

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE MONDRAGON  
UNIBERTSITATEA**  
*MONDRAGON UNIBERTSITATEKO GOI ESKOLA POLITEKNIKOA*

**Trabajo presentado para la obtención del título de**  
*Titulua eskuratzeko lana*

**GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA**  
**ENERGIAREN INGENIARITZA GRADUA**

**Título del Trabajo** *Lanaren izenburua*

**APLIKAZIO INDUSTRIAL ETARAKO ENERGIAREN  
BILTEGIRATZE-SISTEMA HIBRIDOEN ANALISIA**

**Autor** *Egilea*

MARKEL AZKUE ETXEANDIA

**Curso** *Ikasturtea*

2017/2018

**Título del Trabajo** *Lanaren izenburua*

**APLIKAZIO INDUSTRIALETARAKO ENERGIAREN  
BILTEGIRATZE-SISTEMA HIBRIDOEN ANALISIA**

**Nombre y apellidos del autor**

*Egilearen izen-abizenak*

AZKUE ETXEANDIA, MARKEL

**Nombre y apellidos del/ de los director/es del trabajo**

*Lanaren zuzendariaren/zuzendarien izen-abizenak*

MARTINEZ LASERNA, EGOITZ

IRAOLA IRIONDO, UNAI

**Lugar donde se realiza el trabajo**

*Lana egin deneko lekua*

IKERLAN, S.COOP.

**Curso académico**

*Ikasturtea*

2017/2018



El autor/la autora del Trabajo Fin de Grado autoriza a la Escuela Politécnica Superior de Mondragón Unibertsitatea, con carácter gratuito y con fines exclusivamente de investigación y docencia, los derechos de reproducción y comunicación pública de este documento siempre que: se cite el autor/la autora original, el uso que se haga de la obra no sea comercial y no se cree una obra derivada a partir del original.

*Gradu Bukaerako Lanaren egileak baimena ematen dio Mondragon Unibertsitateko Goi Eskola Politeknikoari Gradu Bukaerako Lana jendaurrean zabaltzeko eta erreproduzitzeko; soilik ikerketan eta hezkuntzan erabiltzeko, eta doakoa izateko baldintzarekin. Baimendutako erabilera honetan, egilea nor den azaldu beharko da beti, eta ezingo da erabilera komertzialik egin, ez eta lan originaletatik lan berriak eratorri ere.*

## Laburpena

Gaur egun, elektromugikortasunaren eta energia berriztagarrien hazkundera dela eta, energia- eta potentzia-eskakizun handiko aplikazio berriak agertu dira. Orain arteko biltegitratze-sistema gehienek zailtasunak dituzte aldi berean energia- eta potentzia-eskaerak asebetetzeko, eta, ondorioz, bi ezaugarrietako batean gaidimentsionatu egiten dira maiz. Lan honetan, Li-ioi bateriaren eta EDLCaren arteko HESS erdi-aktiboaren diseinua eta garapena azaltzen da, bai eta bi sistemak konbinatzeak ekar ditzakeen onurak aztertu eta simulatu ere. Sistema bateriak energia era ia konstantean emateko pentsatuta dago; EDLC multzoa, bestalde, kargaren zati dinamikoaz arduratzen da. Horren bitartez, posible da energia-gaitasun handia duen bateria erabiltzea, puntako potentzia altuak eskatzen dituen karga izan arren. Gainera, KZ-KZ bihurgailua dela eta, posible da EDLC multzoak eta bateriak tentsio ezberdinetan egotea. Dokumentu honetan, HESS erdi-aktibo baten ezarpena eta baliozkotzea azaltzen dira, horrelako sistema batek eskaintzen dituen abantaila nagusietan sakonduta. Sistemaren gainean kontrola izateko, Arduino bat erabili da zenbait neurgailu baliatuz. Sistemari ezarritako diodo bati esker, gainera, sistemak era pasiboan funtzionatzeko aukera ematen da. Proposaturiko sistema autobus elektriko batean erabiltzeko aukera dagoela egiaztatzeko, simulazioa eta emaitza esperimentalak aplikazio finalera begira aztertu dira.

## Abstract

Nowadays, due to the incrementation in the use of the electromobility and renewable energies, applications with high energy and power demand have appeared. The energy storage systems used have difficulties to fulfill the energy and power demand, and, as a result, they are often overdimensioned in one of those factors. In this work, the design and development of a semi-active HESS composed by a Li-ion battery and a HESS bank are explained. Also, the benefits of combining both systems are examined and a simulation has been carried out. The system is designed so that the battery supplies energy in an almost continuous way; on the other hand, the EDLC bank will manage the dynamic part of the load. That way, it is possible to use a high energy capacity battery, even though the load demands high power peaks. Also, as a result of the use of the DC-DC converter, it is possible to use a different voltage in the EDLC bank and the battery. In this document the implementation and the validation of a semi-active HESS are explained, and the main advantages that the system offers are examined in depth. In order to have control over the system, an Arduino is employed using some measuring devices. Owing to a diode placed, also, the system can be used in a passive way. To be sure that the system can be used in an electric bus, a simulation and experimental results are analyzed with regard to the final results.

## Resumen

El incremento que se ha dado últimamente en el uso de la electromovilidad y las energías renovables ha provocado la aparición de nuevas aplicaciones con gran demanda de potencia y de energía. Los sistemas de almacenamiento que se utilizan hoy en día tienen complicaciones para poder cumplir con dicha demanda; es por ello que se suelen sobredimensionar en alguno de dichos factores. En el presente trabajo se explica el diseño y desarrollo de un HESS semi-activo formado por un banco de EDLC y una batería. Se ha simulado el sistema y se presentan también las ventajas que tiene combinar estos dos sistemas. El sistema está pensado para que la batería proporcione energía de forma casi constante; por otro lado, el banco de EDLC se ocupa de la parte dinámica que presenta la carga. Así, es posible utilizar baterías con una gran capacidad energética, aunque la carga demande grandes picos de potencia. Además, gracias al convertidor CC-CC, es posible que el banco de EDLC y la batería funcionen a tensiones diferentes. En este documento se explica la implantación y la validación de un HESS semi-activo, profundizando en las ventajas principales que ofrece este tipo de sistema. El control del sistema se lleva a cabo por medio de un Arduino al que se han añadido unos elementos de medición. Gracias al diodo que se ha utilizado, se da la posibilidad de que el sistema funcione en forma pasiva. Para verificar que el sistema puede ser implementado en un autobús eléctrico, se han analizado una simulación y los resultados experimentales de cara a la aplicación final.

## Aurkibidea

1.	Sarrera.....	1
1.1.	Proiektuaren helburuak eta plangintza .....	1
1.2.	Baldintzen plegua .....	4
2.	Egungo egoera .....	7
2.1.	Biltegitratze-sistemak.....	7
2.1.1	Li-ioi bateriak.....	8
2.1.2	Beruneko bateriak .....	10
2.1.3	Nikelezko bateriak .....	12
2.1.4	NaS eta Zebra bateriak .....	14
2.1.5	EDLCak.....	15
2.1.6	LiCap kondentsadoreak .....	18
2.1.7	Aplikaziorako biltegitratze-sistemen aukeraketa .....	20
2.2.	HESS topologiak .....	21
2.2.1	HESS topologia pasiboa .....	21
2.2.2	HESS topologia erdi-aktiboa .....	23
2.2.3	HESS topologia aktiboa.....	25
2.2.4	Topologiaren aukeraketa .....	27
3.	Sistemaren simulazioa .....	29
3.1.	Autobus elektrikoaren funtzionamendu-profila.....	29
3.2.	Simulazioa ESS bakarra erabiliz.....	30
3.3.	Proposaturiko HESSaren simulazioa .....	31
3.3.1	Hibridazioaren abantaila operatiboak.....	34
3.4.	Li-ioi bateriaren bizi-estimazioa.....	35
3.4.1	Garatutako bizi-modeloaren emaitzak.....	36
3.4.2	ESS bakarreko sistemaren eta HESSa erabiltzen duen sistemaren arteko alderaketa .....	38
3.5.	Sistemaren simulaziotik ateratako ondorioak .....	39
4.	Eraikitako demostradorea .....	40
4.1.	Osagaien hautaketa eta muntaketa .....	40
4.1.1	Sistemaren kontrola .....	40
4.1.2	Crowbar zirkuitua .....	41
4.1.3	Tentsio-, korrante- eta tenperatura-neurgailuak.....	43
4.1.4	Babes-neurriak .....	47

4.1.5	EDLCen BMSa .....	48
4.1.6	Baterien BMSa .....	50
4.1.7	KZ-KZ bihurgailua.....	50
4.1.8	KZ-KZ bihurgailua gaitzeko zirkuitua .....	52
4.2.	Kontrol-estrategia gauzatzea .....	54
4.3.	Demostradoreko elementuen banaketa .....	56
5.	Emaitzak.....	58
5.1.	Saiakuntza-bankua.....	58
5.2.	KZ-KZ bihurgailuaren korrante mugaketa.....	59
5.3.	1. Froga: Sistema osoaren funtzionamendu orokorra.....	59
5.4.	2. froga: HESS pasiboa .....	62
5.5.	Bi topologiaren arteko konparaketa .....	64
5.6.	Emaitzen ondorioak.....	64
6.	Ondorioak .....	65
7.	Etorkizunerako ildoak .....	67
8.	Memoria ekonomikoa .....	69
9.	Praktiken eta GBLaren balorazio pertsonala .....	71
10.	Bibliografia .....	72

## Irudien aurkibidea

Irudia 1. Proiektuaren plangintza .....	3
Irudia 2. Energia biltegitratzeko sistemen alderaketa [8].....	7
Irudia 3. Li-ioi bateriaren karga eta deskarga [11] .....	8
Irudia 4. NiMH zelula baten karga- eta deskarga-prozesua [17].....	12
Irudia 5. NaS zelula baten karga- eta deskarga-prozesua .....	14
Irudia 6. EDLCaren karga eta deskarga.....	16
Irudia 7. LiCapen osaera [32].....	18
Irudia 8. Energia-dentsitatea potentzia-dentsitatearen arabera .....	19
Irudia 9. HESS pasiboa .....	22
Irudia 10. a) HESS sistemaren deskarga EDLC multzo bakarrarekin. b) HESS deskarga EDLC 7 multzorekin .....	22
Irudia 11. HESS erdi-aktiboa, kargakoa .....	23
Irudia 12. HESS erdi-aktiboa, EDLCko erdi-aktiboa .....	24
Irudia 13. HESS erdi-aktiboa, bateriako erdi-aktiboa .....	25
Irudia 14. HESS aktiboa, bateriako seriea.....	26
Irudia 15. HESS aktiboa, EDLCko seriea .....	26
Irudia 16. HESS aktiboa, paraleloa.....	27
Irudia 17. Bateriako erdi-aktiboa diodoarekin .....	28
Irudia 18. Bateria modeloa Simulinken .....	31
Irudia 19. EDLC modeloa Simulinken .....	32
Irudia 20. HESS simulazioa Simulinken.....	33
Irudia 21. Sistemaren eskema orokorra .....	40
Irudia 22. Crowbar zirkuituaren eskema elektrikoa .....	41
Irudia 23. Muntatutako crowbar zirkuitua .....	42
Irudia 24. Tentsio- eta korrante-neurgailuak .....	43
Irudia 25. Sentsoreen egokitzapenaren eskema elektrikoa .....	45
Irudia 26. Muntatutako sentsoreen egokitzapen-zirkuitua .....	46
Irudia 27. Sentsoreen egokitzapena korrante negatiboetarako .....	46
Irudia 28. Errelea erasotzeko zirkuitua.....	48
Irudia 29. Lithium Balance-ko BMSa .....	48
Irudia 30. BMSaren softwarea. Pantaila nagusia. ....	49
Irudia 31. BMSaren softwarea. Zelulen datuak.....	50
Irudia 32. Vicor PI3740-00-EVAL1.....	51
Irudia 33. KZ-KZ gaitzeko zirkuitua .....	53
Irudia 34. Korrante-neurgailuen ezarpena Arduinoan.....	55
Irudia 35. Tentsio-neurgailuen ezarpena Arduinoan .....	55
Irudia 36. Temperatura-neurgailuen ezarpena Arduinoan .....	56
Irudia 37. KZ-KZ bihurtutako gaitzeko Matlabeko funtzioa.....	56
Irudia 38. Demostradorearen antolamendua. Beheko aldea .....	57
Irudia 39. Demostradorearen antolamendua. Goiko aldea .....	57
Irudia 40. Saiakuntza-bankua .....	58



## Taulen aurkibidea

Taula 1. Demostradorea muntatzeko erabilitako materiala .....	5
Taula 2. Li-ioi baterien ezaugarri orokorrak [13][14] .....	9
Taula 3. Li-ioi baterien abantailak, desabantailak eta aplikazioak .....	10
Taula 4. Berun azidoko baterien ezaugarri orokorrak [15] .....	11
Taula 5. Berunezko baterien abantailak, desabantailak eta aplikazioak.....	12
Taula 6. Nikel baterien ezaugarri orokorrak [18] .....	13
Taula 7. Nikelezko baterien abantailak, desabantailak eta aplikazioak .....	14
Taula 8. NaS eta Zebra baterien ezaugarri orokorrak .....	15
Taula 9. NaS eta Zebra baterien abantailak, desabantailak eta aplikazioak .....	15
Taula 10. EDLCen ezaugarri orokorrak [28].....	17
Taula 11. EDLCen abantailak, desabantailak eta aplikazioak .....	18
Taula 12. LiCapen ezaugarri orokorrak [33][34][35] .....	19
Taula 13. LiCapen abantailak, desabantailak eta aplikazioak.....	20
Taula 14. Ziklatuko baldintzak.....	36
Taula 15. Erabilitako ESS bakoitzaren ezaugarriak.....	39
Taula 16. Neurgailuen ezaugarri orokorrak.....	43
Taula 17. VICOR PI3740-00-EVAL1 txartelaren ezaugarriak.....	51
Taula 18. Erabilitako hardwarearen kostua .....	69
Taula 19. Erabilitako softwarearen kostua.....	69
Taula 20. Maketaren elementuen kostua .....	70

## Grafikoen aurkibidea

Grafikoa 1. Egokitutako autobusaren potentzia-profila bidaia bakarrean .....	29
Grafikoa 2. Bateriaren SOCa vs. tentsioa .....	30
Grafikoa 3. SOCa vs. denbora ESS bakararekin .....	31
Grafikoa 4. EDLC eta bateriaren SOCa vs. denbora .....	34
Grafikoa 5. a) Korrontea ESS bakarrean. b) Tentsioa ESS bakarrean .....	34
Grafikoa 6. a) Korrontek HESS. b) Tentsioak HESS .....	35
Grafikoa 7. Bateriak emandako potentzia bi sistemetan .....	35
Grafikoa 8. Modeloa vs. laborategiko datuak .....	37
Grafikoa 9. 3-D grafikoa: DOD vs. C-rate vs. kapazitate-galera .....	38
Grafikoa 10. Sistemaren bizi-itxaropena .....	38
Grafikoa 11. Crowbar zirkuitua gaitzea .....	42
Grafikoa 12. Tenperatura-neurgailua .....	44
Grafikoa 13. Tentsio-neurgailuen egokitzapena .....	45
Grafikoa 14. Korronte-neurgailuen egokitzapena .....	47
Grafikoa 15. KZ-KZ bihurgailuaren portaera potentzia-eskaera ezberdinetan .....	52
Grafikoa 16. Behe-tentsioko froga .....	52
Grafikoa 17. Optoakoplagailuaren gaitzea .....	53
Grafikoa 18. Behe-paseko iragazkiaren efektua .....	54
Grafikoa 19. Frogapena. a) Korrontek HESSean. b) Tentsioak HESSean .....	60
Grafikoa 20. Frogapena. ESS bakoitzak igorritako potentzia .....	60
Grafikoa 21. Frogapena. a) Bateriaren potentzia eta KZ-KZ bihurgailuaren potentzia b) Bihurgailuaren efizientzia .....	61
Grafikoa 22. Frogapena. Erresistentziaren eragina .....	61
Grafikoa 23. Frogapena. a) $P_{\text{bateria}}$ eta $P_{\text{EDLC}}$ . b) Karga sistemaren efizientzia .....	62
Grafikoa 24. Frogapena KZ-KZ bihurgailu gabe. a) $V_{\text{Bateria}}$ . b) $V_{\text{Bateria}}$ eta $V_{\text{EDLC}}$ arteko konparaketa .....	62
Grafikoa 25. Frogapena KZ-KZ bihurgailu gabe. a) $I_{\text{Bateria}}$ . b) $I_{\text{EDLC}}$ .....	63
Grafikoa 26. Frogapena KZ-KZ bihurgailu gabe. a) $P_{\text{Bateria}}$ . b) $P_{\text{EDLC}}$ .....	63
Grafikoa 27. Bateriak igorritako potentzia KZ-KZ bihurgailua erabilia eta erabili gabe .....	64

