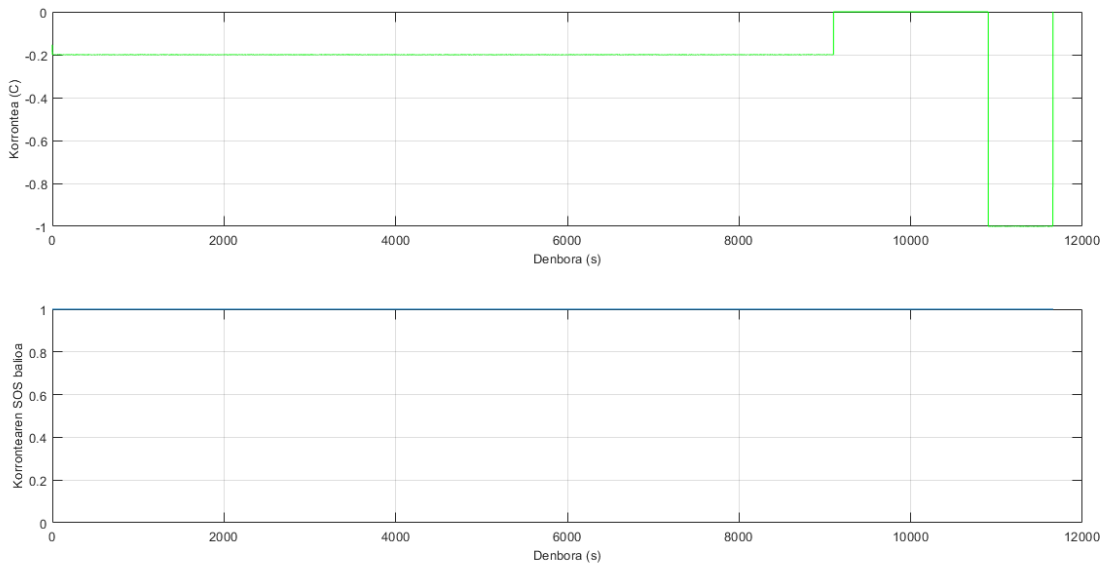
5.2 Gaindeskargaren SOSaren balidazioa

Gaindeskargaren kasuan, tentsioarekin hasiz, gainkargaren testean bezala hasieran tentsioaren SOS balioa 1ekoa da (guztiz segurua). Zelula deskargatzean, tentsioa 3V-tatik jaistearekin batera hasten da SOS balioa jaisten, eta tentsioa minimora iristean (2.5V), SOS balioa 0.8n ezartzen da. Erlaxazio-efektua gertatzean, tentsioak igoera motel bat jasaten du eta segurtasun balioa berriro ere 1era hurbiltzen da. Gaindeskargarekin hastean, ordea, tentsioaren balioa azkar txikitzen da, eta honekin batera tentsioaren SOSa ere bai, 0.071 balio minimo arriskutsuraino iritsiz (51. Irudia)



51. Irudia Gaindeskargako tentsioa eta bere SOSa

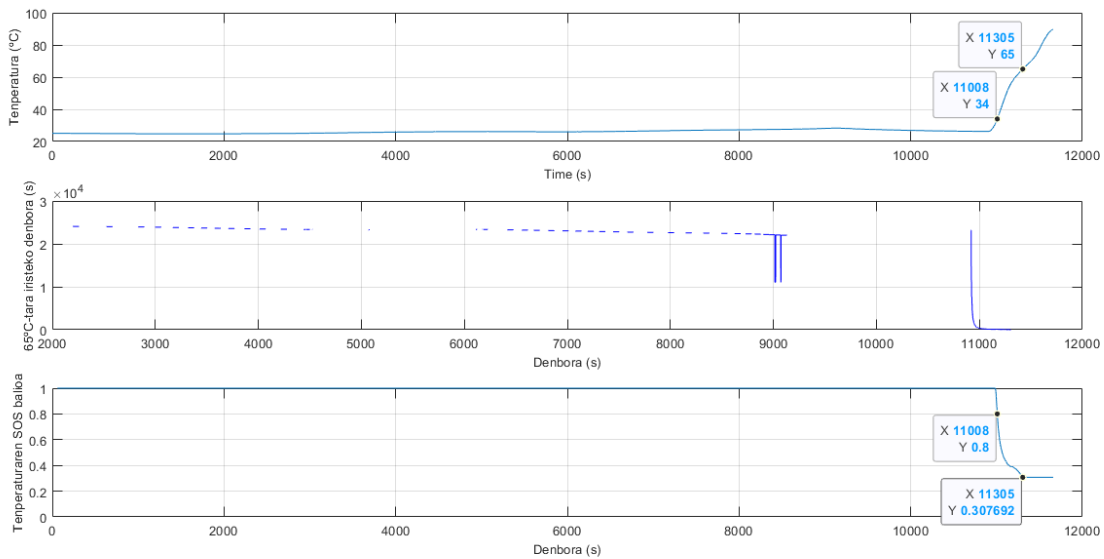
Korronteari dagokionez, hasieran zelula guztiz deskargatzean, 0.2C-ko korrontearekin, 30 minutuko pausak irauten duen bitartean (korrontea 0 izanik) eta baita zelularen gaindeskargan ere, 1C korrontearekin egiten delako, korrontearen SOS balioa 1ean mantentzen da. (52. Irudia)



52. Irudia Gaindeskargako korrontea eta bere SOSa

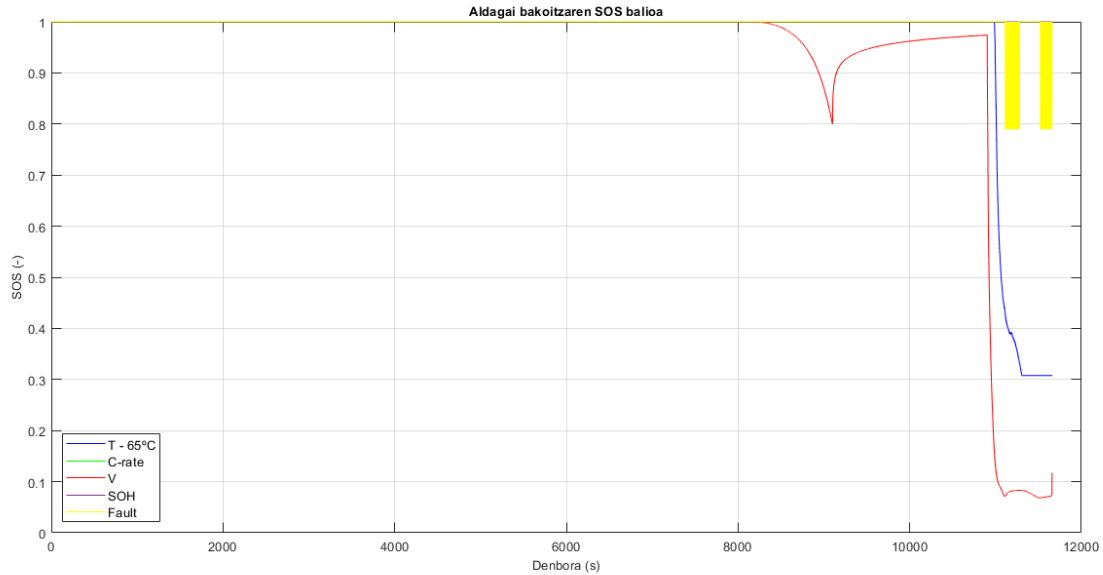
Aurreko atalean bezala, 53. Irudian gaindeskargako tenperaturaren grafiko dago lehenik, ondoren tenperaturari 65°C-tara iristeko falta zaion denborarena, eta, azkenik, tenperaturarekin erlazionaturako Baterien segurtasun egoera (SOS) iragartzea

SOS balioarena. Testaren hasieran bateria guztiz deskargatzean, eta ondorego geldialdian, bateriaren temperatura giro temperaturan mantentzen da. Gaindeskargan, ordea, temperaturaren malda oso handia da hasiera batetik, graduak oso azkar igoz. Hori dela eta, temperaturarekin erlazioatutako SOS balioa azkar jaisten da, arrisku honen abisua emanez. 3. atalean ezarri bezala, temperaturari 65°C-tara iristeko 5 minutu falta zaizkionean izan behar da SOS balioa 0.8. 53. Irudian ikusten denez, hori betetzen da, izan ere, 34°C-tan falta zaizkio temperaturari daraman maldarekin 65°C-tara iristeko 5 minutu. Entsegu honetan lortutako tenpearatura maximoa 89.7°C-koa denez, 65°C-ak pasa dituela argi dago, eta behin hori pasata, SOSaren balioa mantendu egiten dela ikus daiteke (algoritmoaren diseinuak ezarritako moduan). Temperaturaren SOSak lehen abisua ematen duenetik (0.8n dagoenean) testaren amaierararte ia 11 minutuko denbora tartea dago, eta, aldiz, behin 65°C-tara iritsita, ia 6 minutuko tartea bateria hautsi aurretik.