## Terminoen zerrenda

EU	EN	ES
<b>Balbulaz erregulatutako berun-azido bateria</b>	Valve-regulated lead-acid battery (VRLA)	Batería de ácido-plomo regulada por válvula
<b>Balio efikaz</b>	Root-mean-square value (RMS)	Valor eficaz
<b>Balio-bizitza</b>	Useful life	Vida útil
<b>Bateria</b>	Battery	Batería
<b>Bateriak kudeatzeko sistema</b>	Battery Management System (BMS)	Sistema de gestión de baterías
<b>Berun-azido bateria aireztatu</b>	Vented lead-acid battery (VLA)	Batería de ácido-plomo ventilada
<b>Bizi-estimazio</b>	Life estimation	Estimación de vida
<b>Bizi-ziklo</b>	Life cycle	Ciclo de vida
<b>Crowbar zirkuitu</b>	Crowbar circuit	Circuito crowbar
<b>Degradazio-kurba</b>	Degradation curve	Curva de degradación
<b>Demostradore</b>	Demonstrator	Demostrador
<b>Deskargaren sakonera</b>	Depth of Discharge (DOD)	Profundidad de descarga
<b>Diodo</b>	Diode	Diodo
<b>Elikatze-sistema etengabe</b>	Uninterruptible power supply (UPS)	Sistema de alimentación ininterrumpida
<b>Energia biltegitzeko sistema</b>	Energy Storage System (ESS)	Sistema de almacenamiento de energía
<b>Energia biltegitzeko sistema hibrido</b>	Hybrid Energy Storage System (HESS)	Sistema de almacenamiento de energía híbrido
<b>Energia-iturri</b>	Source of Energy	Fuente de energía
<b>Errelea</b>	Relay	Relé
<b>Erresistentzia</b>	Resistor	Resistencia
<b>Freno birsortzaile</b>	Regenerative brake	Freno regenerativo
<b>Gailu elektronikoko eramangarri</b>	Portable electronic device	Dispositivo electrónico portátil
<b>Gainkargaren kontrako babes</b>	Overcurrent protection	Protección de sobrecarga
<b>Gaintentsioaren eta azpitentsioaren kontrako babes</b>	Overvoltage & undervoltage protection	Protección de sobretensión/subtensión
<b>Gehiegizko tenperaturaren kontrako babes</b>	Overtemperature protection	Protección de sobretemperatura
<b>Geruza bikoitzeko kondentsadore elektrokimiko</b>	Electric Double-Layer Capacitor (EDLC)	Condensador eléctrico de doble capa
<b>Ibilgailu elektriko</b>	Electric Vehicle	Vehículo eléctrico
<b>Kapazitantzia</b>	Capacitance	Capacitancia
<b>Kapazitate</b>	Capacity	Capacidad
<b>Kapazitate parasito</b>	Parasitic capacity	Capacidad parásita
<b>Kargaren egoera</b>	State of Charge (SOC)	Estado de carga
<b>Kondentsadore</b>	Capacitor	Condensador

<b>Kontsumo-elektronika</b>	Consumer electronics	Electrónica de consumo
<b>Korrente</b>	Current	Corriente
<b>KZ-bus</b>	DC-bus	Bus-CC
<b>KZ-KZ bihurtailu</b>	DC to DC converter	Convertidor CC-CC
<b>Lan-ziklo</b>	Duty cycle	Ciclo de trabajo
<b>Laplace-ren transformatu</b>	Laplace transform	Transformada de Laplace
<b>Mikrokontrolagailu</b>	Microcontroller	Microcontrolador
<b>Nagusi-morroi topologia</b>	Master/slave topology	Topología maestro-esclavo
<b>Neurgailu</b>	Measuring Device	Aparato de medida/Medidor
<b>Optoakoplailu</b>	Optocoupler	Optoacoplador
<b>Potentzia</b>	Power	Potencia
<b>Potentzia izendatu</b>	Rated power	Potencia nominal
<b>Puntako korrante</b>	Peak current	Corriente pico
<b>Simulazio</b>	Simulation	Simulación
<b>Sorkuntza berriztagarri</b>	Renewable generation	Generación renovable
<b>Tentsio</b>	Voltage	Tensión
<b>Tentsio-gorabehera</b>	Voltage fluctuation	Fluctuación de tensión
<b>Zelula</b>	Cell	Celda

## 1. Sarrera

Berotze globala dela eta, berotegi-efektuko gasen igorpena murrizteko beharra sortu da azken urteetan [1]. Mundu osoan zehar igortzen diren berotegi-efektuko gasen % 14 garraioaren sektorean egiten dira [2], eta balio hori 2030ean % 50 izatea espero da [3].

Berotegi-efektuko gasen igorpena murrizteko, Europar Batasunak beharrezkotzat jotzen du berotegi-efektuko gas gutxi igortzen dituzten mugikortasun-ibilgailuak erabiltzea. Horretarako, lehentasunezko hiru arlo identifikatu ditu [4]:

- Garraio-sistemaren efizientzia areagotzea, teknologia digitalei etekinik handiena ateratzearen, prezio adimendunen eta gutxiago igortzen duten garraiobideak erabiltzea are gehiago sustatzearen bidez.
- Gutxi igortzen duten ordezeko energiak sustatzea: bioerregai aurreratuek, elektrizitatea, hidrogenoa eta erregai sintetiko berriztagarriak erabiltzea, adibidez, eta garraioa elektrifikatzeak dakartzan oztopoak ezabatzea.
- Ezer igortzen ez duten ibilgailuak lortzeko lan egiten jarraitzea. Barne-errekuntzako motorretan hobekuntza beharrezkoa bada ere, Europak gutxi igortzen duten eta ezer igortzen ez duten ibilgailuetarako aldaketa azkartu behar du.

Bestalde, erregai fosilen prezioak igo direnez, ibilgailu elektrikoek ekoizpenaren garapen-erritmoa bizkortu da [5]. Hori dela eta, ibilgailu elektrikoa anbizio handiko ametsa izatetik, eguneroko bizitzan errealitate bilakatu da.

Hala ere, egun, ibilgailu elektrikoek oro har hainbat desabantaila dituzte errekuntzako motorra erabiltzen duten ibilgailuen aldean. Horien artean: autonomia murriztua, karga-denbora luzea eta energia biltegitratzeko sistemak duen kostu handia [6]. Ibilgailu elektrikoek erronkarik handienak efizientzia altua lortzea, biltegitratze-sistemen bolumena murriztea eta sistema osoaren prezioa txikitzea dira [7].

Ibilgailu elektrikoek duten energia- eta potentzia-eskaera altua dela eta, biltegitratze-sistemak parametro batean edo bestean gairik gabe diren dira. Hori ekiditeko, energia biltegitratze sistema hibrido (HESS, *Hybrid Energy Storage System*) bat erabiltzea proposatu da lan honetan. Gainera, HESSa simulatu eta muntatu da, bai eta haren portaera aztertu ere.

### 1.1. Proiektuaren helburuak eta plangintza

Beraz, proiektu honen helburu nagusia hau da: geruza bikoitzeko kapazitate elektrokimikoak (EDLC, *Electric Double-layer Capacitor*) eta Li-ioi bateriak konbinatzea posible ote den aztertzea eta konbinatzeko era egokiena bilatzea. Helburu hori lortze aldera, bigarren mailako helburuak finkatu dira. Hasteko, biltegitratze-sistemen zein HESSen egungo egoera aztertzea. Jarraian, simulazioak egitea, HESSak dituen abantailak eta espero daitekeen portaera ikusteko. Azkenik, simulazioan ikusitakoa errealitatean berdina den ikusteko, maketa bat garatzea eta frogatzea beharrezkoa izan da.

Aipatutako helburu nagusia zein bigarren mailako helburuak lortzeko, jarraian ikus daitezkeen faseak jarraitu dira:

Otsaila-Martxoa: HESSa burutzeko egungo egoera aztertu da. Hasteko, hainbat energia biltegitratzeko sistema (ESS, *Energy Storage System*) aztertu dira, eta, HESSa egiteko zenbait irizpide jarraituz, bi proposenak aukeratu dira. Jarraian, HESS topologia nagusiak aztertu dira, eta, kostua, abantailak, desabantailak eta konplexutasuna kontuan hartuta, topologia aukeratu da.

Martxoa-Apirila: sistemaren simulazioa egin da. Simulazio hori autobus baten potentzia-profil bat erabiliz gauzatu da. Simulazioaren bitartez, geroago eraiki den demostradorea egiteko biltegitratze-sistemen dimentsionamendua egin da. Horrekin batera, Li-ioi bateriak bakarrik erabiltzen dituen sistema HESS batekin alderatu da. Gainera, Li-ioi baterien bizi-estimazioaren modelo bat eraiki da. Era honetan, bi sistemek dituzten abantailak, desabantailak, portaera, ESSen bizi-estimazioa eta kostua alderatu dira.

Apirila-Ekaina: demostradore bat eraiki da. Demonstradore hori muntatzeko behar den osagaien aukeraketa, osagaion muntaketa eta banakako portaera aztertu dira. Sistema hainbat sentsorez eta segurtasun-gailuz hornitu behar izan da, egoki eta segurtasunez funtziona zezan. Besteak beste, tentsio- eta korrante-neurgailuak, erreleak eta optoakoplagailuak erabili dira.

Ekaina-Uztaila: muntatutako zirkuitu eta osagai guztiak bateratu dira eta modu mailakatuan frogatu dira dena egoki muntatuta dagoela ikusteko. Behin denak behar bezala funtzionatzen duela ikusita, sistema bere osotasunean frogatu da, eta hainbat emaitza atera dira.

Uztaila: egindako lan guztiaren zenbait ondorio atera dira; alegia, garatutako produktuarekin ikasitakoaren eta lortutako emaitzen balorazioa egin da. Ondoren, egindako praktiken balorazioa egin da. Bukatzeko, egindako lanak izan ditzakeen etorkizunerako ildoak edo aurrera begirakoak adierazi dira.

Otsaila-Uztaila: proiektuaren dokumentazioa idatzi da.

	Otsaila		Martxoa				Apirila					Maiatza				Ekaina				Uztaila	
	19	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9
<b>1. HESSaren egungo egoeraren azterketa</b>																					
- ESSen azterketa eta hautaketa																					
- HESS topologiaren azterketa eta hautaketa																					
<b>2.- HESS sistemaren simulazioa</b>																					
- Biltegitratze-sistemen dimentsionamendua																					
- Li-ioi bateriadun sistema vs HESSa duen sistema - Alderaketa																					
- Li-ioi baterien bizi-estimazioaren ereduaren eraiki																					
<b>3.- Demostradorearen gauzapena</b>																					
- Osagaien aukeraketa																					
- Osagaien muntaketa																					
- Banako frogapena																					
<b>4.- Sistemaren integrazioa eta saiakuntzak</b>																					
- Sistemaren integrazioa																					
- Sistemaren frogapena era mailakatuan																					
- Saiakuntzak eta emaitzak lortzea																					
- Ondorioak eta etokizunerako ildoak atera																					
<b>5.- Proiektuaren dokumentazioa</b>																					

Irudia 1. Proiektuaren plangintza

## 1.2. Baldintzen plegua

Jarraian, proiektuaren beharrak, proiektu honetan espero direnak eta mugak jasotzen dituen baldintzen plegua aurkezten da.

Aurretik aipatu den bezala, proiektu honen helburua HESS bat garatzea eta aztertzea da. Garatutako produktua 1 kW-eko puntako potentzia emateko pentsatua dago eta 500 Wh-ko energia du. Horretarako, seriean konektatutako 10 EDLC erabiltzen dira, guztira 28 V eginez. Bestalde, energia-beharra asetzeko 12,8 V izendatu duen bateria erabili da. Bi energia biltegitratzeko sistemen artean KZ-KZ bihurgailua erabili da, 90 W-eko potentzia izendatua duena. Garatutako produktuari segurtasunerako gailuak eta neurgailuak txertatu zaizkio fidagarritasuna eta kontrola hobetzeko.

HESSa egiteko eta bere funtzionamendua aztertzeko, Ikerlanek dituen zenbait baliabide erabili behar izan dira. Jarraian datozen lerroetan jaso dira baliabideok. Lehenik eta behin, hona hemen erabili den hardwarea:

- Kamera klimatikoa
- Digatroia
- Osziloskopioa
- Cadex
- KZ iturria
- Ordenagailua eta pantaila
- Soldagailua
- Polimetroa
- Katigatzeko erreminta
- Dremela

Jarraian, erabilitako softwarea:

- Lithium Balance PC Toolbox
- Matlab + Simulink
- Office
- LTSpice
- ProfiCAD
- Battery Lab (CADEX)
- BTS600

Azkenik, taulan (Taula 1) demostradorea muntatzeko erabili den materiala zerrendatu da:



Taula 1. Demostradorea muntatzeko erabilitako materiala

Gailua	Erreferentzia
Bateria	Valence u1-12xp
BMSa	BMS Lithium Balance
KZ-KZ bihurgailua	PI3740-00-EVAL1
EDLCa	LSMtron LSUC 2.8 V
Tentsio-neurgailua	LV 25-P
Mikrokontrolagailua	Arduino Due
Neurgailuak elikatzeke KZ-KZ bihurgailua	TMR-6-1223
Anplifikadore operazionala	OP491GPZ
Korronte-neurgailua	HY 20-P
PCBa	RE200-LF
Errelea	DG85C-7011-75-1012
Anplifikadore operazionala elikatzeke KZ-KZ bihurgailua	TRN 1-1210
Diodoa	MBR7030WTG
Temperatura-neurgailua	TMP36GT9Z
Fusiblea 80 A	498080
Shottky diodoa	MBR1660
MOSFETa	2N7000BU
Boltaje-erreferentzia	LM431ACZX
MOSFETa	RFP50N06
Zener diodoa	DO-41 (DO-204AL)
<b>Beste batzuk (torlojuak, azkoinak, erresistentziak...)</b>	

Demostradore osoa muntatu ahal izateko, hura osatzen duten azpiatalak banaka frogatu behar izan dira. Jarraian, banaka-banaka osagai bakoitzari egindako frogak deskribatzen dira, horiek burutzeko ezarritako baldintzak eta espero diren gutxieneko emaitzak barne.

KZ-KZ bihurgailuari hainbat froga egin zaizkio. Froga horien bidez, KZ-KZ bihurgailuak egoki funtzionatzen duela egiaztatu nahi da. Horretarako, lehenik eta behin, sarreran 12 V ezarri eta irteeran 24 V ematen dituela ikusi da funtzionatzeko behar duen potentzia minimoarekin. Gutxika potentzia igotzen joan zaio, harik eta potentzia izendatura iritsi arte. Orduan, sarrerako tentsioa aldatuz, irteerako tentsioa beti 24 V-etan mantentzen dela egiaztatu da. Baldintza normaletan ondo funtzionatzen duela ikusita, babes-neurriak frogatu dira. Froga horien bitartez ikusi da produktuaren datu-fitxan deskribatzen diren segurtasun-neurriek egoki funtzionatzen dutela. Horrekin batera, KZ-KZ bihurgailua Arduinotik isolatzeko erabili den optoakoplagailua frogatu da. Optoakoplagailu horrek KZ-KZ bihurgailuak gaitzeko behar duen seinalea, Arduinotik emango dena, Arduinotik bereizteko balio du.

Sistema osoari hainbat segurtasun-zirkuitu ezarri zaizkio. Diseinatutako segurtasun-zirkuitu horiek egoki funtzionatzen dutela ziurtatzeko ondorengo froga hauek egin zaizkie. Crowbar zirkuituari erresistentzia nagusia deskonektatuz, gainerako zirkuituak espero

bezala funtzionatzen duela egiaztatu da. Ondoren, erresistentzia gehituz, tentsioa eta potentzia igotzen joan zaio, harik eta potentzia eta tentsio nominalera iritsi arte.

Bestalde, erreleak erabili dira, bateriak edo EDLC multzoak beren mugetatik kanpo ateratzen badira, segituan deskonekta daitezten. Beraz, diseinatutako zirkuitua egokia dela frogatzeko, MOSFETaren atean 3,3 V ezarri dira eta zirkuituak espero den portaera erakusten duela ikusi da.

Beharrezkoa da, halaber, sisteman neurketak egitea, hala nola, tentsioa, korrontea eta tenperatura. Neurgailuei egokitzapen-zirkuitua egin behar izan zaie Arduinoa babesteko. Beraz, neurgailuak eta beren egokitzapen-zirkuituak batera frogatu dira. Froga horietan ikusienez, tentsioa, korrontea edo tenperatura gorabehera, egokitzapen-zirkuituaren irteeran ez da inoiz 3,3 V baino gehiago egongo.

Azkenik, EDLC multzoak duen BMSa frogatu da. BMSa EDLC multzoa osatzen duten zelulak egoki orekatuta daudela ziurtatzeko erabili da. Beraz, BMSak duen softwarearen bitartez, BMSa programatuz eta ordenagailua erabiliz, zelulak egoki orekatzen dituela ikusi da.

## 2. Egungo egoera

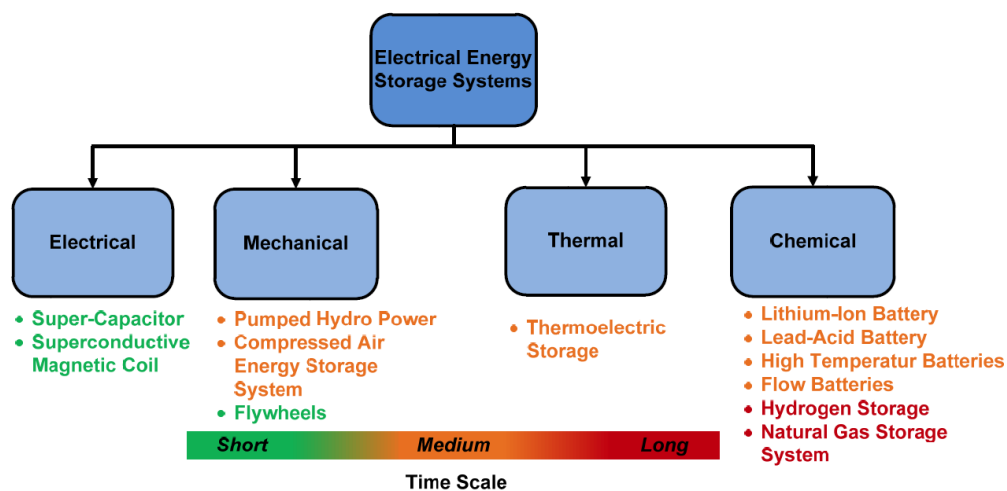
Atal honetan, biltegitratze-sistemak aztertuko eta sistema egiteko erabiliko diren bi biltegitratze-sistemak aukeratuko dira. Jarraian, HESS topologiak aztertuko eta aproposena aukeratuko da.