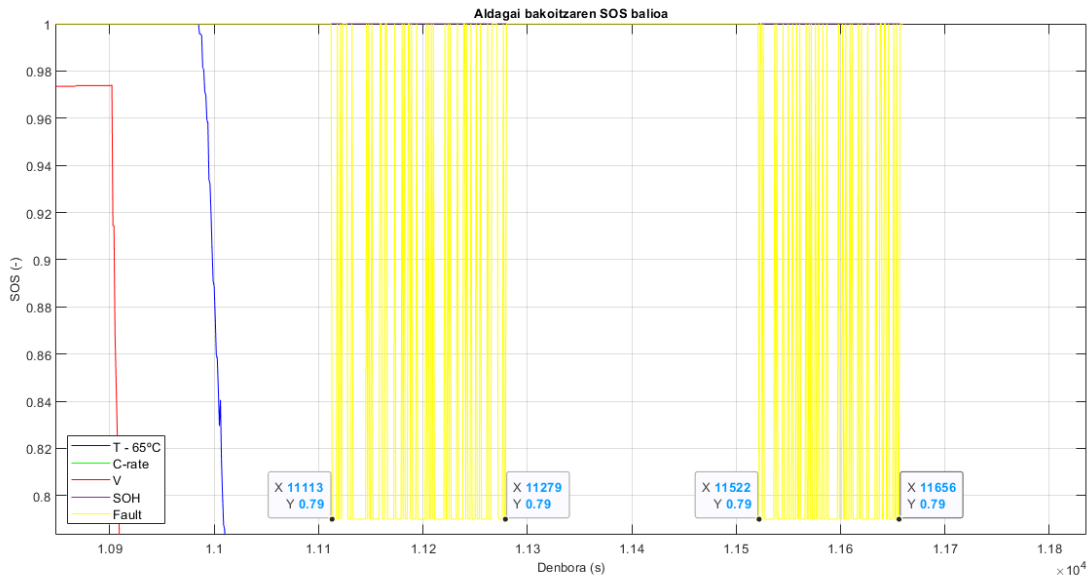
53. Irudia Gaindeskargako temperatura eta bere SOSa

54. Irudian bost SOS indibidualen balioak biltzen dira. Test honetan ere SOHaren balioa %100ean ezarri da. SOS fault 0.79ra jaitsi dela ikus daiteke tentsioak gaindeskargan gora egin duen uneetan.

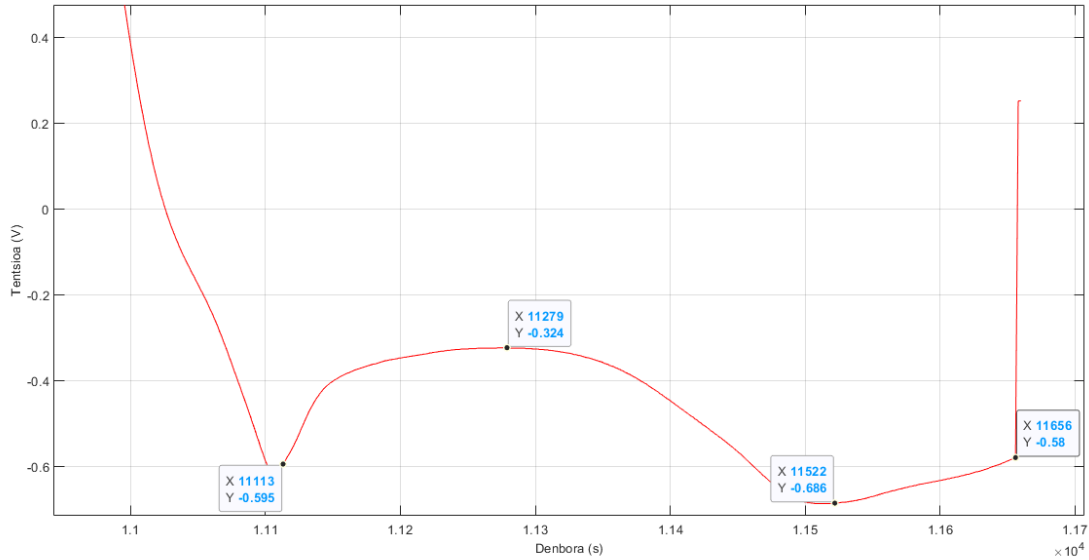


54. Irudia Gaindeskargako aldagai bakoitzaren SOSa

Gaindeskargan tentsioa 0V-tatik behera jaisterakoan, tentsioak gora eta behera egin du arrazoi ezezagunengatik. Horregatik, deskargako korrontea negatiboa izanik eta tentsioak gora eginda, SOS fault-ek abisua eman du. Hau, 55. Irudia eta 56. Irudiaetan ikusten da. Kasu hau adibide ona da SOS fault-ek akatsak nola detektatzen dituen ikusi ahal izateko.

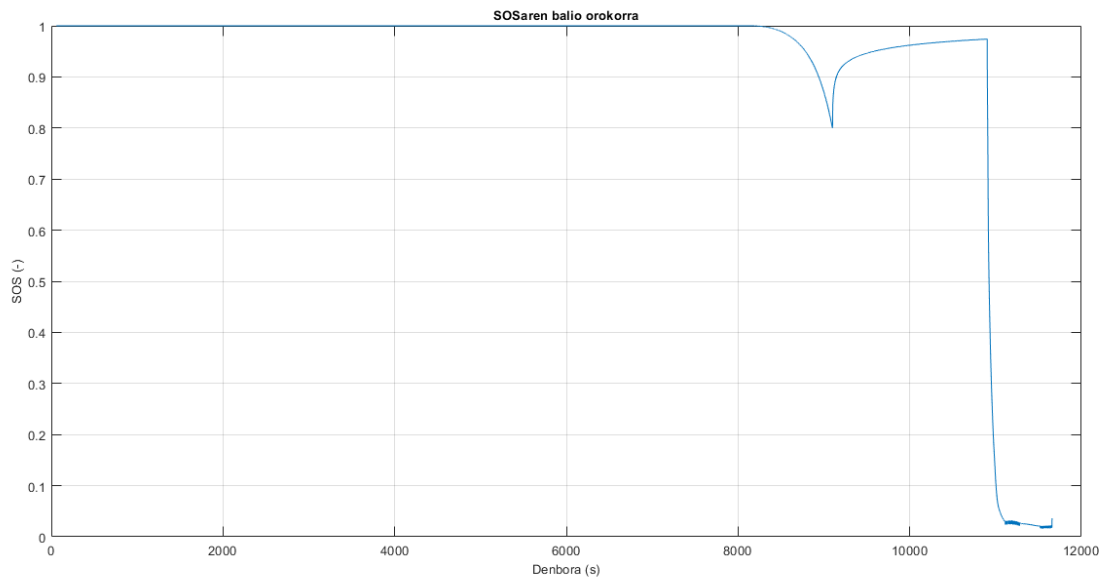


55. Irudia Gaindeskargako SOS fault gertutik



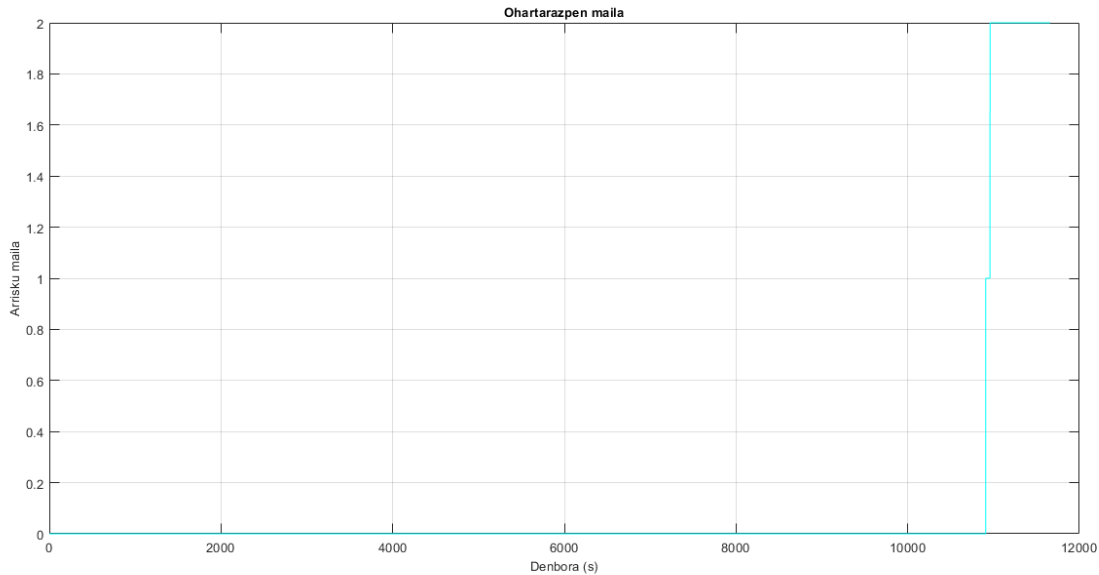
56. Irudia Gaindeskargako tentsioa gertutik

Aurreko SOS balio guztien biderkaduraren emaitza agertzen da 57. Irudian. Bateria gune seguruan funtzionatzen ari dela ikusten da gaindeskarga hasi arte, orduan SOS balioa 0.8tik jaisten da. Tentsioaren SOS balioa eta tenperaturarekin erlazionatutako SOS balioa oso azkar jaisten direnez, SOS balio orokorra ere oso azkar jaisten da oso balio baxuetara.



57. Irudia Gaindeskargako SOS orokorra

Gaindeskargako SOS orokorraren balioaren arabera ohartarazpen mailak ikus daitezke 58. Irudian. Aurretik aipatu den bezala, gaindeskarga arte batera gune seguruan ari da funtzionatzen, (ohartarazpen maila = 0). Behin gaindeskarga hasita SOS balioa oso azkar bilakatzen denez balio txikikoa, ohartarazpen maila 2 baliora igotzen da denbora azkar horretan, LIBa erabiltzea arriskutsua dela adierazteko.

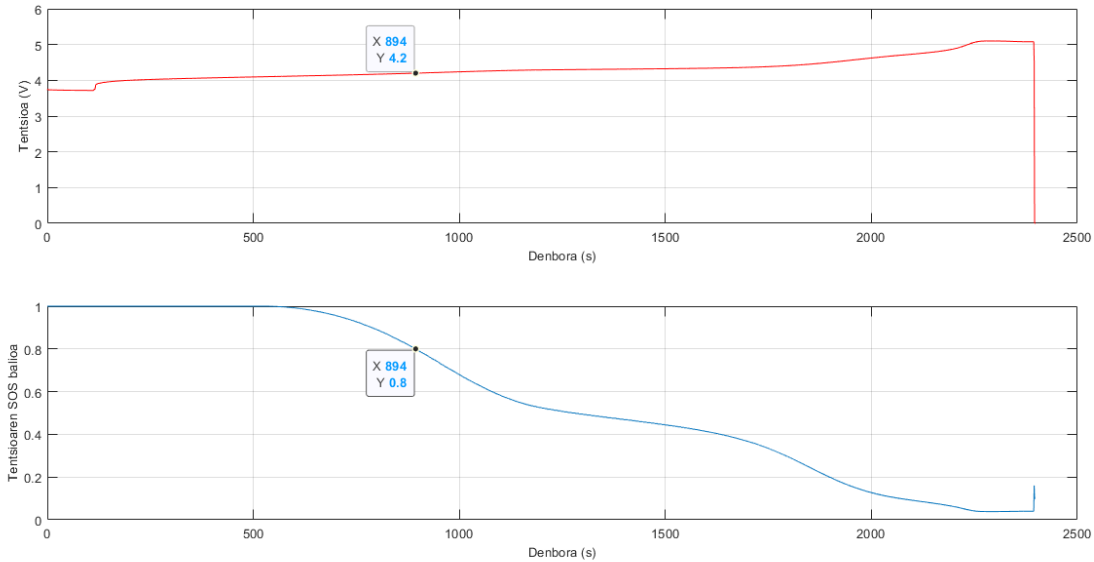


58. Irudia Gaindeskargako ohartarazpen maila

Honenbestez, gaindeskargako SOS balioak, zelula hautsi baino lehenago, 12.5 minutuko aurrerapenarekin abisatu du ez dela eremu seguruan ari lanean.

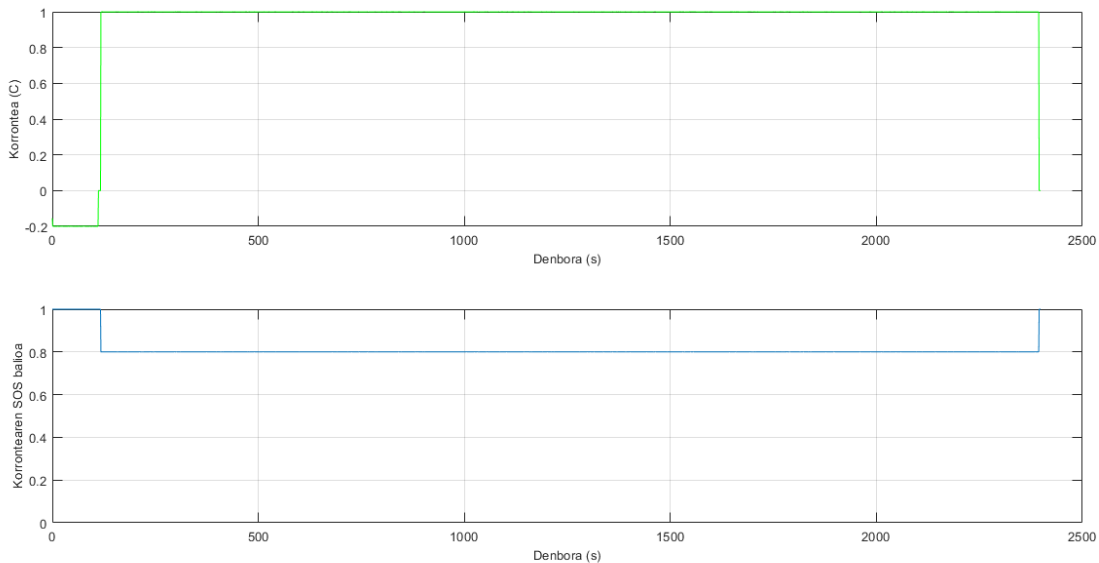
5.3 Galkarga gehigarriaren SOSaren balidazioa

Galkarga gehigarriko testaren tentsioaren SOS balioa, 5.1. atalean aurkeztutako emaitzetan bezala, 1ean hasten da eta tentsioa 4.2V-ra gerturatzen den heinean SOSa 0.8ra hurbiltzen da. Kasu honetan ere, tentsioak igotzen jarraitu ahala, tentsioaren segurtasun balioa jaitsi egiten da. (59. Irudia)



59. Irudia Gainkarga gehigarriko tentsioa eta bere SOSa

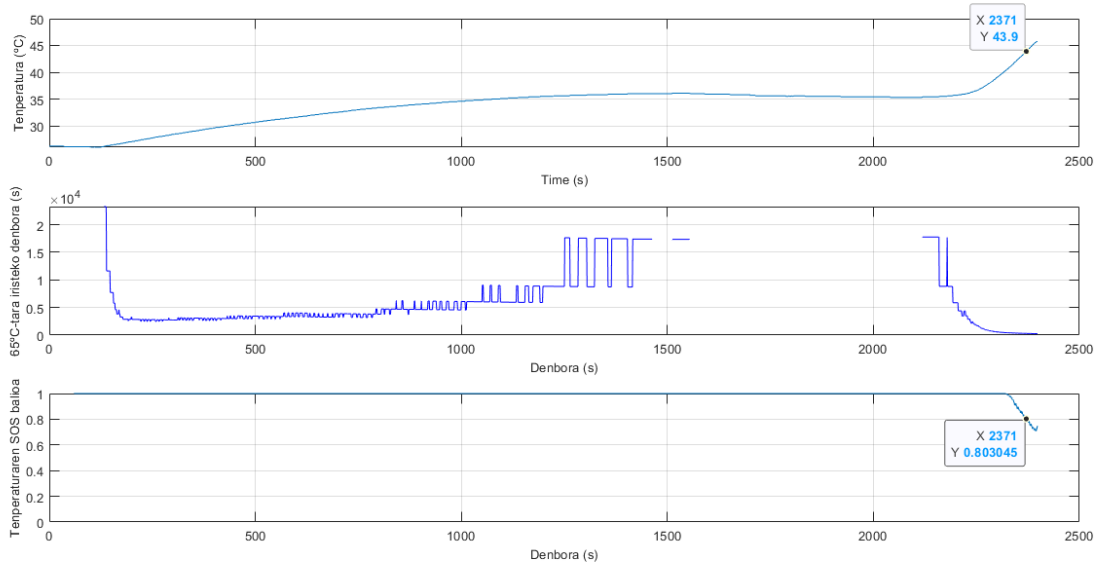
Bateria 1C-ko korrontearekin kargatu denez, korrontearen SOS balioa 0.8n mantentzen da gainkargak irauten duen denboran (60. Irudia). Honek ere bat egiten du 5.1 atalean lortutako emaitzekin.