### 2.1. Biltegitratze-sistemak

Hurrengo lerroetan, honako hauek dira aztergai: energia biltegitratzeko teknologia, horien arteko alderaketa eta sistema horien aplikazioak. Hurrengo irudian (Irudia 2) ikus daitekeen bezala, energia biltegitratzeko sistemak lau taldetan sailka daitezke, zer teknologia erabiltzen duten:

- i) Biltegitratze elektrikoa: energia era elektrikoan biltegitratzea kondentsadoreetan edo EDLC erako gailuetan.
- ii) Biltegitratze mekanikoa: energia aire konprimatu bezala biltegitratzea malgukietan, metagailu hidraulikoetan edo tankerako sistemetan.
- iii) Biltegitratze termikoa: energia bero eran biltegitratzea; horren adibide da biltegitratze termoelektrikoa.
- iv) Biltegitratze kimikoa: energia era kimikoan biltegitratzea; adibidez, baterietan, piletan eta erregai-piletan.

Irudian erabilitako kolore-kodeak energia biltegitratzeko sistema bakoitza irteerako potentzia bera zenbat denboraz mantentzeko gai adierazten du.



Irudia 2. Energia biltegitratzeko sistemen alderaketa [8]

Aplikazioak bi talde nagusitan sailka daitezke: aplikazio egonkorak edo garraiorako aplikazioak. Lehenengo taldeak biltegitratze-sistema leku batean finko kokatzen duten aplikazio guztiak barne hartzen ditu, besteak beste, sorkuntza berriztagarrietako parkeetan instalatutako sistemak, sorkuntza berriztagarria duten etxebizitzetako elikatze-sistema etengabea (UPS, *Uninterruptible power supply*). Sorkuntza berriztagarrietan erabilitako aplikazio egonkorreko sistemen abantaila nagusietako bat da, sorkuntza-sarearen beharrak

betetzeko gai ez direnean, faktore meteorologikoak direla medio, baterietan biltegitratutako energia-beharrak asetzeko erabiltzea honen abantaila nagusietako bat da. Gaur egun, energia fotovoltaikoa energia eolikoarekin konbinatzen da; izan ere, normalean, fotovoltaikoan sorkuntza asko ez dagoen egunetan, eolikoan egoten da, edo alderantziz.

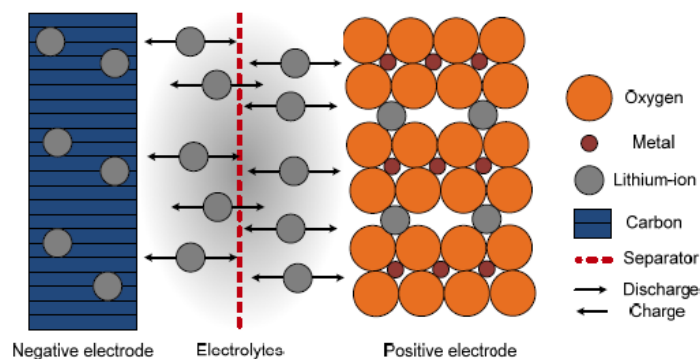
Bestalde, bigarren taldeak biltegitratze-sistema instalatuta dagoen gailuarekin edo makinarekin batera higitzen diren aplikazio guztiak barne hartzen ditu; hau da, biltegitratze-sistema higitzailean ontziratuta dagoenean. Adibide ezagunena ibilgailu elektrikoa da; esate baterako: autoa, trena, autobusa eta orga jasotzailea.

Aurretik aipatu bezala, energia elektrikoa hainbat eratan biltegitra daiteke. Horietako bat sistema kimikoak dira. Horien barruan, Li-ioi bateriak, berunezko bateriak, nikelzko bateriak eta NaS eta Zebra bateriak aztertu dira, bai eta biltegitratze elektrikokoak, EDLCak eta LiCapak ere.

### 2.1.1 Li-ioi bateriak

Litiozko bateriak litiatuta dagoen metal oxidaturiko elektrodo positiboz eta laminatutako karbono grafitozko edo litio titanatuzko elektrodo negatiboz osatuak daude. Elektrolito erabiliena karbonatatu organikoetan disolbatutako aluminio gatzez osaturikoa da. Kargak irauten duen bitartean, litio ioiak elektrodo positibotik negatibora higitzen dira [9].

Azken urteetan, Li-ioi bateria energia biltegitratzeko teknologia garrantzitsuentzat jo da, erabilera askoko teknologia delako. Potentzia eta energia espezifiko egokiak ditu aplikazio askotan erabili ahal izateko, eta azken urteetan prezioak behera egin du [10].



Irudia 3. Li-ioi bateriaren karga eta deskarga [11]

Litiozko bateriek ez dute ia mantenurik behar. Abantaila hori ezin eskain dezakete beste bateria-teknologia batzuek, esaterako, berunak. EDLCak eta LiCapak bezala, ez dute memoria-efekturik [12].

Litiozko baterien artean hainbat teknologia daude; horien arteko alderaketa taula honetan (Taula 2) jaso da.

Taula 2. Li-ioi baterien ezaugarri orokorrak [13][14]

<b>Li-ioia</b>	<b>LFP</b>	<b>LCO</b>	<b>LMO</b>	<b>NMC</b>	<b>NCA</b>	<b>LTO</b>
Katodoa	LFP	LCO	LMO	NMC	NCA	LMO
Anodoa	C	C	C	C	C	LTO
Energia espezifikoa (Wh/kg)	60-130	150-240	100-150	144-220	175-260	70-86
Energia bolumetrikoa (Wh/L)	180-220	320-500	290-340	300-580	480-670	177
Potentzia espezifikoa (W/kg)	200-1.000	150-200	100-1.500	150-440	200-260	700-800
Efizientzia energetikoa (%)	85-95	> 95	> 95	> 95	> 95	98
Erabilera-tenperatura (°C)	(-30)-60	(-20)-60	(-30)-60	(-20)-60	(-20)-60	(-30)-60
Bizi-zikloak % 80 DOD	1.000-8.000	300-1.000	300-700	1.000-2.000	500	3.000-15.000
Balio-bizitza (urteak)	10	> 5	> 5	> 5	> 5	10
Energiaren kostua (€/kWh)	300-1.000	550	725	415	490	1.100
Autodeskarga (%-a hilean)	1	1	1	1	1	1

Kimika bakoitzak abantaila eta desabantailak dituen arren, kimika guztiek edo gehienek partekatzen dituztenak ere badira. Abantailek eta desabantailek bateria horiek aplikazioetan erabilgarriak izatea ahalbideratzen dute, hurrengo taulan (Taula 3) ikus daitekeen bezala.

Lehenik eta behin, litiozko bateriak ibilgailu elektrikoetan egon daitezke: auto txikietan, bizikleta elektrikoetan, motor elektrikoetan, golfeko autoetan zein ibilgailu elektriko ertain eta handietan. Aurretik aipatu bezala, hibridazioan aurki daitezke EDLCekin, edo biltegitratze-sistema bakar bezala tren eta autobus elektrikoetan. Batería mota horiek abiazioan zein itsas aplikazioetan ezartzeko lehenengo urratsak eman dira, hartara sistema % 100 elektriko egiteko. Puntako potentzia txikia eta energia asko behar duten aplikazioetan erabiltzeko interesgarriak dira, beren energia-dentsitate altua dela eta.

Bigarrenik, asko erabiltzen da kontsumo-elektronikan. Hainbat tamainako eta formako bateriak daude, aplikazioa zein den: ordenagailu eramangarriak, telefono mugikorrek, tabletak, eta abar. Teknologia hau erabiltzearen arrazoia aurretik aipatutako kasuaren berbera da; alegia, dentsitate altua. Aplikazio hauetan oso garrantzitsua da gailua ahalik eta txikiena izatea, eta dentsitate altuko ESSa behar da.

Azkenik, sareko aplikazioetan ere erabiltzen dira Li-ioi bateriak. Sarearen maiztasuna erregulatzeko erabiltzen dira, berriztagarrietatik lortutako energiaren kalitatea hobetzeko (*Renewable Value Enhancement*), UPS bezala eta etxerako ESS bezala, erabilera batzuk aipatzearen. Teknologia hau interesgarriena da, halaber, ordenagailu eramangarrietan, telefono mugikorretan eta gailu elektrikoetan zein elektronikoetan erabiltzeko. Izan ere, abantaila ugari ditu. Energia-dentsitate altua dute, hau da, masa unitateko karga gehiago biltegitratzen dute. Arinak dira, alegia, energia kopuru bera biltegitratzeko behar duen pisua eta

bolumena NiMH, NiCd zein berunezko bateriena baino txikiagoa da. Zelulako tentsio altua dute, NiMH edo NiCd-ko hiru zelulak ematen duten tentsioaren berdintsua. Deskarga lineala da, deskargak irauten duen bitartean. Azkenik, autodeskarga baxua dute; atsedendian dauden bateriek deskarga jarraitua jasango dute.

Taula 3. Li-ioi baterien abantailak, desabantailak eta aplikazioak

Abantailak	Desabantailak
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energia-dentsitate altua</li> <li>• Arinak</li> <li>• Tentsio altua zelulako</li> <li>• Balio-bizitza altua</li> <li>• Efizientzia altua</li> <li>• Autodeskarga baxua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berezko segurtasunik ez</li> <li>• BMSaren erabilpena beharrezkoa</li> <li>• Ekoizpen garestia</li> <li>• Gainberotu daitezke</li> <li>• Teknologia heldugabea</li> </ul>
Aplikazioak	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mugikortasun elektrikoa</li> <li>• Trenak</li> <li>• Jasotzaileak</li> <li>• Igogailuak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontsumo-elektronika</li> <li>• UPS</li> <li>• Sareko aplikazioak</li> </ul>

Nahiz eta beren abantaila ugari izan, sistema hau ez da perfektua, eta badu desabantailarik. Biltegiko bizitza baxua dute; hau da, erabili gabe gordetzen badira, biltegitratuta duten energiaren arabera gehiago edo gutxiago iraungo dute. Karga kopuru mugatua dute, hots, karga- eta deskarga-ziklo kopuru jakin bat egin dezakete. Garestiak dira, nahiz eta, egun, beren prezioa jaisten ari den merkatuan duten barneratzea dela eta —horrek, bada, merkatzea dakar—. Lehertu arte berotu daitezke, errekorak diren materialez osatuta daudelako; hori dela eta, beharrezkoa da babes-zirkuituak erabiltzea. Hotzean duten lan-gaitasuna txikiagoa da eta horrek balio-bizitza laburtzea ekar lezake. Tentsioa oso aldakorra denez, beharrezkoa izan daiteke bihurtu txiki bat erabiltzea, aplikazioaren arabera.

### 2.1.2 Berunezko bateriak

Ohikoak diren baterien artean ezagunenak dira berunezko bateriak, eta aplikazio gehienetan erabiltzen dira teknologia heldua eta zaharrenetakoa delako. Epe laburrerako edo ertainerako aplikazioetan erabili ohi dira. Mundu osoan kapazitate gehien instalatuta duen teknologia da. Berunezko bateriak erabilienak diren aplikazioen artean, bi nabarmentzen dira: sutze-sistema gisa ibilgailuetan eta UPS sistema gisa telekomunikazioetan [15].

Beruna lortzeko dauden mugak eta bere toxikotasuna direla eta, oso garrantzitsua da beruna birziklatzea. Bateria ia-ia bere osotasunean birziklatzen da eta birziklatutako materialaren ehuneko handi bat berriro erabiltzen da bateria berria muntatzeko.

Berunezko bateriak hainbat modutan sailka daitezke, eta zigilatua edo zigilatu gabe dauden begiratu ohi da. Hortaz, bateria hezea edo urpetua (VLA edo *Flooded*) edo zigilatua (VRLA, *Valve regulated lead-acid battery*) izango da.

Elektrolitoaren arabera, VRLA bateriak bi motatakoak izan daitezke: gelezkoak eta AGMzkoak (*Absorbent Glass Mat*). Gelezko zelulek elektrolitoan siliziozko hautsa dute gehitua, gel-geruza lodi bat sortuz. Horregatik, siliziozko pila ere deitzen zaie. AGM bateriek beira-zuntzeko sare moduko bat dute bateriaren plaken artean, elektrolitoa eusteko balio duena. Bateria mota hau besteak baino garestiagoa da; horra hor desabantaila bat. Gainera, elektrodoen osaera bateriaren aplikazioaren araberakoa izango da. Ezaugarrien laburpena hurrengo taulan (Taula 4) jaso da.

Taula 4. Berun azidoko baterien ezaugarri orokorrak [15]

Berun azidoa	VLA	VRLA
Energia espezifikoa (Wh/kg)	30-50	30-40
Energia bolumetrikoa (Wh/L)	60-110	80-100
Potentzia espezifikoa (W/kg)	150-200	140-300
Efizientzia energetikoa (%)	75-80	80-85
Erabilera-tenperatura (°C)	(-20)-45	(-20)-40
Bizi-zikloak % 80 DOD	500-1500	300-1000
Balio-bizitza (urteak)	3-6	1.5-5
Energiaren kostua (€/kWh)	60-250	150
Autodeskarga (%-a hilean)	5	3-20

Bateria hauek autoak, trenak, kamioiak, autobusak, eta abar abiarazteko erabiltzen dira, bai eta alternadorea energia nahiko emateko gai ez den kasuetan ere. Trakzioko bateria gisa erabiltzea baztertuta dago ibilgailu elektrikoetan, beren pisua eta duten energia bolumetrikoko txikia dela eta. Ostera, helburu horrekin erabiltzen dira orga jasotzailetan, bateriak kontrapisu bezala erabiltzen dira eta. Gaur egun, bateria hauen ordez Li-ioi bateriak erabiltzen dira, ezaugarri hobekak dituztelako.

UPS sistemetan zein beste sistema egonkorretan erabiltzen dira. Horien artean, saretik at dauden sistemetan erabiltzen dira, eguzki-instalazioetan ziklatze-bateria gisa, edo etxerako bateria gisa puntako kontsumoak murrizteko zein erreserbako bateriak bezala.

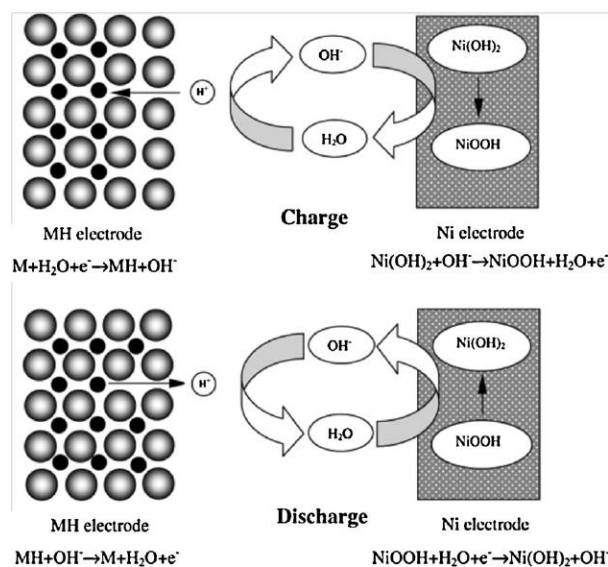
Taula 5. Berunezko baterien abantailak, desabantailak eta aplikazioak

Abantailak	Desabantailak
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merkeak eta ekoizteko errazak</li> <li>• Autodeskarga baxua</li> <li>• BMSren beharrik ez</li> <li>• Teknologia heldua</li> <li>• Segurua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energia espezifiko baxua</li> <li>• Karga mantsoa, 14-16 ordu</li> <li>• Ziklabilitate txikia</li> <li>• Kargatuta biltegitatu behar dira</li> <li>• Deskarga sakonak eginez gero, bizitza txikiagotzen da</li> <li>• Kutsatzaileak</li> </ul>
Aplikazioak	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abiarazte-bateria</li> <li>• Orga jasotzailea</li> <li>• UPS</li> <li>• Larrialdiko argiztapena</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sareko aplikazioak:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Time-shift</i></li> <li>- <i>Transmission &amp; distribution</i></li> <li>- <i>Power quality</i></li> </ul> </li> </ul>

### 2.1.3 Nikelezko bateriak

Urte askotan, nikelezko bateriak erabilienak izan dira ekipamendu medikoetan, kontsumo-elektronikan, bideokamera profesioaletan eta potentziako tresnetan. Bateria hauek duten arazo handiena memoria-efektua da; hortaz, guztiz deskargatzen ez badira, kapazitatea galduko dute [16].

Nikelezko baterien tentsio izendatua 1,2 V da; merkatuan dauden zelulako tentsio baxuenetarikoa dira, bada. Hala eta guztiz ere, kontsumo-elektronikan asko erabiltzen dira eta, horregatik, gailu askotan daude: teklatueta, saguetan, urrutiko kontroletan eta esku-argietan, batzuk aipatzearren.



Irudia 4. NiMH zelula baten karga- eta deskarga-prozesua [17]



Kimikaren arabera, lau nikel-bateria daude: NiMH, NiCd, NiFe eta NiZn. Li-oiarekin gertatzen den bezala, bateria bakoitza ezberdina da, eta ezaugarri ezberdinak eskaintzen ditu, hurrengo taulan (Taula 6) ikus daitekeen bezala.