60. Irudia Gainkarga gehigarriko korrontea eta bere SOSa

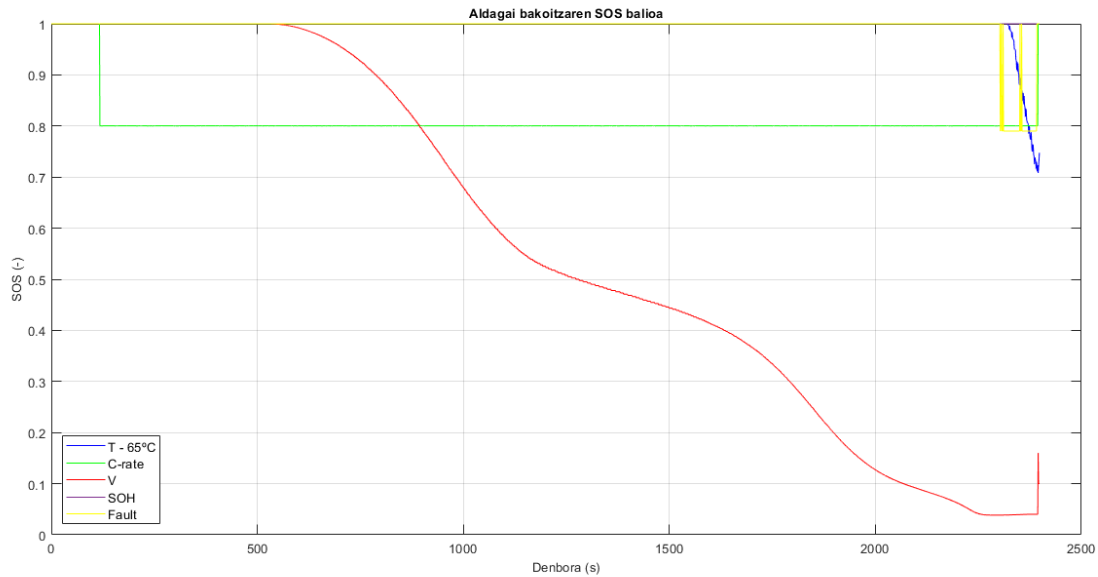
Aurreko ataletan bezala, 61. Irudian gainkargako tenperatura ikus daiteke lehenik, ondoren tenperaturari 65°C-tara iristeko falta zaion denbora, eta, azkenik, tenperaturarekin erlazionatutako SOS balioa. Gainkargako beste testean bezala, kargako korrontea hasten den unetik hasten da zelularen tenperatura Baterien segurtasun egoera (SOS) iragartzea

igotzen. 65°C-tara iristeko denbora oraindik luzea denez, tenperaturarekin erlazinoatutako segurtasun balioa 1ean mantentzen da 43.9°C-tan 0.8ra jaitsi arte. Amaieran tenperaturaren balioak nahiko malda handia hartzen duenez, gutxi gorabehera minutu baten tartean jaisten da tenperaturarekin erlazionatutako SOS balioa bere balio minimora. Kasu honetan, testa, tenperatura 65°C-tara iritsi baino lehen amaitu denez, ezinezkoa da erabateko ziurtasunarekin ebaluatzea tenperaturarekin erlazionatutako SOSaren ohartarazpena nahikoa izango litzatekeen edo ez.



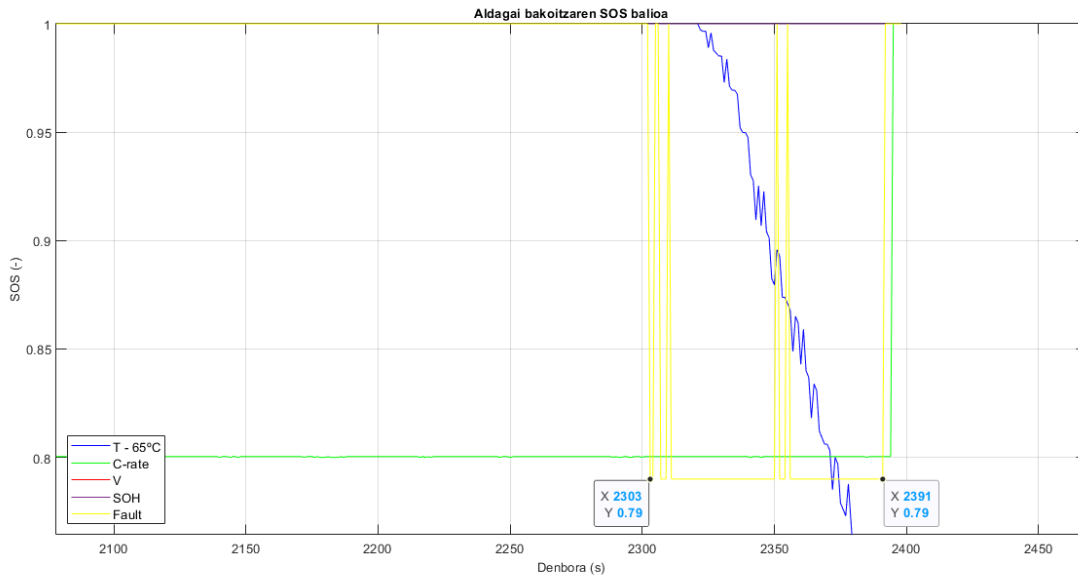
61. Irudia Gaiakarga gehigarriko tenperatura eta bere SOSa

62. Irudian bost aldagai indibidualen SOS balioak batera grafikatzten dira. Eta, test honetan ere SOHaren balioa %100ean ezarri da.



62. Irudia Gainkarga gehigarriko aldagai bakoitzaren SOSa

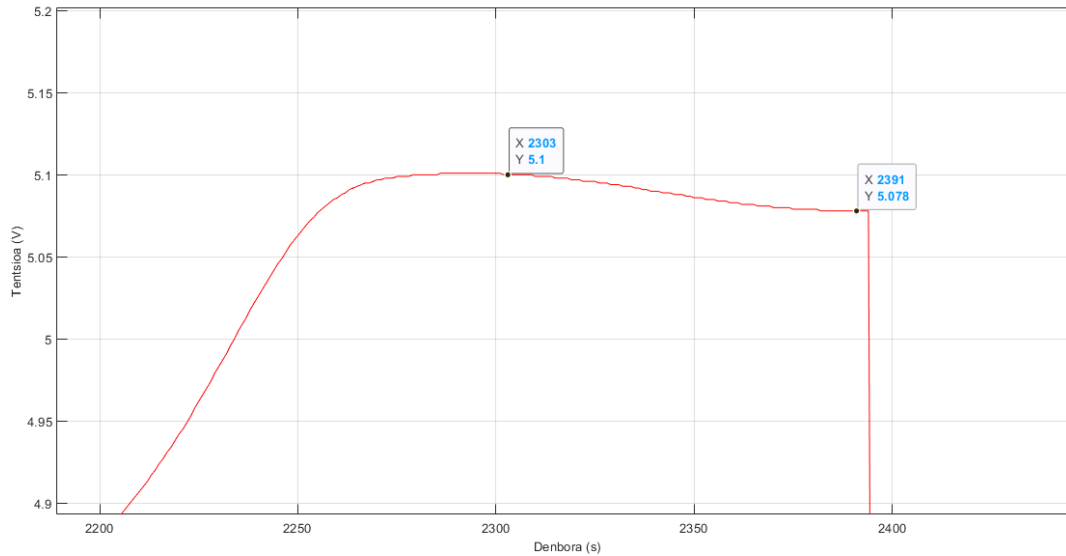
62. Irudian ikus daiteke SOS fault-ek akatsen bat detektatu duela gainkargako testaren amaiera inguruan. Hori dela eta, 63. Irudian zoom-a egin zaio tarte horri, denbora tarte ikusi ahal izateko.



63. Irudia Gainkarga gehigarriko SOS fault gertutik

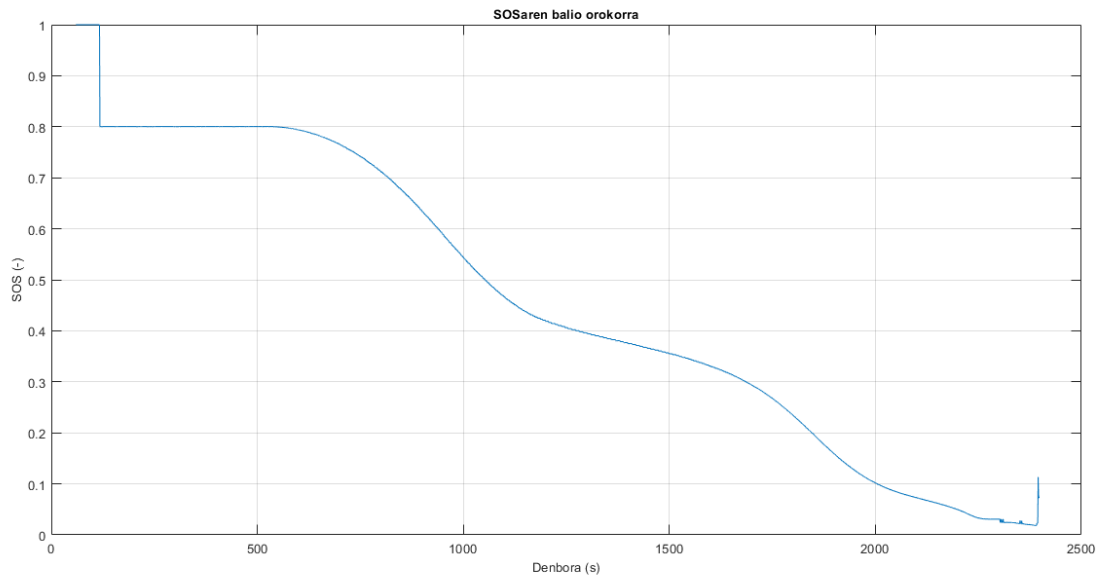
Gainkargako korrantea konstante mantenduenez 1C-n, tentsioa analizatu da 64. Irudian ikusten den bezala. Eta, bertatik ondoriozta daiteke zelulak akatsen bat izan duela hautsi baino lehen. Izan ere,

kargatzen jarraitzeko korrante positiboa jaso bitartean, tentsioak behera egin du. Hortaz, hori detektatu du SOS fault-ek, nahiz eta diferentzia oso balio txikikoa izan.