Taula 6. Nikel baterien ezaugarri orokorrak [18]

<b>Nikela</b>	<b>NiMH</b>	<b>NiCd</b>	<b>NiFe</b>	<b>NiZn</b>
Katodoa	Hidruro metalikoa	Kadmioa	Burdina	Zinka
Anodoa	Nikel oxihidroxidoa	Nikel oxihidroxidoa	Nikel oxihidroxidoa	Nikel oxihidroxidoa
Energia espezifiko (Wh/kg)	30-90	25-50	27-60	15-110
Energia bolumetrikoa (Wh/L)	40-300	50-150	25-80	80-400
Potentzia espezifiko (W/kg)	8-588	120-500	21-110	50-900
Efizientzia energetikoa (%)	58-80	70-90	65-80	80-89
Erabilera-tenperatura (°C)	0-45	(-40)-50	-	(-20)-50
Bizi-zikloak % 80 DOD	300-3000	800-2000	1000-8500	100-500
Balio-bizitza (urteak)	2-15	10-20	8-10	1-10
Energiaren kostua (€/kWh)	200-700	400-700	400-1300	250-660
Autodeskarga (%-a hilean)	15-25	5-20	0,36-1,43 (egun)	<20

Aipatutako mota guztien artean, erabilienak eta ezagunenak NiMH eta NiCd motakoak dira. Hona hemen abantaila nagusietako batzuk: NiMH bateriek karga-dentsitate handiagoa dute, ez dute kadmiorik —toxikoa da— eta itxuraz ez dute gaitasunik galtzen oker erabiliz gero. Desabantailarik ere badute, tartean: barne-erresistentzia altuagoa dutenez, erabilera mugatzen da potentzia handiko aplikazioetan. Ez dute, gainera, NiCd-ek eskaintzen dutena bezalako karga azkarra jasateko aukerarik —hondatzeko arrisku txikia du horrek—. NiMH baterietan erabiltzen diren materialak beroarekiko sentikorrek dira, gainberoketak barne-gasak eta gainpresioak sor ditzake, elektrolitoaren jariora eta iragazgaitasunean galerak izateko aukera sortuz, zelularen balio-bizitza txikiagotuz. NiMH baterietan zailagoa da bateria guztiz kargatua noiz dagoen detektatzea; hori dela eta, teknologia mota espezifiko horretarako kargagailu bereziak erabiltzea gomendatzen da, gainberotzea saihesteko [19].

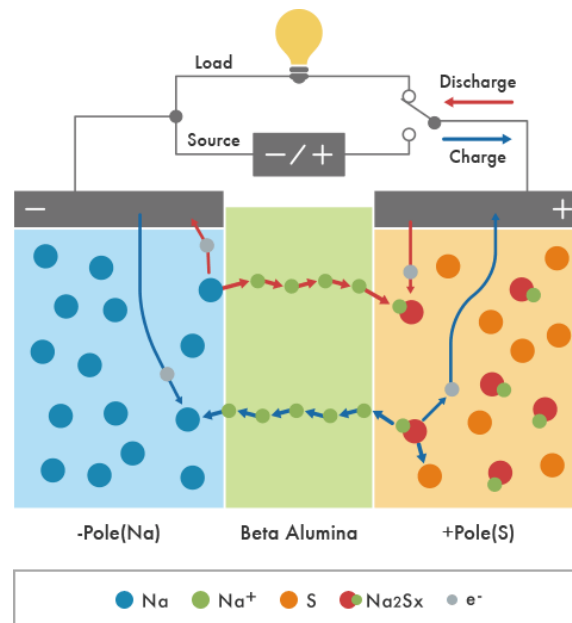
Aurretik aipatu bezala, kontsumo-elektronikan aplikatzen dira bateria hauek batik bat. Pila alkalino (AA, AAA, 9 V) gisa ezagutzen dira, eta aipatutako gailuetan erabiltzen dira. Nikelezko bateriak ibilgailu elektrikoetan ere erabiltzen dira; horren adibide da Toyota Priusa, NiMH bateriadun auto hibridoa [20]. Bestalde, zenbait trenak ontziratuta daramatzate NiFe bateriak. Azkenik, haize-sorgailuetan eta sorkuntza fotovoltaikoan erabiltzen dira, UPS eta *backup* sistema bezala, eta telekomunikazioetan igorritako edo jasotako energiaren kalitatea hobetzeko.

Taula 7. Nikelezko baterien abantailak, desabantailak eta aplikazioak

Abantailak	Desabantailak
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iraunkorrak</li> <li>• Ziklabiltate (mantenu aproposarekin)</li> <li>• Biltegitate eta garraio erraza</li> <li>• Tenperatura baxuetan errendimendu ona</li> <li>• Erabilpena tenperatura-tarte zabalean</li> <li>• Gainkarga onartzen du</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energia-dentsitate baxua</li> <li>• Memoria-efektua</li> <li>• Autodeskarga altua</li> <li>• Zelulak tentsio baxua, 1,2 V</li> </ul>
Aplikazioak	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ekipamendu medikoetan</li> <li>• Kontsumo-elektronikan</li> <li>• UPS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sareko aplikazioak: <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Time-shift</i></li> <li>- <i>Transmission &amp; distribution</i></li> </ul> </li> </ul>

### 2.1.4 NaS eta Zebra bateriak

Bi baterien elektrolitoa egoera solidoan dago, egoera likidoan egon beharrean, gainerako bateria-teknologia gehienak bezala. Beharrezkoa da, ondorioz, bateriak 100 °C eta 270 °C artean egotea funtzionatzeko. Tenperatura-tarte horretatik behera, ezinezkoa da bateria kargatzea edo deskargatzea eta, gainera, elektrolito zeramikoan pitzadurak sortzeko arriskua dago [21]. Bateriak biltegitatuta duen energia erabiltzen du erabilera-tenperaturan mantentzeko, eta isolamendu egokia beharrezkoa da beti.



Irudia 5. NaS zelula baten karga- eta deskarga-prozesua

Zebra bateriak era mugatua ekoizten dira Suitzan, ibilgailu elektrikoetarako. MES-DEA konpainiak bakarrik ekoizten ditu, 1999an teknologia hau ekoizteko eskubideak AEGri erosi zizkionetik [22].

Bestalde, NaS baterien inguruan hainbat kezka egon dira, sistema batzuek su hartu dutelako. Ondorioz, produkzioa eten egin da. Oraingo ardura nagusia arazoa identifikatzea eta konponbidea aurkitzea da. [23][24]

Taula 8. NaS eta Zebra baterien ezaugarri orokorrak

NaS eta Zebra	NaS	Zebra
Energia espezifiko (Wh/kg)	150-760	90-120
Energia bolumetrikoa (Wh/L)	150-250	183
Potentzia espezifiko (W/kg)	200	100-120
Efizientzia energetikoa (%)	72-90	90
Erabilera-tenperatura (°C)	100-150	>270
Bizi-zikloak % 80 DOD	500-10000	2500-3000
Balio-bizitza (urteak)	15-20	>12
Energiaren kostua (€/kWh)	500-700	3000
Autodeskarga (%-a hilean)	% 10/egun	-

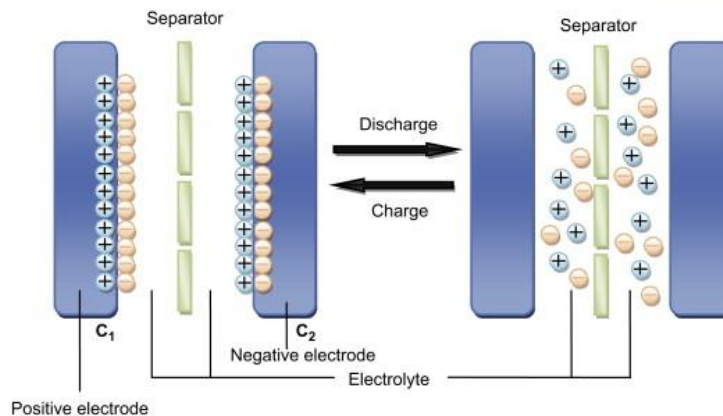
Nahiz eta bi bateriek kimika oso ezberdina izan, oso antzeko abantailak eta desabantailak dituzte. Hala ere, bakoitzaren erabilera oso bestelakoa da. Alde batetik, NaS bateriak sareko aplikazioetan erabiltzen dira, besteak beste, energia berriztagarrien integrazioan, mikro sareetan eta sorkuntzaren kudeaketan. Bestalde, Zebra bateriak auto edo autobus elektrikoetan erabiltzen dira. Horren adibide da Irizar i2e [25], % 100 elektrikoa den autobusa, Zebra eta EDLCez osatuta dagoen HESS sistema duena.

Taula 9. NaS eta Zebra baterien abantailak, desabantailak eta aplikazioak

Abantailak	Desabantailak
<ul style="list-style-type: none"> <li>Energia espezifiko altua</li> <li>Ziklabiltate altua</li> <li>Material merkeak (NaS)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Galera termiko handiak</li> <li>Autodeskarga handia</li> <li>Ekoizle bakarra teknologiko</li> </ul>
Aplikazioak	
<ul style="list-style-type: none"> <li>UPS</li> <li>Ibilgailu elektrikoak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sareko aplikazioak</li> </ul>

### 2.1.5 EDLCak

EDLC batean biltegitratutako energia elektrikoa elektrodo eta elektrolitoko ioien artean dagoen eremu elektriko estatiko batean biltegitratzen da. Anodoa eta katodoa ikatz aktibatuz osatuta daude. Kargak edo deskargak irauten duen bitartean, ioiak elektrodo batetik bestera mugitzen dira, eta sistema hori itzulgarria da. Hurrengo irudiak (Irudia 6) karga- eta deskarga-prozesua erakusten du.



Irudia 6. EDLCaren karga eta deskarga

EDLCek energia-dentsitate baxua dute, beste biltegitratze-sistema askorekin alderatuta, esate baterako, kimika ezberdinetako bateriak —berunezkoak (PbA), NiCd, Li-ioi edo erregai-pilak—. Aldiz, EDLCen potentzia-dentsitatea oso altua da, aurretik aipatutako bateria konbentzionalek dutena baino nabarmen altuagoa. Hori dela eta, aproposenak dira denbora-tarte laburrez potentzia-eskaera handia duten sistemetan erabiltzeko (trenak, igogailuak, etab.) (Irudia 6).

EDLCak medio dielektrikoko area oso fin batez bereizitako material dielektrikoz eginiko bi geruzaz osatuta daude; kondentsadoreak, aldiz, geruza bakarrez osatuta daude. Gainera, EDLCen kapazitatea kondentsadoreena baino handiagoa da; izan ere, kondentsadoreen kapazitantzia 5 pF eta 1 F artean dago; EDLC komertzialek, aldiz, 3000 F-etik gorako kapazitantziak eskaini ditzakete [26][27].

EDLCak bateriekin batera erabiltzen dira HESSetan, esaterako, autobusetan eta trenetan. HESek sistema efizienteagoa izatea eta bateriak gutxiago degradatzea dakarten hiru ezaugarri dituzte. EDLCek duten potentzia-gaitasunari eta ziklabilitateari esker, puntako potentzia altuak horiez hornitzen dira; hala, bateriaren degradazioa txikitzen da. Kasu hori azelerazioan, frenatzean edo sarearen maiztasun-erregulazioan aurki daiteke. Bestalde, sisteman bateriak gehituz, energia espezifikoaren areagotzen da, instalatutako EDLC kopurua txikiagotuz, HESS arinagoa eta trinkoagoa sortzeko aukera emanez.

Hurrengo taulan (Taula 10), EDLCen ezaugarriak ikus daitezke. Karga- zein deskarga-potentzia altua dute bereizgarri kondentsadore mota hauek, baita beren ziklabilitate altua eta efizientzia ere. Kontrarioki, energiaren kostu altua duenez, hasierako inbertsioak oso handia izan behar du. Hortaz, beren ezaugarriak kontuan izanik, ondoriozta daiteke EDLCak potentziako aplikazioetarako pentsatuta daudela, ez energiako aplikazioetarako.

Taula 10. EDLCen ezaugarri orokorrak [28]

EDLC	
Energia espezifikoa (Wh/kg)	3-20
Energia bolumetrikoa (Wh/L)	2-10
Potentzia espezifikoa (W/kg)	2.000-10.000
Efizientzia energetikoa (%)	95-100
Erabilera-tenperatura (°C)	(-40)-65
Bizi-zikloak % 80 DOD	>1.000.000
Balio-bizitza (urte)	10-20
Energiaren kostua (€/kWh)	7500-15000
Auto-deskarga (48 h-tan)	% 25

Gaur egun, bi helburu nagusirekin erabili ohi dira EDLCak ibilgailu elektrikoetan. Alde batetik, karga jasotzeko duten kapazitate handiari esker, freno birsortzailean erabiltzen dira energia metatzeko sistema gisa. Sistema mota horiek energia zinetikoa xurgatzen dute frenatzeak irauten duen bitartean eta askatu egiten dute azelerazioan; horrela, ibilgailua sistema efizienteagoa da. Bestetik, *start-stop* sistemetan erabiltzen dira; alegia, ibilgailua itzali egiten da geldirik dagoen bitartean eta berriro pizten da EDLCen bitartez [29]. Aplikazio mota honetan erabiltzen diren berunezko bateriekin alderatuta, EDLCek ziklabiltate altuagoa eta karga-abiadura handiagoa eskaintzen dute, eta, horri esker, sistemek gehiagotan funtziona dezakete, eta ibilgailuak erregai gutxiago kontsumitzen du.

EDLCen ziklatze-gaitasun handiari esker, zama handiko garraioan ere erabiltzen dira, potentzia handia behar baitute. Ordu luzez funtzionatzen duten garraio publikoei aplikatuta, EDLCak freno birsortzaile sistema bezala erabil daitezke efizientzia hobetzeko. Aldi berean, bateriekin hibridatuz gero, karga azkarra erabiltzea ahalbidetzen dute ibilbideak dituen geltokietan, erabiltzaileak ibilgailura igotzen edo hortik jaisten diren bitartean. Karga-ahalmen altua dutenez, garraio bertikalean birsortutako energia biltegitratzeko erabil daitezke; igogailuetan eta garabietan, adibidez.

Halaber, itsas aplikazioetan ere erabiltzen dira, propulsiio-sistemetan. Itsasontziek errekontza-motorra eta motor elektrikoa dituzte; motor elektrikoa erabiltzen den bitartean, errekontzakoa itzalita egongo da, eta kontsumoa eta berotegi-efektuko gasak gutxiagotuko dira. Errekuntza-motorra puntako potentzia alturik ez dagoen uneetan erabiltzen da. Bestalde, puntako potentzia altuko uneetan, motor elektrikoa erabiltzen da (portuko eragiketarako, abiatzea, frenatzea, etab.) [30][31].

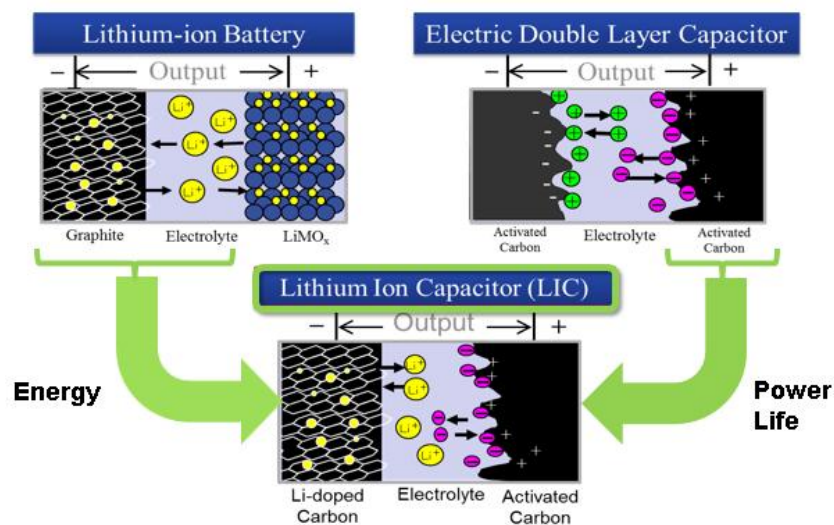
Azkenik, EDLCak hainbat sareko aplikaziotan erabiltzen dira. Lehenik eta behin, haize-sorgailuek duten *pitch* kontrol-sistema elikatzeke (palak bizkor biratzeko puntako potentzia altuak behar dira). Bigarrenik, energia berriztagarriko sistemetan, sareari egonkortasuna emateko erabiltzen dira; maiztasun-kontrolerako sistematan, adibidez. Azkenik, EDLC moduluek elikadura-kalitate ona ziurta dezakete datu-zentroetan, ekoizpen-zentroetan eta elikadura-kalitatean arazorik onar ezin dezaketen aplikazioetan.

Taula 11. EDLCen abantailak, desabantailak eta aplikazioak

Abantailak	Desabantailak
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efizientzia altua</li> <li>• Potentzia-gaitasun altua</li> <li>• Ziklabiltate bikaina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energia-dentsitate baxua</li> <li>• Energia-kostu altua</li> <li>• Autodeskarga</li> </ul>
Aplikazioak	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Start-stop</i> sistemak</li> <li>• Potentzia altuko aplikazio industrialak</li> <li>• Garraio astuna eta ziklatze altukoa</li> <li>• Pitch kontrola haize-sorgailuetan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freno birsortzailea</li> <li>• Garabiak/jasotzaileak</li> <li>• Sareko aplikazioak: <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Area regulation</i></li> <li>- <i>Power quality</i></li> <li>- <i>Peak shaving</i></li> <li>- <i>RES capacity firming</i></li> </ul> </li> </ul>

### 2.1.6 LiCap kondentsadoreak

EDLCen familiako kondentsadore hibridoak dira. Li-ioi baterietan erabiltzen den aurretik dopatutako grafitozko katodoz eta EDLCtan erabiltzen diren karbonozko katodoz osaturik daude. Hori dela eta, LiCapen EDLCek baino energia-dentsitate handiagoa dute, eta Li-ioi bateriek baino potentzia-dentsitate handiagoa.



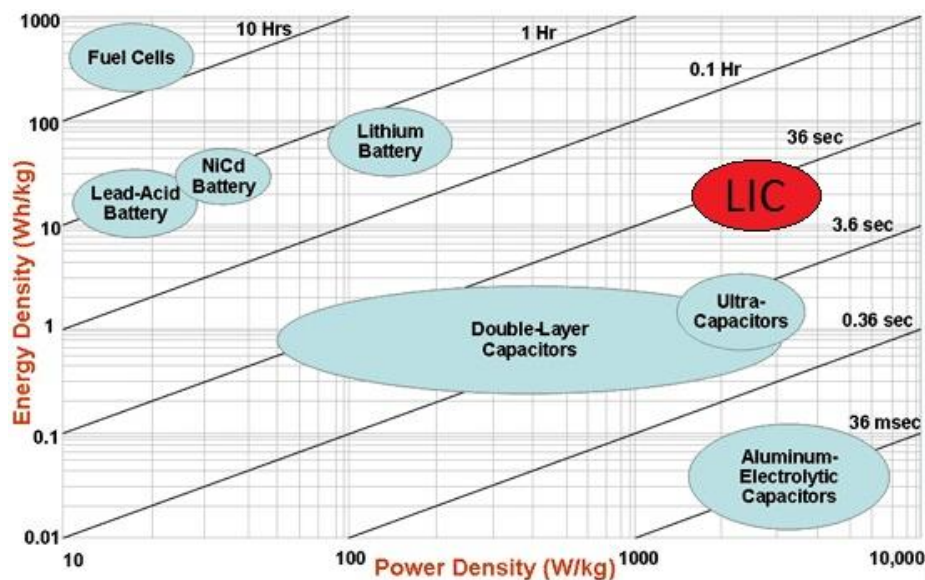
Irudia 7. LiCapen osatura [32]

EDLCekin alderatuta, ezaugarri termiko hobek ere badituzte, temperatura-tarte zabalagoan lan egin baitezakete. Li-ioi bateriekin konparatuz, segurtasun handiagoa eskaintzen dute, erabilitako materialak nekez su hartuko baitu. Halaber, EDLCek ez bezala, autodeskarga txikia dute.