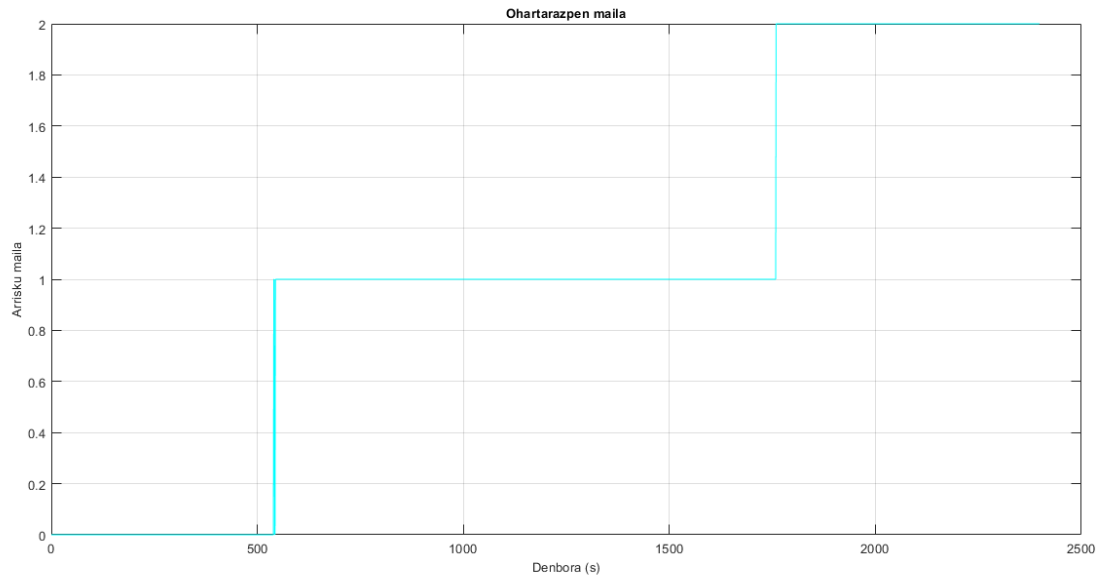
64. Irudia Gaingarka gehigarriko tentsioa gertutik

65. Irudiako SOS balio orokorra 62. Irudiako balio guztiakin ateratakoa da. Gainkarga honetan ere zelulak eremu operatibo seguru batean funtzionatzen du tentsioa 4.2V-tatik pasa arte, nahiz eta aurretik SOS balioa 0.8ko mugan egon. Behin zenbaki hori pasata, SOSaren balioak beheraka egiten du gainkarga amaitu arte.



65. Irudia Gaingarka gehigarriko SOS orokorra

66. Irudian gainkarga gehigarriko SOSaren arabera emandako ohartarazpen mailak ikus daitezke. Zelulak tentsio maximoa pasatzean ohartarazpen maila 0tik 1era pasatzen da, eta tentsioak eta tenperaturak gora egin ahala, azkenean, SOS balioa $<0.8^5$ izanik, ohartarazpen maila 2ra igotzen da.



66. Irudia Gainkarga gehigarriko ohartarazpen maila

Zelula gaindeskargara hurbiltzen hasten den unetik SOSak adi egoteko abisua emango du (ohartarazpen maila = 1), eta, horrela, bateria hautsi arte, 20 minutuko aurrerapenarekin iragarri du bateria arriskuan dagoela.

6. Memoria ekonomikoa

Datorren atal honetan, proiektuaren memoria ekonomikoa laburbiltzen da. Egindako lana gauzatzeko beharrezko gauzen gutxi gorabeherako aurrekontua kalkulatu da, erabilitako baldintzen kostuarekin.

Proiektua egiteko erabilitako material orokorra 26. Taulan jaso da. Honen kostua, guztira, 1265.99€-koa izanik.

26. Taula Material orokorraren kostua

Material orokorra	Kopurua	Prezioa (€)	
		Unitateko	Guztira
Dell Latitude 5591 (ordenagailua)	1	800	800
Dell pantaila	2	200	400
Aurikularrak	1	55	55
Ordenagailuko sagua	1	10.99	10.99
			1265.99

Software mailako baliabideen kostu totala 6299€-koa izan da, 27. Taulan ikusten den bezala.

27. Taula Software-en kostua

Software	Kopurua	Prezioa (€)	
		Unitateko	Guztira
Matlab-eko lizentzia	1	262	0*
Microsoft Office lizentzia	1	299	299
PyCharm	1	0	0
Inkscape	1	0	0
Battery Manager Workstation	1	6000	6000
			6299

*Matlab-eko lizentzia unibertsitateak eskaintzen duenez, kostua 0 izan da

Azkenik, testak egin ahal izateko laborategian erabilitako materiala agertzen da 28. Taulan. Argi dago kostu esanguratsuenak laborategiko materialenak izan direla.

28. Taula Laborategiko materialaren kostua

Laborategiko materiala	Kopurua	Prezioa (€)
Baterien segurtasun egoera (SOS) iragartzea		

		Unitateko	Guztira
Samsung INR21700-50E	4	4.45	17.8
Soldagailua	1	641	641
Kableak zuritzekoa	1	21.99	21.99
Katigatzeko erraminta	1	30	30
Baskula	1	30	30
Termoparea (tipo K)	1	10	10
HIOKI BT3562	1	3520	3520
CTS Kamara klimatikoa	1	20000	20000
Digatroia	1	50000	50000
			74270.79

Beraz, proiektua egin ahal izateko kostu kopuru totala 81835.78€-koa izan dela ondorioztatu daiteke.

Bestalde, lan orduei dagokienez, astean 40 ordu eskaini zaizkio proiektuari. Zehazki, astelehenetik ostegunera 8.25 ordu, eta, ostiraletan, aldiz, 7 ordu. Lana martxoaren 1ean hasi zenez, eta uztailaren 12an aurkeztu, 695.25 orduko lana izan da. Hilean 590 € gordin jaso dira.

7. Ondorioak

Atal honetan, egindako proiektuaren ondorioak atera dira, gradu amaierako lan honen hasieran finkatutako helburuetatik eta amaitzean lortutako emaitzetatik abiatuta. Proiektuaren ondorio orokor gisa, hasieran ezarritako helburu guztiak betetzea lortu dela esan daiteke.

Lehenik eta behin, LIBen segurtasunaren inguruko gaur egungo analisiaren bidez, ondoriozta daiteke abusu mota ezberdinak jasateak arrisku larriak sortzen dituela baterietan, hala nola sua edo eztanda. Kontuan hartu behar da bateriaren elementuak zein material aktiborekin dauden osaturik, horren arabera arrisku desberdinak sortzen direla aztertu baita. Etorkizunera begira baterietako materialen hobekuntzak garapenean daudela ere ikusi dira, hauek seguruagoak egiteko asmoarekin. Gainera, bateria baten monitorizazioaren funtzionamenduari egoera desberdinen estimazioak nola kalkulatu ikusi da. Analisi guzti honek ideia baliotsuak ekarri ditu litiozko ioien bateriekin lan egitean kontuan hartu behar diren segurtasun-kontsiderazioei buruz.

Laborategiko testak ere behar bezala gauzatu dira, beti ere lan arriskuen prebentzioaren aginduak betez. Egindako abusuzko probekin bateriek muturreko baldintzak jasan ditzaketela bermatu da, erabilera normalaren mugak gaindituz. Proba hauen bidez, proiektuarekin jarraitu ahal izateko emaitzak atera eta aztertu dira, ondoren, arriskuak aurreikusteko segurtasun-neurriak garatzen laguntzeko balioko dutenak.

Bestalde, SOSa kalkulatzeko duen algoritmoaren garapena behar bezala egin da. Hau garatzeko oinarri teorikoak gaur egun SOSaren inguruko dokumentu bakarretik aterata, segurtasunean eragina duten aldagai garrantzitsuenak aukeratu dira SOSa kalkulatzeko. Behin hori zehaztuta, algoritmoaren funtzionamendua egokia dela bermatu da, aldagai bakoitzaren SOS balio individualaren eta SOS orokorraren balioak behar bezala kalkulatu eta emaitza guztiak grafikatu.

Azkenik, lan honetan ezarritako helburu nagusia lortu dela aipatzea ezinbestekoa da. SOSa estimatzen duen algoritmoarekin SOSa balioztatu da, laborategiko testetatik ateratako datuekin. Balioztapen honen bidez ikusi da algoritmoa gai dela zelulak arriskua jasango duela iragartzeko, eta SOSaren bidez gai izango ginatekeela abusuzko egoeretan bateria hautsi edo zerbait gertatu baino lehen erreakzionatzeko.

Honela ba, baterietan segurtasun egoera estimatzea aurrerapen handi bat dela ikusi da, eta, batez ere, oraindik ere garatzen eta hobetzen jarraitu behar duen gaia dela.

Oro har, proiektu honek, ezarritako helburuak betetzeaz gain, litiozko ioien baterien segurtasuna ezagutzen eta ulertzen lagundu du. Proiektu honen bidez garatutako SOS algoritmoak tresna baliotsua eskaintzen du balizko arriskuak detektatzeko eta bateria horien funtzionamendu segurua bermatzeko, eta lortutako garapenak eta emaitzak baliagarriak izan daitezke baterietako segurtasun-neurriak hobetzeko.

67. Irudian gradu amaierako lanak Garapen Jasangarriko Helburuetan (GJH) duen eragina azaltzen da. 7, 9, 11 eta 12. helburuei zuzenean eragiten die positiboki. Bestalde, 3, 8, 15, 16 eta 17. helburuei ere positiboki

eragiten die, baina zeharka, eta ez zuzenean. Azkenik, proiektuak ez du eraginik 1, 2, 4, 5, 6, 10, 13 eta 14.helburuetan.

Direct positive							7		9		11	12					
Indirect positive			3						8						15	16	17
No impact	1	2		4	5	6				10			13	14			
Indirect negative																	
Direct negative																	

Don't know - more knowledge needed

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

67. Irudia GBLak GJHetan duen eragina

8. Etorkizuneko ildoak

Gradu amaierako lan honetan landutako SOSa iragartzen duen algoritmoa hobetzeko aukerak ugariak dira. Aurretik aipatu den bezala, proposatutako SOSaren zehaztasuna eta fidagarritasuna are gehiago hobetu daitezke azpifuntzio gehiago definituz eta daudenak doitzuz.

Esate baterako, tenperaturarekin erlazionatutako SOS balioaren kasuan, zehaztutako limiteak 5 eta 7.5 minutukoak izan dira, SOSa 0.8 eta 1 denean, hurrenez hurren. Laborategian egin diren abusuzko testetako emaitzetan ikusi denez, denbora tarte hauek nahikoak izango lirateke bateria arriskutsu bihurtu baino lehenago erreakzionatu ahal izateko. Baina agian, aplikazio handiago batean edo arriskurik onartu ezin den aplikazioren batean denbora hau ez litzateke nahikoa izango. Hori dela eta, proba gehiago eginez denbora hauek doitzea lortuko litzateke aplikazio ezberdinetarako denbora muga seguruagoak zehaztuz.

Bestalde, SOHaren SOS balio indibiduala algoritmoan sartu da, baina agian, hobekuntza moduan, bertan mantentzea egokia den ala ez ebaluatu daiteke. Azken finean, bateria baten osasun egoera txartzten denean, gainontzeko parametroetan islatzen da hori (tenperatura igoerak azkarragoak izaten dira, tentsio limiteak lehenago ikutzen dira, etab.). Eta, beraz, gainontzeko parametroak iada algoritmo barnean egonik, ez litzateke beharrezkoa izango osasun egoeraren portzentaia SOSaren formulatan sartzea. Ebaluazio honetarako, degradatutako bateria bati abusu testak egin beharko litzaizkioke.

Azkenik, SOSaren azpifuntzio gisa presioaren deribatua gehitzea ere hobekuntza moduan hartu daiteke. Bateriak presio gorakada bat jasatean, arriskuren bat gertatu aurretik, arrisku hori iragarri ahal izateko. Honetarako, beharrezkoa izango litzateke bateriaren presioa monitorizatzea, gaur egungo BMS komertzialek egiten ez duten ataza bat izanik.

9. Balorazio pertsonala

Proiektu honi esker, baterien munduan murgilduz, hauei buruzko nire ezagutza areagotu egin da. Izan ere, LIBen funtzionamenduaz gain, hauek sortzeko behar diren material desberdinen eta hauek segurtasunean duten garrantzia barneratu ditut. Baita etorkizunerako segurtasuna hobetzeko asmoz dauden elementu berrien garapenak ere. Baterien monitorizazioan, BMSeK zein funtzio betetzen dituzten ikasi dut eta zein egoera estimatzen dituzten eta nola. Gainera, gaur egun baterien segurtasuna nola dagoen aztertu dut, eta, honek, segurtasun egoera estimatzearen garrantzia ulertzen lagundu dit. Laborategian entseguak egiten eta hauek gauzatzeko araudiak aztertzen ikasi dut. Eta, algoritmoaren eskutik, MatLab eta PyCharm aplikazioetan sakondu dut, programatze mundua gehiago ulertuz.

Ikerlanen egindako praktikak gauza on ugari ekarri dizkidate. Lehenik eta behin, teknologia eta tresna espezializatuekin lan egiteko aukera eman didate, proiektu interesgarri eta desafiatazailer batean lan eginez. Honekin, industriako teknologiak eta joerak hobeto ulertzea lortu dut, eta ikasitako teoria benetako lanbide-ingurune batean aplikatzeko gaitasuna eta aukera eman didate. Amaitzeko, enpresa baten barruan eta taldean nola lan egiten den ikasi dut, eta lantzen denarekiko gaitasuna, jarrera eta konpromisoa erakusteko aukera izan dut.

10. Lan arriskuen prebentzioa

LIBekin lanean hasi aurretik, beharrezkoa da hauek era seguruan nola maneiatu ikastea. Izan ere, energia biltegitartzeko gailuak nahiz eta seguruak izan, arriskuak dakartzate.

Bateriekin entseguak egiteak eta hauek manipulatzek, elementu delikatu bihurtzen ditu. Beraz, ezinbestekoa da beti fabrikatzaileen jarraibideak kontuan izatea, jokabide zuhurra izatea eta lan-ingurunea segurua izatea.

Lehenik eta behin, nork bere burua babestu behar du. Horretarako, norbera babesteko ekipamenduak (EPI – *Equipos de protección individual*) erabili behar dira:



68. Irudia EPI

Zelula bat erabiltzen hasi aurretik, ikuskapen bisual zehatza egin behar da. Kalterik edo kolperik ez duela egiaztatu, ez dagoela puztuta edo ez duela zulorik eta abar. Anomaliaren bat egotekotan, zelula non utzi jakin behar da eta nori abisatu.

Bateriaren fabrikatzailearen diseinuari buruzko informazioa begiratu behar da, aukeraturiko zelularen tenperatura (T), tentsioa (V), korronea (C)... bezalako parametroen funtzionamendu eremua finkatzeko. Entseguen baldintza guztiak argi eta ondo definituta egon behar baitira testak egiten hasi aurretik.

Zelulak manipulatzeko kontu handiarekin egin beharreko zeregina da. Material eroale batek ere ezin du zelularen gainazala ukitu eta tresna isolatzaileak soilik erabili behar dira. Hori dela eta, eraztunak, erlojuak, eskumuturrekoak... eta horrelako osagarriak kentzea derrigorrezkoa da.

Bateria arriskutsua bilaka ez dadin, arriskuen jatorria ezagutu behar da, eta kontuz eta erne ibili hurrengo gauzekiko:

- Sistemaren diseinua aurreikusitako erabilerarako eta aurreikus daitekeen abusuzko erabilerarako segurua den jakin behar da.
- Guztiz debekatuta dago zelulak desmuntatzea eta aldatzea.

prebentzioa

- Ezin dira bateriak bero-iturrietan edo horietatik gertu jarri edo erabili.
- Ezin da bateria busti.

Lan-inguruneari dagokionez, entseguak ganbera (kamera) klimatiko batean egin behar dira segurtasuna edukitzeko. Ez hori bakarrik, bateriak eremu isolatuetan biltegitatu behar dira, material erregaietatik urrun dauden ondo aireztatutako eremu lehor eta freskoetan. Gainera, bateriak identifikatua gorde behar dira, eta kolpe eta bibrazioetatik babestuta.

Azkenik, larrialdiren baten kasuan, bateriak sua hartu, etab. CO₂ su-itzalgailua erabiliko da, eta, zalantzaren aurrean, alarmari eragin eta ingurua hustuko da. Aldiz, elektrolitoarekin kontaktua izan bada, ur hotz ugariarekin garbitu beharko da 15 minutuz, medikuarengana joan eta une oro segurtasun orria kontsultatu.