Taula 12. LiCapen ezaugarri orokorrak [33][34][35]

LiCap	
Energia espezifikoa (Wh/kg)	8-28
Energia bolumetrikoa (Wh/L)	15-55
Potentzia espezifikoa (W/kg)	1.300-7.500
Efizientzia energetikoa (%)	95
Erabilera-tenperatura (°C)	(-30)-70
Bizi-zikloak % 80 DOD	>1.000.000
Balio-bizitza (urte)	> 5
Energiaren kostua (€/kWh)	7000-12000
Auto-deskarga (%/hilabete)	> 5

Hurrengo irudian (Irudia 8) LiCapen ezaugarriak grafikoki ikus daitezke. Irudian agertzen diren biltegitarte-sistema mota guztietatik, ezaugarri begiratuta hobekien kokatuta dagoena da; izan ere, bi ezaugarri (energia- eta potentzia-dentsitatea) dagokienez, balio altuenak dituena da, nahiz eta, banaka, Li-iei bateriek eta erregai-pilek energia-dentsitate handiagoa izan eta aluminiozko kondentsadore elektrolitikoek potentzia-dentsitate handiagoa izan. Atzeman daiteke EDLCek baino prestazio hobekak dituztela, hortaz, puntako potentzia altuak denbora-tarte txikietan behar dituzten aplikazioetan erabil daitezke. EDLCek baino energia-dentsitate handiagoa dutenez, sistema zehatz batean, EDLCak baino LiCap gutxiago beharko lirateke, eta horrek kostuak murriztea ekar lezake.



Irudia 8. Energia-dentsitatea potentzia-dentsitatearen arabera

LiCapak erabil daitezkeen aplikazioei begira, proposak dira HESS sistemetan erabiltzeko bateriekin batera. EDLCekin gertatzen den bezala, LiCapak izango dira puntako potentzia emango dutenak, bateriek jasaten duten degradazioa murriztuz eta, ondorioz, baterien balio-bizitza handituz.

EDLCen kasuan aipatu bezala, biak potentzia-dentsitate altuko sistemak izanik, aplikazio berdintsuetan erabil daitezke. LiCapek energia-dentsitate handiagoa dutenez, aplikazio berdin baterako, EDLCak baino gutxiago erabil daitezke. Garraio astunei aplikatuta erabiltzeko ere bikainak dira; autobus, tranbia eta tren elektrikoetan, adibidez. Ordu luzez funtzionatzen duten garraio publikoei aplikatuta, LiCapak freno birsortzaile sistema bezala erabil daitezke efizientzia hobetzeko. Aldi berean, bateriekin hibridatuz gero, karga azkarra erabiltzea ahalbidetzen dute ibilbideko geltokietan, erabiltzaileak ibilgailura igo edo hortik jaisten diren bitartean. Karga-kapazitate altua dutenez, garraio bertikalean birsortutako energia biltegitratzeko erabil daitezke; igogailu edo garabietan, adibidez.

Azkenik, beren ezaugarriak direla eta, EDLCen antzera itsas aplikazioetan edo sareko aplikazioetan erabil daitezke; esate baterako, haize-erroten *pitch* kontrola egiteko.

Taula 13. LiCapen abantailak, desabantailak eta aplikazioak

Abantailak	Desabantailak
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efizientzia altua</li> <li>• Potentzia-gaitasun handia</li> <li>• Ziklabilitate bikaina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energia-dentsitate baxua</li> <li>• Energia-kostu altua</li> <li>• Autodeskarga</li> </ul>
<b>Aplikazioak</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potentzia altuko aplikazio industrialak</li> <li>• Garabiak/jasotzaileak</li> <li>• Ibilgailu elektrikoak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sareko aplikazioak: <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Area regulation</i></li> <li>- <i>Peak shaving</i></li> <li>- <i>RES capacity firming</i></li> <li>- <i>Voltage support</i></li> <li>- <i>Load following</i></li> <li>- <i>Power quality &amp; reliability</i></li> </ul> </li> </ul>

### 2.1.7 Aplikaziorako biltegitratze-sistemen aukeraketa

HESSa egiteko bi biltegitratze-sistema erabiliko dira. Behin biltegitratze-sistema nagusienak aztertuta, aukeratutako aplikaziorako erabiliko diren energia biltegitratzeko bi teknologiak aukeratuko dira.

Aurretik aipatu bezala, HESSa erabiliko den aplikazioa autobus elektrikoan oinarrituta dago; hori dela eta, sistemak potentzia zein energia espezifiko altuak izan behar ditu. Gainera, autobus elektrikoak azelerazio-/frenatze-une asko ditu bere ibilbidean; horregatik garrantzizkoa da ziklabilitatea altua izatea. Bestalde, eraikitako HESSak ahalik eta bolumen txikiena hartu behar du.

Lehenik eta behin, autobusak duen potentzia-eskaera betetzeko EDLCak erabiliko dira. Izan ere, EDLCak, LiCapekin batera, potentzia espezifiko altuena duten bi ESSak dira. Hala ere, EDLCek LiCapek baino energia-kostu baxuagoa dute. Biek oso efizientzia ona duten arren, EDLCena hobea da. Aipatutakoaz gain, EDLCen ekoizle gehiago daude eta produktuak estandarrak dira.



Sistemak kontsumituko duen energia LFP baterien bitartez igorriko da nagusiki. Sistemaren erabilera autobus elektriko batean oinarritu denez, bateriak ziklo asko egingo ditu; beraz, energia espezifiko zein bolumetriko egokia izateaz gain, ziklo asko jasateko gai izan behar du. Bestalde, gerta daiteke bateriak zenbait unetan potentzia guztia edo ia guztia eman behar izatea, horregatik, garrantzitsua da, halaber, bateria puntako potentzia altuak emateko gai izatea. Energiaren kostua ere faktore garrantzitsua izango da kasu honetan. Faktore horiek guztiak kontuan harturik, bada, teknologia hoberena LFP dela ondorioztatu da.

Beraz, sistemak erabiliko dituen bi ESSak LFP Li-ioi bateriak eta EDLCak izango dira. Bi ESS horien bitartez, efizientziak gora egingo du, eta sistema gaindimentsionatzeko beharra ezabatuko da. Gainera, bateriaren balio-bizitza luza liteke, erabileran duen tenperatura gutxiagotuko delako eta baldintza hobeetan erabiliko direlako.

## 2.2. HESS topologiak

Egun, gailu elektroniko eramangarri, telekomunikazio-sistema eta ibilgailu elektriko gehienek energia-behar zein potentzia-eskaera handiak dituzte ezaugarritzat. Hori dela eta, potentzia handiko zein energia-dentsitate altuko energia-iturriak beharrezkoak dira [36][37]. Aurreko ataletan ikusitako energia biltegitatzeko sistema gehienek zailtasunak dituzte aldi berean potentzia- eta energia-eskaera handiei erantzuteko. Energia/potentzia konpentsazio horrek askotan optimoa ez den bateria-sistema (*battery pack*) bat egitera behartzen du, beharrezkoa den energia hornituz baina beharrezkoa dena baino potentzia gehiago emanaz, edo alderantziz [38]. Arazo horri aurre egiteko konponbide bideragarri bat energia altuko bateriak EDLCekin hibridatzea izan daiteke [39].

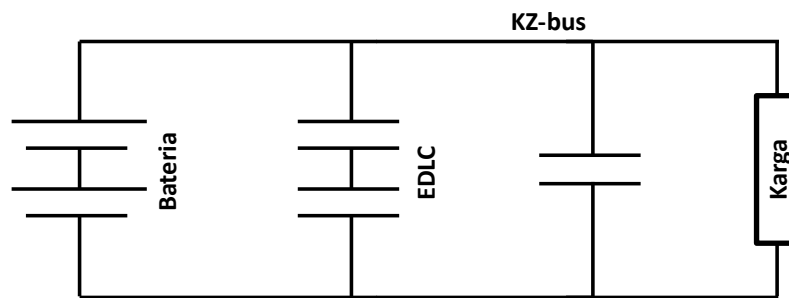
Hibridazioak hainbat abantaila eskaini ditzake litiozko bateria batekin alderatuz. Alde batetik, kargaren/deskargaren efizientzia handitzen da EDLCak erabiltzean, eta, bestetik, sistemaren galerak txikitzen dira. Horrez gain, funtzionamendu-tenperaturak behera egin dezake, eta potentzia-sistemaren bizi-itzaropena luzatu [40].

Hiru HESS topologia nagusi daude: pasiboa, erdi-aktiboa eta aktiboa. Topologia pasiboan bateriak eta EDLCak zuzenean paraleloan konektatuta daude kargara. Erdi-aktiboak, aldiz, bere efizientzia hobetu egiten du KZ-KZ bihurgailua eta kontrolako zirkuitua ezarrita. Azkenik, topologia aktiboak, bi KZ-KZ bihurgailu erabiliz, sistemaren efizientzia eta kontrolagarritasuna muturrera eramaten ditu aldi berean sistemaren konplexutasuna handituz. Pasiboa hiru topologietatik merkeena eta bakunena da, baina, inolako kontrolik ez dagoenez, bere portaera ez da optimoa. Guztiz aktiboa, aldiz, portaera onena duena da, baina prezioa eta sinpletasuna konprometituz. Aldiz, erdi-aktiboa aukera egokia izan daiteke portaera, zirkuituaren sinpletasuna eta prezioa aintzat hartuta.

### 2.2.1 HESS topologia pasiboa

Aurretik aipatu bezala, pasiboa hiru topologietatik ohikoena da [41]. Kasu honetan, EDLCak eta bateriak paraleloan konektatuta daude KZ-busera; beraz, baterietako tentsioa, EDLCen tentsioa eta KZ-buseko tentsioa berberak izango dira uneoro. Kontrolako elektronikaririk ez duenez, konfigurazio merkeena da, eta bolumen gutxien behar duena. Kontrolako zirkuiturik ez duenez, halaber, kargako korronea ESS bakoitzak duen

barne-erresistentziak bakarrik kontrolatzen du; beraz, esan daiteke era ez kontrolatu batean funtzionatzen duela sistemak [42]–[44].



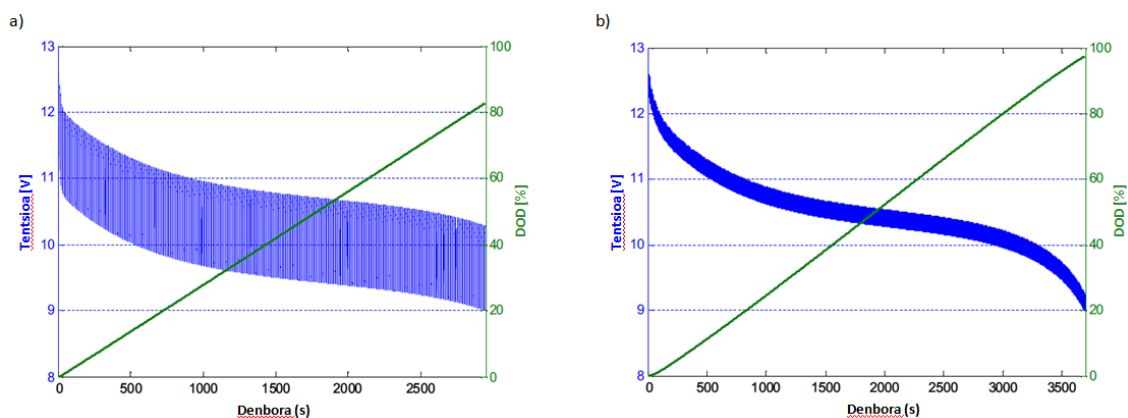
Irudia 9. HESS pasiboa

Potentzia-eskaera handiko uneetan bi ESSk ematen diote energia kargari. Potentzia gutxiokotan, aldiz, bateriak karga zein EDLCak elikatzen ditu. Ondorioz, bateriaren tentsio-jauziak txikiagotzen dira, eta bateria era efizienteagoan erabiltzen da.

Bateriak bakarrik erabiltzen dituen sistemarekin alderatua, abantaila hauek ditu sistema honek: bateriaren korrante- zein tentsio-gorabeherak txikiagotzen dira, energia-efizientzia hobetzen da eta bateriaren degradazioa gutxitzen da.

Kapazitantzia zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoa izango da EDLCek aldiuneko potentzia-eskaerari egiten dioten ekarpena. Horrek bateriak energia gehiago igortzea ahalbidetuko du. Bestalde, kapazitantzia handitzeak pisua, bolumena eta kostua igotzea ekarriko du. Hala ere, erresistentzia txikiagotuko da, eta, aldi berean, galerak gutxiagotu [45].

Hurrengo a) irudian (Irudia 10) ikus daiteke bateriaren portaera, pultsudun deskarga-profil bat erabiltzen denean EDLC multzo bakarrarekin; aldiz, b) irudian ikus daiteke zazpi multzo jartzean tentsio-gorabeherak gutxitu egiten direla. Tentsio-gorabeherak txikitzeaz gain, bateriak igorritako korrantea txikiagoa da eta bateriak biltegitatuta daukan energia gehiago erabiltzen da.



Irudia 10. a) HESS sistemaren deskarga EDLC multzo bakarrarekin. b) HESS deskarga EDLC 7 multzorekin

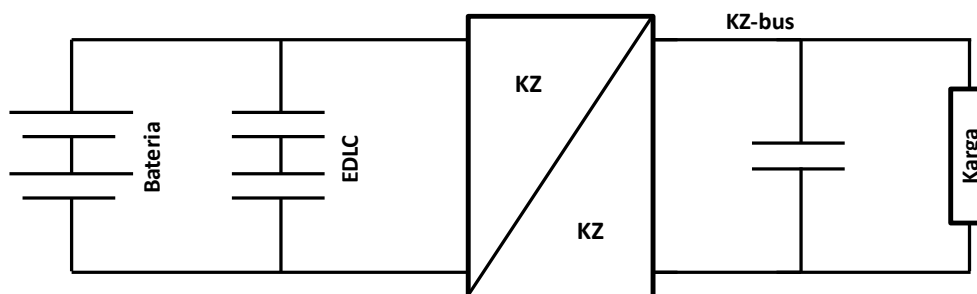
Kargak behar duen pultsua zenbat eta luzeagoa izan, orduan eta handiagoa izango da bateriek kargako korronteari egiten dioten ekarpena, EDLCek azkarrago aldatzen baitute tentsioa. Bateriak korronteari egiten dion ekarpena zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoa izango da bateriak izango duen degradazioa. Gainera, tenperaturak gora egingo du, eta bateriaren efizientziak, berriz, behera. Bestalde, EDLCek biltegitratuta duten energiaren kopuru oso txikia erabiltzen da [46].

## 2.2.2 HESS topologia erdi-aktiboa

Konfigurazio erdi-aktiboak pasiboarekiko hobekuntza bat suposatzen du. Kasu honetan, KZ-KZ bihurtgailu bat erabiltzen da dela ESSen artean, dela ESSen eta kargaren artean tentsio-bereizketa bat egiteko. Bereizketa horrek biltegitratze-sistema birdimentsionatzeko aukera ematen du, eta, gainera, potentzia-ekarpena hobeto kudeatzen laguntzen du. Topologia erdi-aktiboak hiru konfigurazio nagusi ditu: kargako erdi-aktiboa, bateriako erdi-aktiboa eta EDLCko erdi-aktiboa.

### 2.2.2.1 Kargako erdi-aktiboa

KZ-KZ bihurtgailua energia biltegitratzeko sistemaren eta kargaren artean dago. Kasu honetan, KZ-KZ bihurtgailuak kargak eskatuko duen potentzia osorako egon behar du dimentsionatuta. Gainera, noranzko bikoia izan behar du; horrek, bada, sistemaren kostua areagotzen du. Pasiboarekiko hobekuntza bat den arren, bateriak kargako korrontearen zati dinamikoan parte hartzen jarraitzen du. Horrez gain, KZ-KZ bihurtgailuak martxan egon behar duenez denbora guztian, efizientziak behera egin dezake.



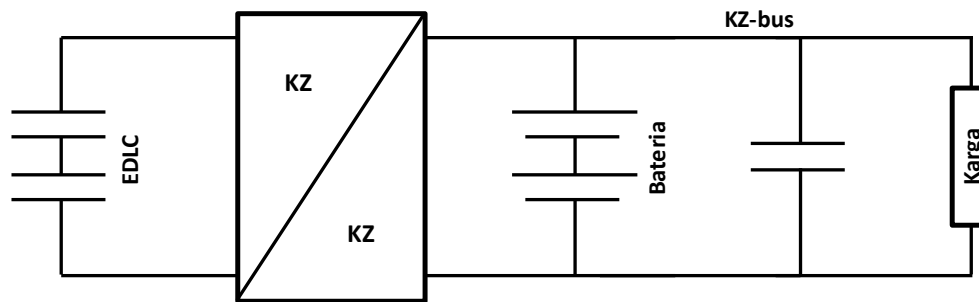
Irudia 11. HESS erdi-aktiboa, kargakoa

Sistema honen abantaila nagusia HESSen tentsio baxua izatea ahalbidetzen duela da, nahiz eta KZ-busean tentsio altuagoak izan. Gainera, KZ-KZ bihurtgailuak KZ-buseko tentsioa konstante mantentzen laguntzen du HESSaren tentsioaren aldaketan aurrean.

### 2.2.2.2 EDLCko erdi-aktiboa

Aurrekoak ez bezala, KZ-KZ bihurtgailua EDLCen eta bateriaren artean konektatuta dago, eta KZ-buseko tentsioa eta bateriako tentsioa berberak dira uneoro. EDLC multzoak, aldiz, beste tentsio batean funtziona dezakeenez, igortzen duen potentzia eta deskarga kontrolatzeko eta EDLC multzoaren energia gehiago aprobetxatzeko aukera ematen du. EDLC multzoaren tentsioaren % 50-100 erabilgarria da, eta horrek gutxienez biltegitratutako energiaren % 75 erabiltzeko aukera emango du. EDLCaren tentsioa handituz gero,

kapazitantzia gutxiago behar izateaz gain, korrante gutxiago beharko da kargak eskatutako potentziari erantzuteko, eta horrek galerak txikiagoak izaten lagundu dezake [47].



Irudia 12. HESS erdi-aktiboa, EDLCko erdi-aktiboa

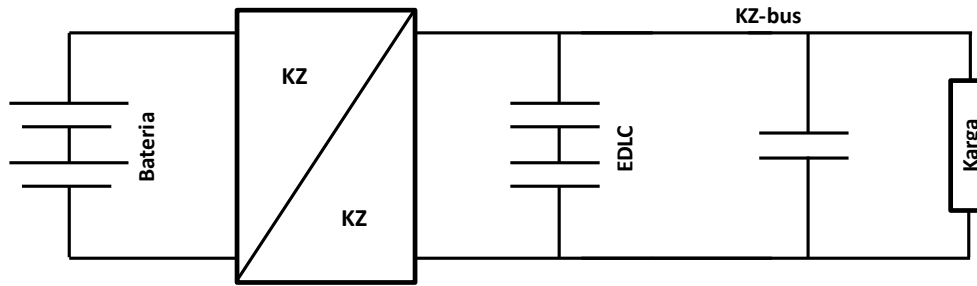
Konfigurazio honen bitartez, bateriak igortzen duen energia ia-ia konstante mantentzeko, eta zati dinamikoa EDLCei dagokie. Aurreko kasuan ez bezala, KZ-KZ bihurtailuak etengabe aktibo egon behar ez duenez, efizientzia hobetzen da. Gainera, konfigurazio honekin KZ-busak ez du apenas kizkurduarik izango.

Topologia honek badu alde txarrik ere, ordea. EDLC multzoa energia- zein potentzia-eskaeretara dimentsionatuta egon behar du. Horrez gain, KZ-KZ bihurtailuak zenbait ezaugarri izan beharko ditu: noranzko bikoia izan behar du, EDLC multzoaren potentzia maximora dimentsionatuta egon behar du eta tentsio-tarte zabal batean funtzionatzeko gaitasuna izan behar du, EDLCek eman dezaketan energia maximizatzeko. Horrek guztiak KZ-KZ bihurtailuaren prezioa garestitzea ekarriko du.

### 2.2.2.3 Bateriako erdi-aktiboa

Kasu honetan, KZ-KZ bihurtailua bateria eta EDLCen artean dago kokatuta; beraz, KZ-busak eta EDLC multzoak tentsio bera izango dute. Bateriak, ordea, beste tentsio batean funtzionatuko du.

Konfigurazio honek bateriak igorritako korrantearen gainean kontrola izatea ahalbidetzen du, eta bateriaren degradazioa murriztu. Kargako eta EDLC erdi-aktiboak ez bezala, kasu honetan KZ-KZ bihurtailuak ez du zertan noranzko bikoia izan, eta kargak beharko duen potentziaren balio efikazera egongo da dimentsionatuta. Beraz, KZ-KZ bihurtailuak eskakizun txikiagoa izango du, bai eta prezio merkeagoa ere. Hala, bateriaren efizientzia handitu egiten du, eta, aldi berean, bizi-itxaropena handitu eta operazio-tenperatura hobetu.



Irudia 13. HESS erdi-aktiboa, bateriako erdi-aktiboa

EDLCak kontrolatuko dutenez KZ-buseko tentsioa, tentsio-aldaketa dinamikoak egongo dira. Hori ekiditeko, EDLC multzoa gaindimentsionatu beharra dago, eta horrek kapazitantzia oso handia behar izatera eraman dezake, baita prezioa garestitu ere. Gainera, EDLCak gutxi erabiliko dira, kargaren tentsioak ezin duelako muga batetik bera egin. Hala ere, kontuan izan behar da EDLCak beren tentsioaren % 50era iristen direnean, biltegitatuta duten energiaren % 75 emanda izango dutela. Kargako erdi-aktiboan bezala, KZ-KZ bihurgailuak etengabe martxan egon behar duenez, efizientzia galerak izatea ekar lezake.

### 2.2.3 HESS topologia aktiboa

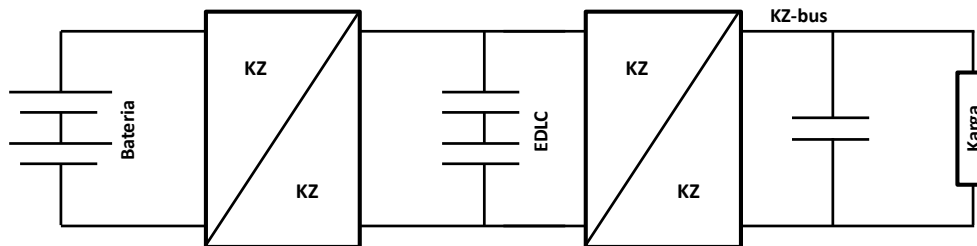
Azkenik, HESS topologia aktiboa dago. Topologia honek ez ditu aurrekoak dituzten zenbait desabantaila. Aurrekoek dituzten arazo asko bigarren KZ-KZ bihurgailu bat ezarriz konpontzen dira; adibidez, biltegitatutako energia guztia erabiltzen da bi ESSetan, sistemaren gaineko kontrol osoa izatea ahalbidetzen du eta hainbat tentsioren arazoei aurre egiten die. Konfigurazio honek bi ESSen erabilera optimizatzen du, baina, beharrezkoa da beti potentzia handiko KZ-KZ bihurgailu bat ezartzea, zeinak nabarmen igoko baituen sistemaren prezioa eta horrek beharko duen bolumena [48].

Aurreko topologian bezala, hiru konfigurazio daude: bateriako seriea, EDLCko seriea eta paraleloa.

#### 2.2.3.1 Bateriako seriea

Bateria erdi-aktiboaren berezko hobekuntza da. Horrek duen tentsio-aldaketaren arazoa konpontzeko, EDLCen eta kargaren artean bigarren KZ-KZ bihurgailu bat jarri behar da. KZ-KZ bihurgailuak tentsio- zein potentzia-tarte osoa (*full rating*) bete behar du; ondorioz, kostua igoko da, eta efizientzia galdu. EDLC multzoa kargatik bereizita dagoenez, horren balioa txikiagotu daiteke beharrei erantzuteko.

Bateriak igorritako energia uneoro konstante mantentzeko; hori horrela izanik, EDLC multzoa arduratuko da kargaren atal dinamikoaz. Bateriaren eta EDLCen artean dagoen KZ-KZ bihurgailua potentziaren balio efikazera dimentsionatuta egotearekin nahikoa da sistemak egoki funtzionatzeko.

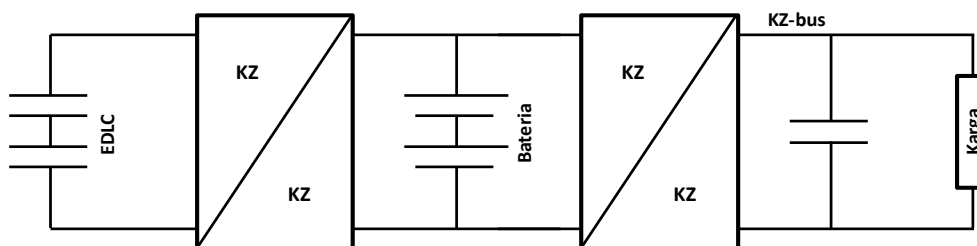


Irudia 14. HESS aktiboa, bateriako seriea

Hala ere, sistema honetan, bateriak igorritako energia bi KZ-KZ bihurgailutatik igarotzen da, eta horrek efizientzia galtzea dakar.

### 2.2.3.2 EDLCko seriea

EDLCko erdi-aktiboarekiko aurrerapen bat da. Bateriaren tentsioa murrizten du KZ-KZ bihurgailu bat erabilita karga eta bateriaren artean. Bigarren *full rating* KZ-KZ bihurgailu batek kostua igotzea eta efizientzia galtzea dakar. EDLC multzoa kargatik zein baterietatik bereizten denez, bere balioa txikiagotu daiteke potentzia-beharrei erantzuteko.



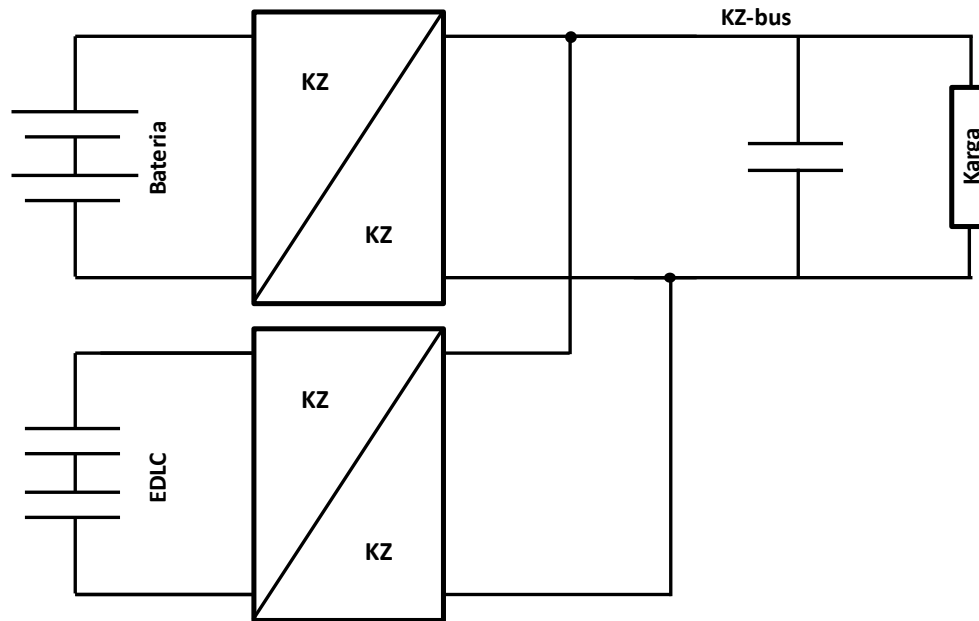
Irudia 15. HESS aktiboa, EDLCko seriea

Kasu honetan, EDLCtatik igorritako energia bi KZ-KZ bihurgailutatik igarotzen da, eta horrek eragina du efizientzian. Gainera, bi KZ-KZ bihurgailuek norabide bikoak izan behar dutenez, prezioa garestitzen da.

### 2.2.3.3 Paraleloa

Azkenik, paraleloa da HESS aktiboen artean konfigurazio optimoa duena. EDLC multzoaren tentsio-bariazioen arazoa konpontzeko, KZ-KZ bihurgailu bat ezartzen du EDLCen eta kargaren artean. Kasu honetan, KZ-KZ bihurgailua puntako korrontea emateko dimentsionatua dago eta biltegitratutako energia guztiaz baliatzeko aukera ematen du. Bigarren KZ-KZ bihurgailua bateriaren eta kargaren artean dago kokatua, eta kargaren korronte-eskaeraren balio efikazera dimentsionatuta dago. Konfigurazio honek bateriaren korrontea konstante mantentzen du eta, gainera, bi ESS artean hainbat tentsio erabiltzea ahalbidetzen du.

Bateriatik zein EDLCtatik igorritako energia KZ-KZ bihurgailu bakarretik igarotzen da, aurreko bi kasuetan ez bezala. Efizientzian aurrerapauso bat da, beraz. Bestalde, bi KZ-KZ bihurgailuek irteeran tentsio bera izango dute, KZ-busak emandakoa.



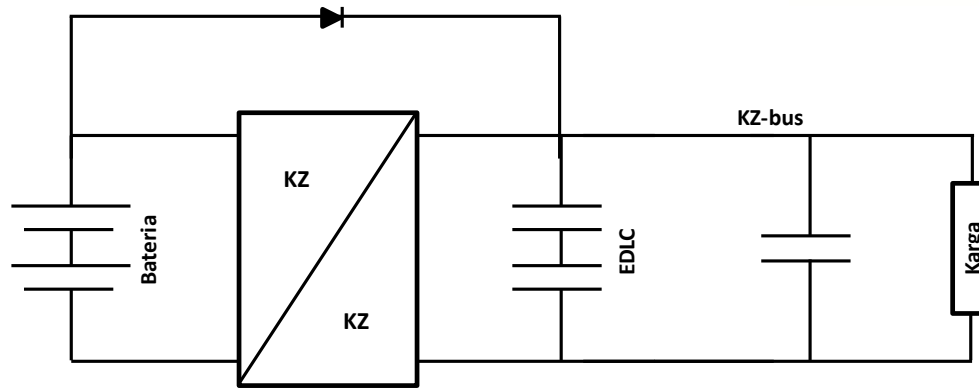
Irudia 16. HESS aktiboa, paraleloa

HESS aktiboen artean optimoa izateaz gain, galera gutxien dituen da. Aurkeztutako topologia guztietatik, biltegitratutako energia hobekien baliatzen du, baina kontuan hartuz beti bi KZ-KZ bihurgailu erabiltzen dituela —bietako bat potentzia handikoa eta norabide bikoia izango da—.

#### 2.2.4 Topologiaren aukeraketa

Ondoren, HESS topologia aukeratu da. Topologia pasiboa merkeena den arren eta sinpleena izateaz gain, ez du sistemaren gainean inolako kontrolik izatea ahalbidetzen; batetik, energia ez delako nahi bezain beste aprobetxatzen, eta, bestetik, korrante-banaketa barne-erresistentziek ezartzen dutelako. Hori dela eta, baztertu egingo da topologia hori. Bestalde, topologia aktiboak bi KZ-KZ bihurgailu [OJ1] behar ditu. Horrek kostua igotzea ekarriko du, eta, gainera, behar den bihurgailuetako batek *full rating* izan behar du. Horregatik, aukeratutako topologia erdi-aktiboa izango da. Erdi-aktiboan ikusitako konfigurazioetatik interesgarriena bateriakoa dela ondorioztatu da.

Izan ere, erdi-aktiboak, sistemaren gainean kontrola ezartzeko aukera emateaz gain, bateriak eta EDLCek tentsio ezberdinetan funtzionatzea ahalbidetzen du. Bateriako erdi-aktiboak, bere aldetik, potentzia txikiko eta norabide bakarreko KZ-KZ bihurgailua behar du. Beraz, erabiliko den konfigurazioak erdi-aktiboak dituen abantailak izango ditu pasiboarekiko kostua apur bat areagotuz.



Irudia 17. Bateriako erdi-aktiboa diodoarekin

Bestalde, erabiliko den bateriako erdi-aktiboan, egungo egoeran azaldutakoarekiko aldaketa izango du. Kasu honetan, aurreko irudian (Irudia 17) ikus daitekeen bezala, bateriaren eta EDLC multzoaren artean diodoa jarriko da. Izan ere, EDLC multzoak bateriak baino tentsio altuagoan funtzionatuko du. Gerta daiteke, aldiz, EDLC multzoak baterien tentsio bera izatea. Hori gertatzen bada, potentzia-eskaera bateriaren eta EDLC multzoaren artean banatuko da. EDLCen tentsioa biltegitratuta duten energiaren arabera aldatuko da, eta, EDLCek energia gutxi biltegitratzeko gaitasuna dutenez, beren tentsioa azkar aldatuko da. EDLCek biltegitratutako energiaren % 75 igortzen dute, tentsio izendatuaren erdian daudenean; izan ere, kondentsadore batek biltegitra dezakeen energia ondorengo formulak adierazten du:

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (1)$$

Honela adierazita:  $E$ , biltegitratutako energia;  $C$ , kapazitantzia; eta  $V$ , borneen arteko tentsioa. Diseinatutako sisteman, EDLC multzoak bateriaren tentsioaren bikoitzera funtzionatuko du.

Laburbilduz, bi aukeraketa nagusi egin dira egungo egoera aztertzearen ondorioz, gero simulaziorako eta muntaketarako erabiliko direnak. Alde batetik, aplikaziorako biltegitratze-sistemak aukeratu dira. Bi ESS izango ditu sistemak: LFP Li-ioi bateriak eta EDLCak. Bestetik, HESS topologiaren artean bateriako erdi-aktiboa aukeratu da aldaketa batekin: bateriaren eta EDLC multzoaren artean KZ-KZ bihurtutako jartzeaz gain, paraleloan diodo bat jarriko da.



### 3. Sistemaren simulazioa

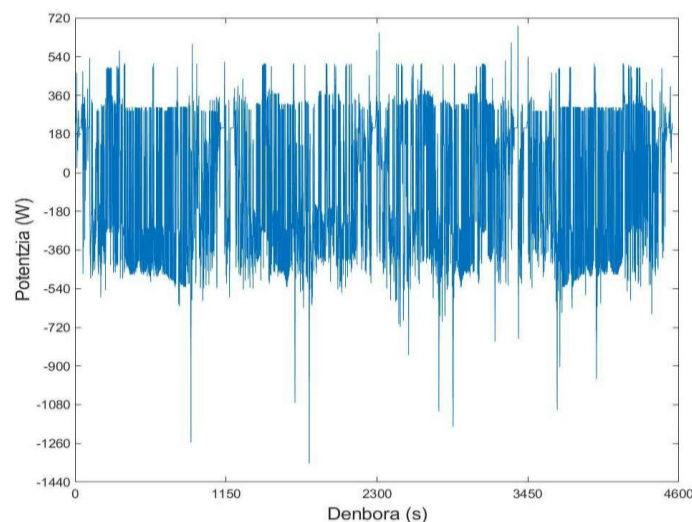
Behin erabiliko diren biltegitratze-sistemak eta HESS topologia aukeratuta, biltegitratze-sistemen dimentsionamendua eta simulazioa egin da Matlab eta Simulink softwareak erabiliz.