11. Bibliografía

- [1] «Batería de ion de litio - Wikipedia, la enciclopedia libre». https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_ion_de_litio (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 27a).
- [2] Y. Chen *et al.*, «A review of lithium-ion battery safety concerns: The issues, strategies, and testing standards», *Journal of Energy Chemistry*, libk. 59, or. 83–99, abz. 2021, doi: 10.1016/J.JECHEM.2020.10.017.
- [3] «Así funcionan las baterías de litio — Cuaderno de Cultura Científica». <https://culturacientifica.com/2020/02/20/asi-funcionan-las-baterias-de-litio/> (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 27a).
- [4] D. Linden *et al.*, «HANDBOOK OF BATTERIES», 2002.
- [5] «The Four Components of a Li-ion Battery». <https://www.samsungsdi.com/column/technology/detail/55272.html> (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 27a).
- [6] «Funcionamiento de las baterías - Yuasa». <https://www.yuasa.es/informacion/automocion-comercial-servicios-nautica/funcionamiento-de-las-baterias/> (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 27a).
- [7] «Cómo funciona una batería de litio | Jungheinrich PROFISHOP». <https://www.jungheinrich-profishop.es/es/guia-profi/como-funciona-una-bateria-de-litio/> (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 27a).
- [8] «Que es una batería y como funciona - Ingeniería Mecafenix». <https://www.ingmecafenix.com/electronica/componentes/que-es-una-bateria/> (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 27a).
- [9] «Sci-Hub | State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations. IEEE Access, 6, 19362–19378 | 10.1109/ACCESS.2018.2817655». Eskuratua: 2023(e)ko ekainakaren 27a. [Sarean]. Available at: <https://sci-hub.ru/10.1109/ACCESS.2018.2817655>
- [10] «BU-205: Types of Lithium-ion - Battery University». <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion> (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 27a).
- [11] G. Zhang, X. Wei, S. Chen, J. Zhu, G. Han, eta H. Dai, «Revealing the Impact of Slight Electrical Abuse on the Thermal Safety Characteristics for Lithium-Ion Batteries», *ACS Appl Energy Mater*, libk. 4, zenb.

- 11, or. 12858–12870, aza. 2021, doi: 10.1021/ACSAEM.1C02537/ASSET/IMAGES/MEDIUM/AE1C02537_0015.GIF.
- [12] K. Liu, Y. Liu, D. Lin, A. Pei, eta Y. Cui, «Materials for lithium-ion battery safety», *Sci Adv*, libk. 4, zenb. 6, eka. 2018, doi: 10.1126/SCIADV.AAS9820/ASSET/8682E3B0-F43B-4EBF-A50B-AE67A9ACFF5C/ASSETS/GRAPHIC/AAS9820-F6.JPEG.
- [13] L. Huang *et al.*, «A review of the internal short circuit mechanism in lithium-ion batteries: Inducement, detection and prevention», *Int J Energy Res*, libk. 45, zenb. 11, or. 15797–15831, ira. 2021, doi: 10.1002/ER.6920.
- [14] A. Abaza *et al.*, «Experimental study of internal and external short circuits of commercial automotive pouch lithium-ion cells», *J Energy Storage*, libk. 16, or. 211–217, apr. 2018, doi: 10.1016/J.EST.2018.01.015.
- [15] «Blog – Guide to Lithium Plating in Lithium-Ion Batteries». <https://www.accure.net/battery-knowledge/blog-guide-to-lithium-plating-in-lithium-ion-batteries> (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 27a).
- [16] X. Lin, K. Khosravinia, X. Hu, J. Li, eta W. Lu, «Lithium Plating Mechanism, Detection, and Mitigation in Lithium-Ion Batteries», *Prog Energy Combust Sci*, libk. 87, or. 100953, aza. 2021, doi: 10.1016/J.PECS.2021.100953.
- [17] «Fuga térmica de la batería de litio». https://es.everexceed.com/blog/fuga-t-rmica-de-la-bater-a-de-litio_b300 (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 27a).
- [18] H. Zhang, Y. Yang, D. Ren, L. Wang, eta X. He, «Graphite as anode materials: Fundamental mechanism, recent progress and advances», *Energy Storage Mater*, libk. 36, or. 147–170, apr. 2021, doi: 10.1016/J.ENSM.2020.12.027.
- [19] W. J. Zhang, «A review of the electrochemical performance of alloy anodes for lithium-ion batteries», *J Power Sources*, libk. 196, zenb. 1, or. 13–24, urt. 2011, doi: 10.1016/J.JPOWSOUR.2010.07.020.
- [20] W. Qi, J. G. Shapter, Q. Wu, T. Yin, G. Gao, eta D. Cui, «Nanostructured anode materials for lithium-ion batteries: principle, recent progress and future perspectives», *J Mater Chem A Mater*, libk. 5, zenb. 37, or. 19521–19540, ira. 2017, doi: 10.1039/C7TA05283A.
- [21] X. Han *et al.*, «A review on the key issues of the lithium ion battery degradation among the whole life cycle», *eTransportation*, libk. 1, or. 100005, abz. 2019, doi: 10.1016/J.ETRAN.2019.100005.
- [22] H. Wu *et al.*, «Stable Li-ion battery anodes by in-situ polymerization of conducting hydrogel to conformally coat silicon nanoparticles», *Nat Commun*, libk. 4, eka. 2013, doi: 10.1038/NCOMMS2941.
- [23] Owais Ali, «The All-Solid-State Battery and its Future in Electric Vehicles», *AZO cleantech*, 2022, Eskuratua: 2023(e)ko ekainakaren 27a. [Sarean]. Available at: <http://arxiv.org/abs/2103.04230>

- [24] C. Liu, L. Liu -, L. Gan, R. Chen, eta al -, «A General Discussion of Li Ion Battery Safety».
- [25] «A Comparison of NMC/NCA Lithium ion Battery and LFP Battery - Poworks». <https://poworks.com/a-comparison-of-nmc-nca-lithium-ion-battery-and-lfp-battery> (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 27a).
- [26] «Effect of cathode composition on abuse response of 18650 Li-ion cells. (Conference) | OSTI.GOV». <https://www.osti.gov/biblio/1272169> (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 27a).
- [27] D. Sturk, L. Rosell, P. Blomqvist, eta A. A. Tidblad, «Analysis of Li-Ion Battery Gases Vented in an Inert Atmosphere Thermal Test Chamber», *Batteries 2019, Vol. 5, Page 61*, libk. 5, zenb. 3, or. 61, ira. 2019, doi: 10.3390/BATTERIES5030061.
- [28] M. Brand *et al.*, «Electrical safety of commercial Li-ion cells based on NMC and NCA technology compared to LFP technology», *World Electric Vehicle Journal*, libk. 6, zenb. 3, or. 572–580, 2013, doi: 10.3390/WEVJ6030572.
- [29] «know-next-generation-nmc-811-cathode». <https://researchinterfaces.com/know-next-generation-nmc-811-cathode/> (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 27a).
- [30] D. Quintana, B. Raúl, eta G. Medina, «Diseño de celdas y BMS para una batería de Ion-Litio integrada en un prototipo de moto de competición totalmente eléctrica», urt. 2021, Eskuratua: 2023(e)ko ekainakaren 27a. [Sarean]. Available at: <https://riunet.upv.es/handle/10251/160051>
- [31] L. Zhou *et al.*, «State Estimation Models of Lithium-Ion Batteries for Battery Management System: Status, Challenges, and Future Trends», *Batteries 2023, Vol. 9, Page 131*, libk. 9, zenb. 2, or. 131, ots. 2023, doi: 10.3390/BATTERIES9020131.
- [32] J. Li, Q. Lai, L. Wang, C. Lyu, eta H. Wang, «A method for SOC estimation based on simplified mechanistic model for LiFePO₄ battery», *Energy*, libk. 114, or. 1266–1276, aza. 2016, doi: 10.1016/J.ENERGY.2016.08.080.
- [33] J. Li, L. Wang, C. Lyu, eta M. Pecht, «State of charge estimation based on a simplified electrochemical model for a single LiCoO₂ battery and battery pack», *Energy*, libk. 133, or. 572–583, abz. 2017, doi: 10.1016/J.ENERGY.2017.05.158.
- [34] G. Liu, M. Ouyang, L. Lu, J. Li, eta J. Hua, «A highly accurate predictive-adaptive method for lithium-ion battery remaining discharge energy prediction in electric vehicle applications», *Appl Energy*, libk. 149, or. 297–314, uzt. 2015, doi: 10.1016/J.APENERGY.2015.03.110.
- [35] X. Liu, J. Wu, C. Zhang, eta Z. Chen, «A method for state of energy estimation of lithium-ion batteries at dynamic currents and temperatures», *J Power Sources*, libk. 270, or. 151–157, abe. 2014, doi: 10.1016/J.JPOWSOUR.2014.07.107.