Kapitulu honetan, lehenik eta behin, simulazioetan zein maketa frogatzeko erabili den profila nola garatu den azaldu da. Jarraian, bi simulazio kasu azaldu dira: bata Li-ioiz eginiko sistema bat, eta, bestea, EDLC eta Li-ioi bateriez osatutako sistema hibridoa. Bi sistemak bata bestearekin alderatu dira eta zenbait ondorio atera dira.

#### 3.1. Autobus elektrikoaren funtzionamendu-profila

Aukeratutako potentzia-profila autobus elektriko bati dagokiona da; profilok Ikerlanen garatutako metodologia bati jarraituz sortu dira [49]. Horretarako, 112 profil estandarizatu erabili dira eta ausaz bata bestearekin elkartu dira autobus baten ibilbideak izango lukeen kontsumoa simulatzeko. Simulazioa zein eraikitako demostradorea profila eskalatuz egin dira, ondoren, maketa eraikitzean, zikladorearen potentziara egokitu ahal izateko, potentzia 1/48 eginez. Erabiliko den profila grafikoan (Grafikoa 1) ikus daiteke.

Profilak azelerazioko zein frenatze birsortzaileko uneak ditu. Simulazioan, profil bera errepikatu da 8 orduko lanaldia osatu arte. Guztira, 350 Wh inguru kontsumitzen dira 8 orduko lanaldian; bateriak igortzen du batik bat energia hori. Baterien bizitza ahalik eta gehien luzatzeko, batez besteko kargaren egoera (SOC, *State of Charge*) % 50era mantendu izan da eta deskarga-sakonera (DOD, *Depth of Discharge*) % 80ra mugatu da. Modu horretan, SOCa ez da % 90etik igotzen, ez eta % 10etik jaisten ere, eta horrek bateriaren bizitza luzatzen lagundu beharko luke, hurrengo atalean hobeto azalduko den bezala. Galerak eta DODa aintzat hartuta, eskalatutako profila betetzeko behar den bateriak 480 Wh inguru izan behar du. Profila tarteko kargarik gabe funtzionatzeko pentsatuta dago freno birsortzaileaz gain, beraz, autobusa autonomia izango da 8 orduko lanaldi osoa egiteko.



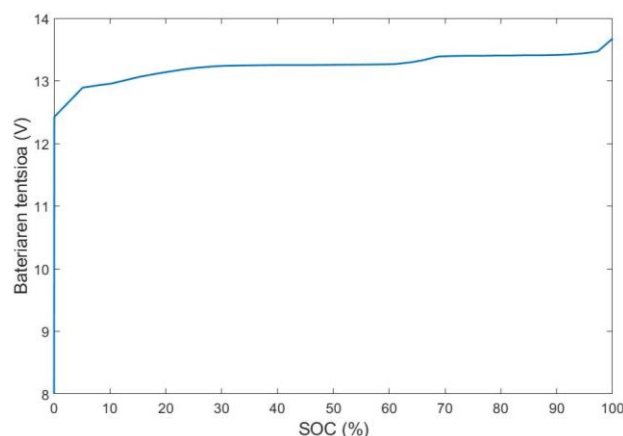
Grafikoa 1. Egokitutako autobusaren potentzia-profila bidaia bakarrean

### 3.2. Simulazioa ESS bakarrik erabiliz

Hurrengo lerroetan, sistemaren simulazioa Li-ioi bateriak bakarrik erabiltzen diren kasuan kontuan harturik azaltzen da. Li-ioi bateria bakarrik dagoenez, bateria horrek energia- zein potentzia-beharrak asetzeko dimentsionatuta egon behar du. Bateriaren balio-bizitza gehiegi laburtu ez dadin, ez da gomendagarria karga zein deskarga 1 C-etik pasatzea. Horregatik, puntakoak kenduta, bateriak 400 W inguruko potentzia igorri beharko du, baina 1.200 W-eko puntako deskargak jasateko gai izan behar du. Aurretik aipatu bezala, potentzia-profila eskalatu ondoren, bateriak 450 Wh izan behar ditu gutxienez. Demostradoreak 12,8 V izendatu dituenek, bateriak 40 Ah inguruko kapazitatea izan beharko du.

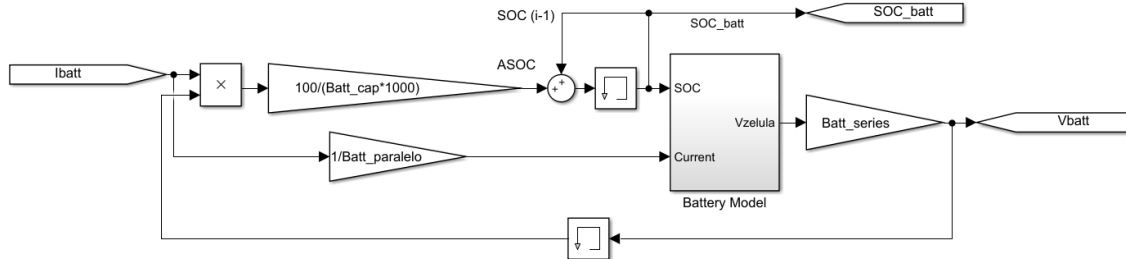
Simulazioa egiteko lehenengo urratsa bateriaren modelo bat egitea izan da. Egin diren simulazioen helburua ez da modelo zehatz bat egitea, baizik eta sistemaren gutxi gorabeherako portaera nolakoa izango den jakitea. Beraz, eraikitako modeloak nahiko sinpleak dira.

Bateriaren modeloaren sarrera uneoro bateriara sartzen den edo bateriak igortzen duen korronea da. Hala, une bakoitzean sartu edo ateratzen den intentsitatea bateriaren tentsioaz biderkatuz bateriak igorritako edo jasotako potentzia lortuko da. Potentzia hori denboran zehar integratuz, galdu edo lortu den SOC diferentzia izango da, eta, jarraian, aurretik bateriak zuen SOCarekin batuz bateriaren SOC berria lortuko da. Ondoren, datu esperimentaletatik lortutako datuen bitartez, "1-D Lookup Table" erabiliz, SOCaren arabera bateriaren barne-tentsioa jakin daiteke (Grafikoa 2).



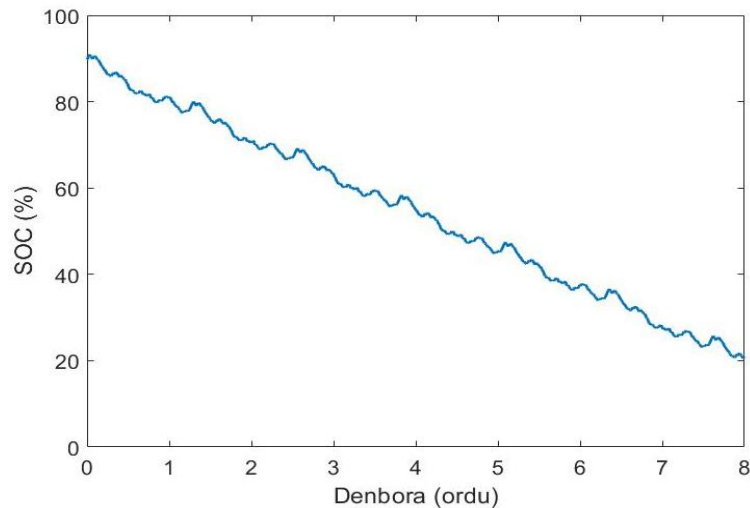
Grafikoa 2. Bateriaren SOCa vs. tentsioa

Bestalde, jakina den bezala, bateriek barne-erresistentzia bat dute,  $R_{i-bat}$  deituko dena. Barne-erresistentzia horrek tentsio-diferentzia bat sortzen du korronea igarotzen denean. Ondorioz, bateriaren borneetako tentsioa SOCaren arabera bateriak duen tentsioaren eta  $R_{i-bat}$ -ren eraginez sortzen den tentsio horren batura izango da.



Irudia 18. Bateria modeloa Simulinken

Behin bateriaren modeloa eginda dagoela, autobusaren profila simulatu da. Espero den bezala, grafikoan (Grafikoa 3) ikus daitekeenez, 40 Ah-ko bateriarekin, SOCa % 20tik gora gelditzen da 8 orduko lanaldia eta gero. Beraz, esan daiteke, potentzia-profila betetzeko nahikoa dela bateria bakarria erabiltzea.



Grafikoa 3. SOCa vs. denbora ESS bakararekin

### 3.3. Proposaturiko HESSaren simulazioa

HESSaren simulazioa egiteko, bateriaren modeloaz gain, EDLCen modeloa eta KZ-KZ bihurgailuaren modeloa egin behar izan da. Gainera, KZ-KZ bihurgailuaren kontrol-estrategia ezarri behar da sistemaren funtzionamendua ahalik eta hobekien ikusteko.

Aukeratu diren EDLCen tentsio maximoa 2,8 V da, eta 350 F-eko kapazitantzia dute. Aurreko atalean aipatu den moduan, EDLCen tentsioa gutxi gorabehera bateriaren tentsioaren bikoitza izatea nahi da, beraz, 10 EDLC jarriko dira seriean, guztira adarreko, 28 V egiteko. Hala, EDLCak bateriaren tentsiora heltzen direnean ia biltegitatuta duten energiaren % 75 igorria izango dute.

EDLCaren modeloa egiteko, kondentsadore baten energiaren formulak eta Laplace-ren transformatua aplikatzen dira. Lehenik eta behin, EDLCak duen energia jasotzen edo igortzen duen energiari galerak kenduz lortuko da, hurrengo ekuazioak erakusten duen bezala:

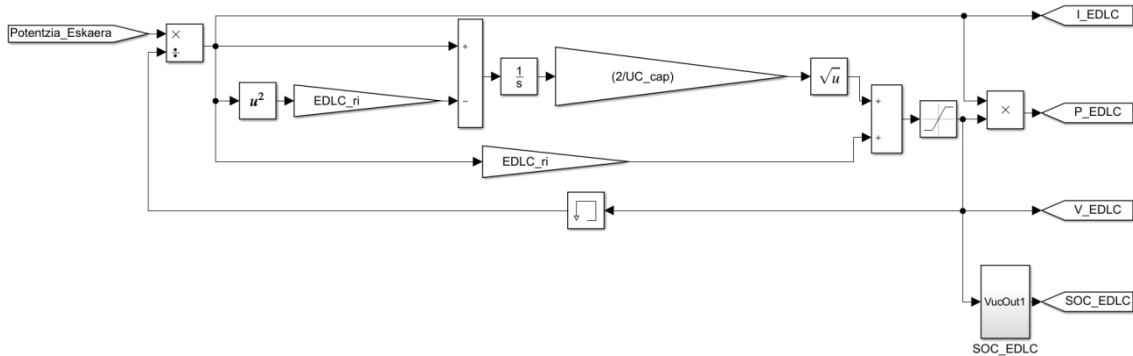
$$E_{EDLC} = E_{Sartu/Irten} - E_{Galerak} \quad (2)$$

Honela adierazita:  $E_{EDLC}$ , erabil daitekeen energia;  $E_{Sartu/Irten}$ , EDLCak jaso edo igortzen duen energia; eta  $E_{Galerak}$ , EDLCak duen galerak. Formula honi Laplace-ren transformatua aplikatuz eta aurreko terminoa (1) ekuazioarenarekin ordezkatzuz, ondorengo adierazpena lortzen da:

$$\frac{1}{2} C V_{EDLC}^2 = \frac{P_{Sartu/Irten}}{s} - \frac{I_{EDLC}^2 R_{i-EDLC}}{s} \quad (3)$$

Honela adierazita:  $C$ , EDLCen kapazitantzia;  $V_{EDLC}$ , EDLCen tentsioa;  $P_{Sartu/Irten}$ , EDLCak jaso edo igortzen duten potentzia;  $I_{EDLC}$ , EDLCtik igarotzen den korrrotea; eta  $R_{i-EDLC}$ , EDLCen barne-erresistentzia.

Bestalde, bateriaren kasuan bezala, EDLCaren borneen arteko tentsioa zera da: batetik, EDLCaren barne-tentsioaren eta, bestetik, barne-erresistentziatik igarotzen den korrrotea eraginez sortutako tentsioaren arteko batura. Beraz, aurreko guztia Simulinken aplikatuz, irudiko (Irudia 19) sistema lortu da.



Irudia 19. EDLC modeloa Simulinken

EDLC modeloa egin ondoren, KZ-KZ bihurgailuaren modelo sinplea eta kontrol-estrategia ezarri dira. Kontrol-estrategiari erreparatuta, KZ-KZ bihurgailua noiz jarriko den martxan eta EDLCak kargatzeari noiz utziko dion erabaki behar da batik bat. Kontuan izanda sistemak frenatze birsortzaileko uneak dituela, ez da gomendagarria KZ-KZ bihurgailuak EDLCak guztiz kargatzea, frenatzean lortzen den energia hori alferrik ez galtzeko. EDLCek energia gutxi biltegiratzeko gaitasuna dutenez eta tentsioa azkar igo edo jaisten direnez, puntu egokia da KZ-KZ bihurgailua martxan jartzea EDLCak 20 V-etik behera deskargatzen direnean. Puntu horretan, bateriak EDLCak kargatzen hasiko dira KZ-KZ bihurgailuaren bitartez. KZ-KZ bihurgailuak etengabe martxan jarraituko du harik eta EDLCak berriro 24 V-era iritsi arte; orduan, KZ-KZ bihurgailua itzali egingo da, EDLCek berriro ere 20 V-eko beheko muga hori jo arte.

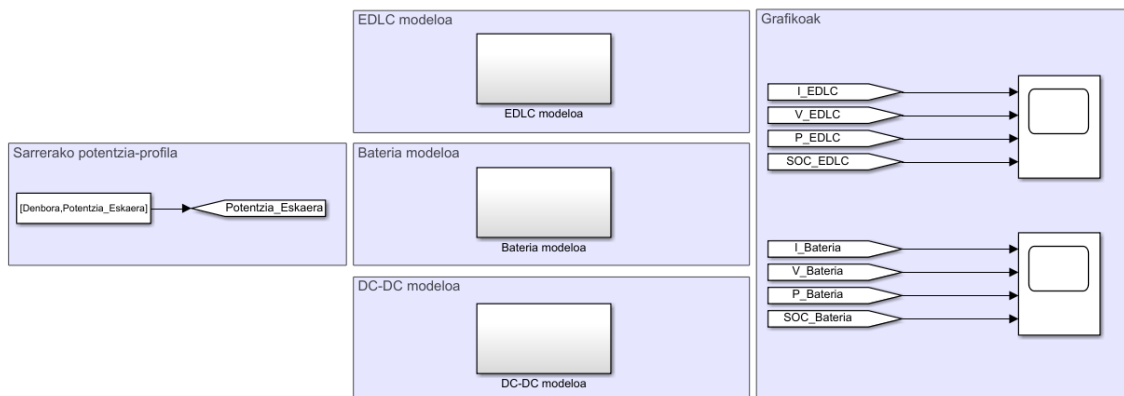
KZ-KZ bihurgailuaren kontrol-estrategia pentsatu ondoren, modeloa egin da. KZ-KZ bihurgailuak boost moduan funtzionatuko du denbora guztian, beraz, lehenik eta behin,  $V_{Sarrera}$  ( $V_{Bateria}$ ) eta  $V_{Irteera}$  ( $V_{EDLC}$ ) ezagunak direnez, lan-zikloa kalkulatu da, horretarako:

$$Lan\ zikloa = 1 - \frac{V_{Sarrera}}{V_{Irteera}} \quad (4)$$

Bigarrenik, esan bezala, EDLCak 20 V-etik behera jaisten direnean KZ-KZ bihurgailua martxan jarriko da, hortaz, (5) formula erabiliz momentu horretan bateriak igorriko duen intentsitatea ( $I_{Sarrera}$ ) kalkulatu da, KZ-KZ bihurgailuak eman behar duen potentzia ezagutzeko.

$$I_{Sarrera} = \frac{I_{Irteera}}{1 - Lan\ zikloa} \quad (5)$$

Beraz, bateriak igorriko duen intentsitatea era horretan kalkulatu da EDLCak 24 V-etik behera dauden bitartean. Hala ere, EDLCak bateriaren tentsio bera izatera iristen badira, orduan, bateriak kargak behar duen potentzia igorriko du; era honetan, aurreko atalean azaldu den diodoa simulatu da. Hala, bateriak igorriko duen intentsitatea kargak eskatzen duen potentziaren berbera izango da.

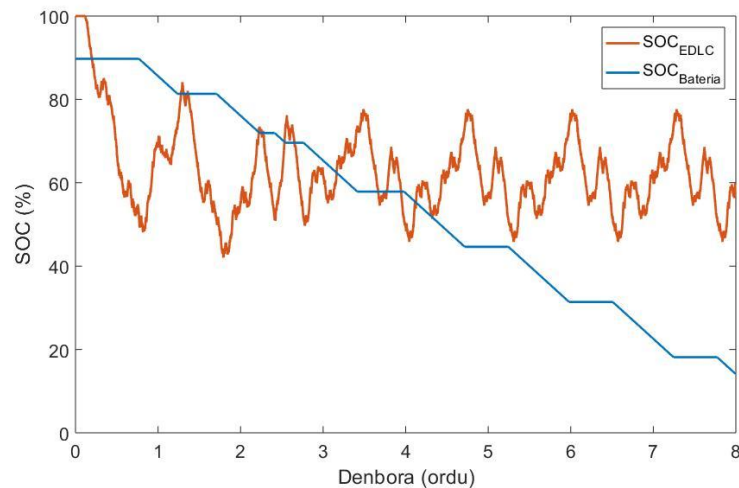


Irudia 20. HESS simulazioa Simulinken

Simulazioa egin aurretik, sistemaren osagaiak definitu dira. Hala, bateria aurreko kasuan erabili den berbera izango da, 12,8 V izendatu eta 40 Ah-koa. Seriean konektaturiko 10 EDLCez osaturiko adar bakarra erabili da guztira 28 V-eko tentsioa eta 35 F-eko kapazitantzia lortzeko. Azkenik, KZ-KZ bihurgailuak 90 W-era funtzionatzen duela suposatu da.