- [36] H. Rozas, D. Troncoso-Kurtovic, C. P. Ley, eta M. E. Orchard, «Lithium-ion battery State-of-Latent-Energy (SoLE): A fresh new look to the problem of energy autonomy prognostics in storage systems», *J Energy Storage*, libk. 40, or. 102735, abz. 2021, doi: 10.1016/J.EST.2021.102735.
- [37] L. Zheng, J. Zhu, G. Wang, T. He, eta Y. Wei, «Novel methods for estimating lithium-ion battery state of energy and maximum available energy», *Appl Energy*, libk. 178, or. 1–8, ira. 2016, doi: 10.1016/J.APENERGY.2016.06.031.
- [38] E. Cabrera-Castillo, F. Niedermeier, eta A. Jossen, «Calculation of the state of safety (SOS) for lithium ion batteries», *J Power Sources*, libk. 324, or. 509–520, abz. 2016, doi: 10.1016/J.JPOWSOUR.2016.05.068.
- [39] C. J. Orendorff, J. Lamb, L. Anna, eta M. Steele, «SANDIA REPORT Recommended Practices for Abuse Testing Rechargeable Energy Storage Systems (RESSs)», 2017, Eskuratua: 2023(e)ko ekainakaren 27a. [Sarean]. Available at: <http://www.ntis.gov/help/ordermethods.asp?loc=7-4-0#online>
- [40] «Battery safety and abuse testing | TÜV SÜD». <https://www.tuvsud.com/en/industries/mobility-and-automotive/automotive-and-oem/automotive-testing-solutions/battery-testing/battery-safety-and-abuse-testing> (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 27a).
- [41] «INR21700-50E Bateria Compatible para Samsung SAMSUNG INR21700-50E pilas recargables». https://www.cargador-portatil.com/Goods/22KK43_OTH-INR21700-50E-Samsung-Bateria.html (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 27a).
- [42] «Samsung INR21700-50E 4900mAh - 9.8A - Pilas recargables | NKON». https://www.nkon.nl/es/rechargeable/samsung-inr21700-50e.html?gclid=CjwKCAjw6IiiBhAOEiwALNqncT6HC9hOdGSzXqoSyyOfGnAmNgVPH2UwhCINg52UT5Ehcpr6UOYLpRoCiQkQAvD_BwE (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 27a).
- [43] «BU-304: Why are Protection Circuits Needed? - Battery University». <https://batteryuniversity.com/article/bu-304-why-are-protection-circuits-needed> (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 28a).
- [44] B. Xu, L. Kong, G. Wen, eta M. G. Pecht, «Protection Devices in Commercial 18650 Lithium-Ion Batteries», *IEEE Access*, libk. 9, or. 66687–66695, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075972.
- [45] «What are Lithium-Ion batteries? - BatteryGuy.com Knowledge Base». <https://batteryguy.com/kb/knowledge-base/what-are-lithium-ion-batteries/> (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 28a).
- [46] F. Larsson, P. Andersson, eta B. E. Mellander, «Lithium-Ion Battery Aspects on Fires in Electrified Vehicles on the Basis of Experimental Abuse Tests», *Batteries 2016, Vol. 2, Page 9*, libk. 2, zenb. 2, or. 9, apr. 2016, doi: 10.3390/BATTERIES2020009.

- [47] X. Y. Yao, L. Kong, eta M. G. Pecht, «Reliability of Cylindrical Li-ion Battery Safety Vents», *IEEE Access*, libk. 8, or. 101859–101866, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2997792.
- [48] «Separators for Lithium-ion Batteries | Teijin's Technologies | Research & Development | TEIJIN». <https://www.teijin.com/rd/technology/separator/> (eskuratua 2023(e)ko ekainakaren 28a).

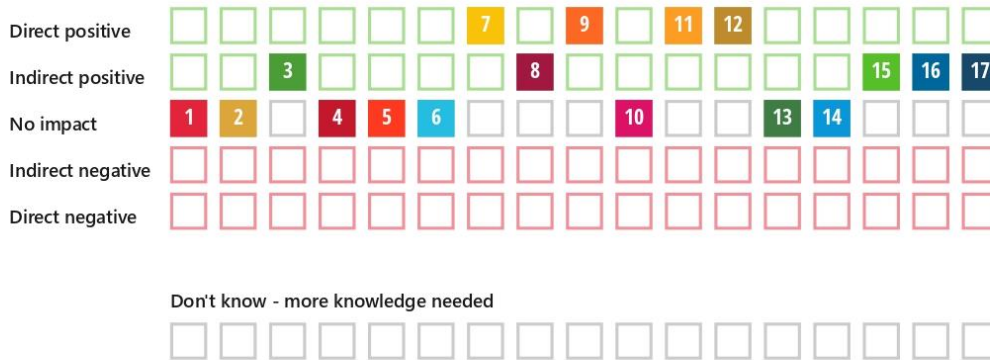
12. Eranskinak

12.A GJH

SDG Impact Assessment Tool

SDG IMPACT ASSESSMENT TOOL

SOS



Description

State of safety of lithium batteries

Strategic choices

These are the prioritised areas that we will take action on.

- Positive impacts we can strengthen even further
- Negative impacts we can eliminate or minimise
- Knowledge gaps we need to fill

SDG Impact Assessment Tool



NO POVERTY

End poverty in all its forms everywhere

Impact

NO IMPACT

Motivation

- Ez du eraginik



ZERO HUNGER

End hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture

Impact

NO IMPACT

Motivation

- Ez du eraginik



GOOD HEALTH AND WELL-BEING

Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages

Impact

INDIRECT POSITIVE

Motivation

Litiozko baterien segurtasuna funtsezkoa da pertsonen osasuna eta bizitza arriskuan jar ditzaketen istripuak saihesteko.



QUALITY EDUCATION

Ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all

Impact

NO IMPACT

Motivation

- Ez du eraginik

SDG Impact Assessment Tool



GENDER EQUALITY

Achieve gender equality and empower all women and girls

Impact

NO IMPACT

Motivation

- Ez du eraginik



CLEAN WATER AND SANITATION

Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all

Impact

NO IMPACT

Motivation

- Ez du eraginik



AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY

Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all

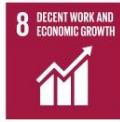
Impact

DIRECT POSITIVE

Motivation

Litiozko bateriak funtsezkoak dira energia berriztagarriak biltegitratzeko, eta horrek gure sare elektrikoetan energia berriztagarrien ahalmena handitzen eta erregai fosilekiko mendekotasuna murrizten lagun dezake. Litiozko baterietan segurtasun-neurriak garatzean, energia garbi eta jasagarrien erabilera sustatzen laguntzen da, energia eskuragarriagoa eta ez-kutsagarria ahalbidetuz.

SDG Impact Assessment Tool



DECENT WORK AND ECONOMIC GROWTH

Promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all

Impact

INDIRECT POSITIVE

Motivation

Litiozko baterien ekoizpen eta salmenta seguruak mundu osoan enpleguak eta onura ekonomikoak sor ditzake.



INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE

Build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and foster innovation

Impact

DIRECT POSITIVE

Motivation

Litiozko bateriak funtsezkoak dira energia garbiko azpiegiturak sortzeko eta energia biltegitratzeko sistemen berrikuntzetarako. Litiozko baterien segurtasuna hobetean, industria jasangarriagoa eta berritzaileagoa lortzen laguntzen da, azpiegitura iraunkorrako eta seguruagoak ahalbidetuz, garapen ekonomiko eta teknologiko iraunkorra bermatuz.



REDUCED INEQUALITIES

Reduce inequality within and among countries

Impact

NO IMPACT

Motivation

- Ez du eraginik

SDG Impact Assessment Tool



SUSTAINABLE CITIES AND COMMUNITIES

Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable

Impact

DIRECT POSITIVE

Motivation

Litiozko bateriak funtsezkoak dira garraio-sistema elektriko eskuragarriak, iraunkorrek eta, batez ere, guztientzat seguruak lortzeko. Gainera, tokiko sare elektrikoek gainera karga murrizten lagun dezakete.



RESPONSIBLE PRODUCTION AND CONSUMPTION

Ensure sustainable consumption and production patterns

Impact

DIRECT POSITIVE

Motivation

Litiozko bateriak sortzeko eta birziklatzeko segurtasuna ezinbestekoa da ekonomia zirkularra sortzeko eta hondakin eta isuri toxikoak murrizteko.



CLIMATE ACTION

Take urgent action to combat climate change and its impacts

Impact

NO IMPACT

Motivation

- Ez du eraginik



LIFE BELOW WATER

Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development

Impact

NO IMPACT

Motivation

- Ez du eraginik

SDG Impact Assessment Tool



LIFE ON LAND

Protect, restore and promote sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, and halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss

Impact

INDIRECT POSITIVE

Motivation

Litiozko bateriak modu desegokian ekoizteak eta ezabatzeak eragin negatiboa izan dezake ingurumenean eta lurreko ekosistemen bizitzan; beraz, garrantzitsua da bateriak modu arduratsuan ekoizten, erabiltzen eta ezabatzen direla bermatzea.



PEACE, JUSTICE AND STRONG INSTITUTIONS

Promote peaceful and inclusive societies for sustainable development, provide access to justice for all and build effective, accountable and inclusive institutions at all levels

Impact

INDIRECT POSITIVE

Motivation

Litiozko bateriak ekoizteko eta saltzeko segurtasuna funtsezkoa da erakundeen, legeen eta araudien osotasuna bermatzeko.



PARTNERSHIPS FOR THE GOALS

Strengthen the means of implementation and revitalize the global partnership for sustainable development

Impact

INDIRECT POSITIVE

Motivation

Nazioarteko lankidetzeta eta gobernuen, sektore pribatuaren eta gizarte zibilaren arteko lankidetzeta funtsezkoak dira mundu osoan litiozko bateriak ekoizteko eta erabiltzeko segurtasuna bermatzeko.

BUKAERAKO LANA GRADU BUKAERAKO LANA GRADU BUKAERAKO LANA GRADU BUKAERAKO LANA GRADU BUKAERAKO LANA GRADU BUKAERAKO LANA