ESS bakarra erabili den simulazioaren kasuan bezala, kasu honetan ere 8 orduko lanaldia simulatu da. Aurrenik, bi sistemen SOCa begiratu da aukeratutako osagaiak nahikoak diren edo ez jakiteko.

Grafikoan (Grafikoa 4) ikus daitekeen bezala, kasu honetan hasieratik aukeratu diren osagaiak nahikoak dira potentzia-profilari aurre egiteko. EDLCen SOCa % 40tik gora dago uneoro eta bateriak 8 orduko lanaldiaren ondoren ia % 20ko SOCa du. Beraz, hasiera batean pentsatu den baldintzetan ziklatuko litzateke; hau da, % 50eko SOCa eta % 80ko DODa.

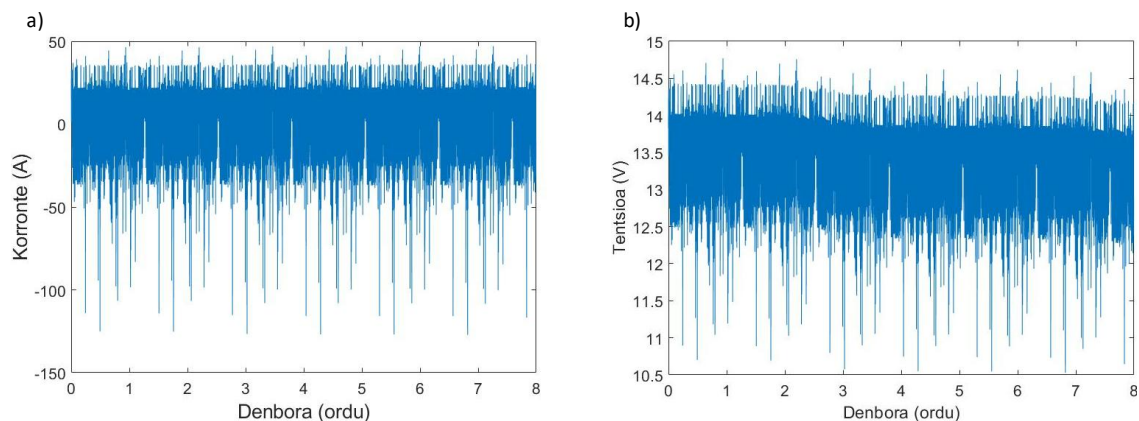


Grafikoa 4. EDLC eta bateriaren SOCa vs. denbora

### 3.3.1 Hibridazioaren abantaila operatiboak

Behin bi sistemen simulazioa eta bakoitzak behar duen dimentsionamendua eginda, jarraian, hibridazioak dituen abantailak aztertu dira. Aurretik ikusi da kasu batean zein bestean bateria bakarra nahikoa dela. HESSaren kasuan bateriaren deskarga linealagoa da, bateriak igortzen duen potentzia askoz linealagoa delako.

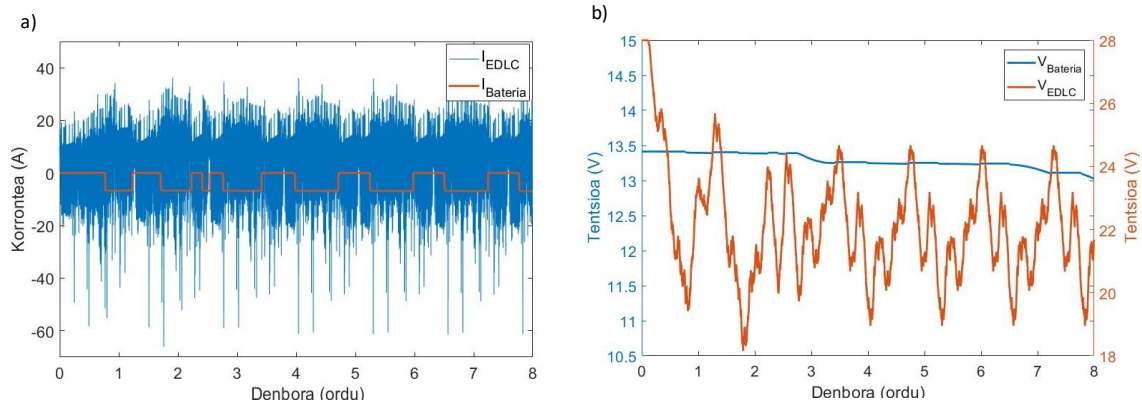
Grafikoan (Grafikoa 5) ikus daitekeen bezala, baterietatik igarotzen den korronea oso aldakorra da ESS bakarrea erabiltzen den sisteman; hori dela eta, bateriaren tentsioa oso desegonkorra da. Oro har, deskargan (negatiboa) korronea ez da 40 A-tik pasatzen, baina, zenbait momentutan, 120 A izatera iristen da. Horrek adierazten du, bada, bateriak 3 C-era deskargatzera heltzen dela zenbait momentutan, degradazioa areagotuz.



Grafikoa 5. a) Korronea ESS bakarrean. b) Tentsioa ESS bakarrean

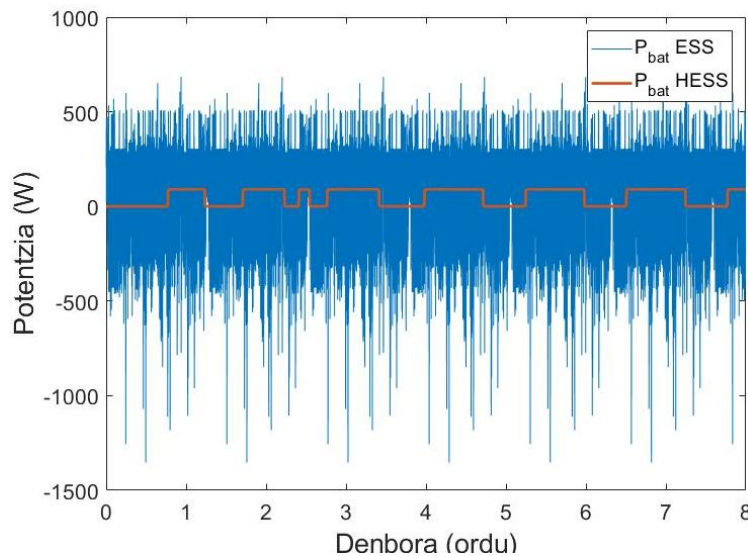
HESSa erabiltzen den sisteman, aldiz, EDLCen tentsioa zein korroneak dinamikoak diren arren, bateriarenak oso egonkorrak dira (Grafikoa 6). Bertan ikus daitekeenez, bateriaren tentsioa linealki jaisten da eta korrone oso baxuan deskargatzen da, ez baita 7 A-tik igotzen. Horrek bateriaren balio-bizitza aurreko kasukoa baino luzeagoa izatea ahalbidetuko du, hurrengo atalean azaltzen den bezala.

Espero bezala, EDLCen tentsioa zein korronteak dinamikoak dira, baina horrek ez dakar inolako arazorik, helburu horrekin aukeratu baitira EDLCak. Izan ere, 1.000.000 ziklo baino gehiago egiteko prestatuta daude. Igortzen duten korronteari erreparatuz, puntako maximoan 60 A ematera irits daitezke (beren maximoatik oso urrun gelditzen da zifra).



Grafikoa 6. a) Korronteak HESS. b) Tentsioak HESS

Grafikoan (Grafikoa 7), bateriek igortzen duten potentziaren alderaketa ikus daiteke: ESS bakarria erabiliz edo HESSean erabilia. Aipatu den bezala, HESSean potentzia egonkorragoa izateaz gain, baxuagoa da; horrek galerak minimizatzen lagunduko du, HESSeko EDLCak bereziki horretarako erabili direlako, puntakoak xurgatzeko. Horrekin batera, bateria ez da ESS bakarrean erabiltzen den bateria bezainbeste berotuko, eta, ondorioz, bateria horrek ziklo gehiago egiteko aukera izango du, eta degradazioa txikituko da.



Grafikoa 7. Bateriak emandako potentzia bi sistemetan

### 3.4. Li-ioi bateriaren bizi-estimazioa

Aipatutako bi sistemen arteko alderaketan sakontzeko asmoz, Li-ioi baterien bizi-modeloa eraiki da sistema bakoitzean bateriak jasango duen degradazioa ikusteko [50]–[52]. Horretarako, laborategian ziklatutako 6 zelula ezberdinen datuak erabili dira. Zelula guztiak

25 °C-tan eta % 50eko SOCean ziklatu dira. Ondorengo taulan zehaztu da zelulak zer baldintzatan ziklatu diren.

Taula 14. Ziklatuko baldintzak

C-rate/DOD	% 30	% 60	% 80
1 C - 1 C	x	x	x
1 C - 2,5 C	x	-	-
2,5 C - 1 C	x	-	-
2,5 C - 2.5 C	x	-	-

Beraz, hiru zelula izan dira ziklatzen 1 C kargan eta 1 C deskargan baina hiru DOD ezberdinetan. Gainerakoak DOD berdinean izan dira ziklatzen baina kargako zein deskargako C-rate ezberdinetan.

Hasierako hurbilpen bat egiteko, C-rate berdinean baina DOD ezberdinetan dauden zelulak bakarrik erabili dira [53]. Lehenik eta behin, (6) ekuazioan ikus daitekeen bezala, kapazitate-galera,  $Kap_{gal}$  hiru faktore nagusiren mende egongo da: egindako ziklo baliokide oso kopurua,  $FEC$ ; bateria guztiek partekatuko duten degradazio-indizea,  $b$ ; eta geroago azaltzen den bezala, DODa eta C-ratea kontuan hartzeko balioko duen aldagaia,  $a$ .

$$Kap_{gal} = a \cdot FEC^b \quad (6)$$

MATLAB Curve Fitting Toolbox erabiliz,  $b$  aldagaiaren balioa lortu da kasu bakoitzerako eta, batezbestekoa eginez, balioa definituta geldituko da kasu guztietarako. Behin  $b$  balioa finkatuta dagoela, kurba bakoitzak deskribatuko duen  $a$  aldagaiaren balioa lortu da. Horretarako,  $b$  aldagaia lortzeko jarraitu den prozesu bera jarraitu da. Kasu honetan, zelula guztiak erabili dira, hau da, ziklatzeko baldintza guztiak. Behin baldintza bakoitza deskribatzen duen  $a$  aldagaiaren balioa lortuta, matrize bat sortu da DOD ezberdinekin, kargako zein deskargako  $C - rate$  balio ezberdinekin eta lortu berri diren  $a$  balioekin.

Degradazio-kurbak ikusirik,  $a$  balio esponentziala izan behar dela ondorioztatu da. Hori dela eta,  $a$  faktorea hobekien deskribatzen duen formula ondorengo hau da.

$$a = e^{p_1+p_2 \cdot DOD} + p_3 \cdot C - rate_{karga} + p_4 \cdot C - rate_{deskarga} + p_5 \quad (7)$$

Beraz,  $nlinfit$  funtzioa erabilia,  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ ,  $p_4$  eta  $p_5$  konstanteen balioak lortu dira. Modu honetan, degradazio-kurbak deskribatzen duen ekuazioa lortu da.

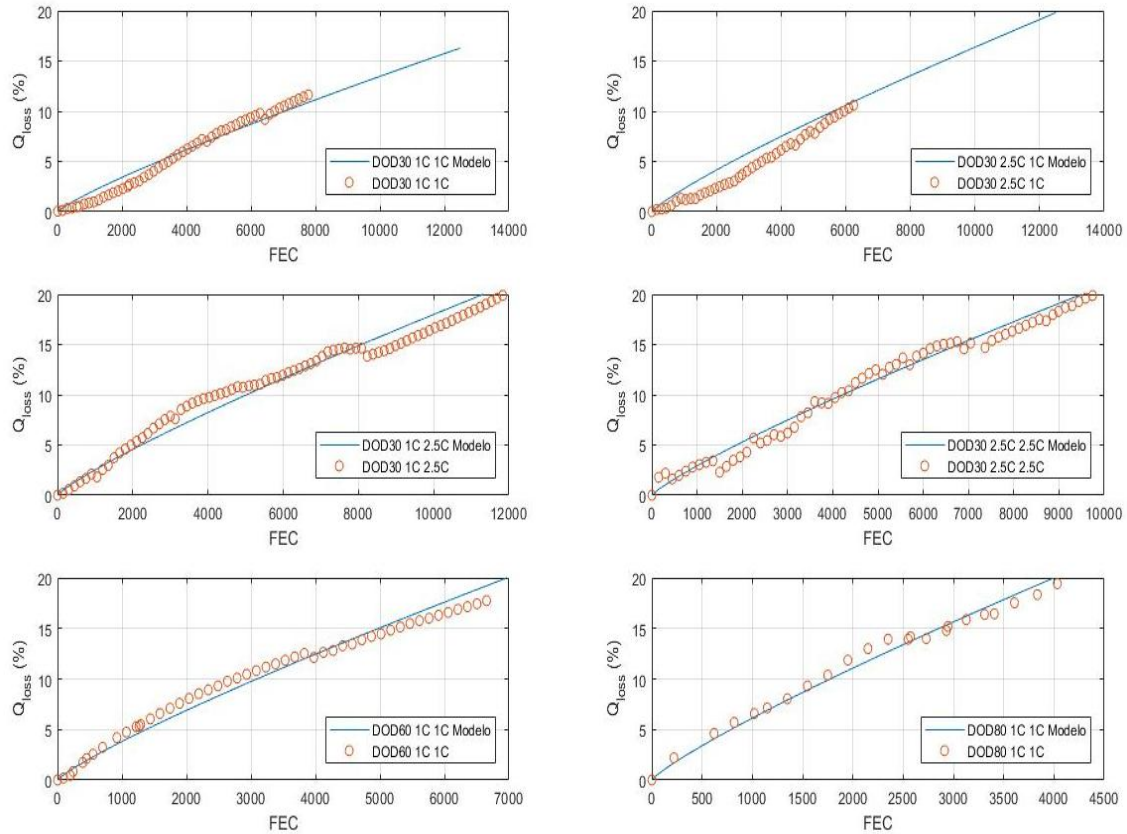
$$Kap_{gal} = (e^{p_1+p_2 \cdot DOD} + p_3 C - rate_{karga} + p_4 C - rate_{deskarga} + p_5) \cdot FEC^b \quad (8)$$

### 3.4.1 Garatutako bizi-modeloaren emaitzak

Grafikoan (Grafikoa 8), laborategiko datuek eta modeloak aurreikusitako degradazioa aldera daiteke. Oro har, DOD zein C-rate baldintza guztien aurreikuspena ondo egiten duela esan daiteke; errorea % 0,89 da. Ikus daitekeenez, modelo eta datu errealak bata bestearekin



bat datoz kasu gehienetan, baina bada ezohiko kapazitate-berreskurapen bat jaso duen zelularik, normalean denbora-tarte batez ziklatzeari utzi diolako. Horrelako puntu singularretan modeloaren zehaztasunak behera egiten du, ez baita garatu fenomeno elektrokimiko hori aurreratzeko.

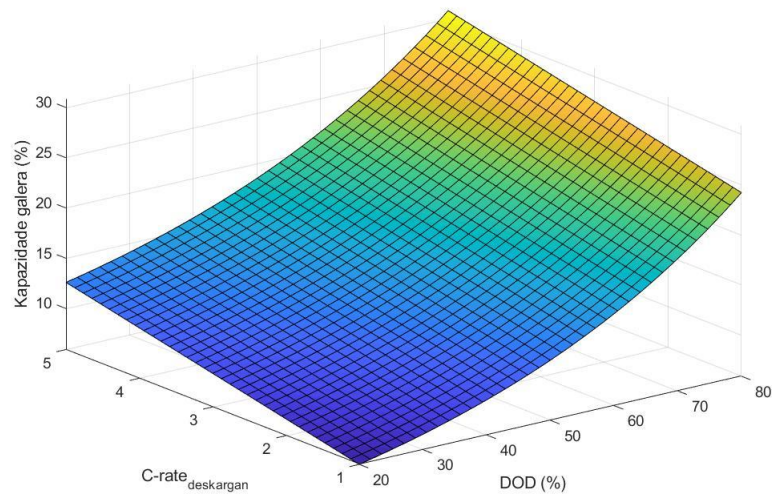


Grafikoa 8. Modeloa vs. laborategiko datuak

Bestalde, modelo zehatzagoa lortzeko, beharrezkoa da egutegiko degradazio-modelo bat egitea; hau da, zelula batek, denboran zehar biltegitatuta egoteagatik, izango duen kapazitate-galera kontuan hartzea. Hala ere, autobus elektrikoaren aplikazio zehatzerako ez da horren beharrezkoa degradazio hori kuantifikatzea. Izan ere, autobus batek urtean zehar egingo dituen zikloen kopurua horren handia izanik, ziklatzea izango da bateriak degradatzeko kausa nagusia.

Ezin izan da modeloa baliozkotu baterien inguruan dauden datu guztiak modeloa entrenatzeko erabili direlako. Hala ere, etorkizunean balio gehiago lortu nahi dira modeloa balioztatzeko.

Azkenik, hurrengo grafikoa (Grafikoa 9) ikus daiteke DOD eta deskargako C-ratearen arabera 5.000 ziklo egin ondoren zein izango den zelula batek izango duen kapazitate-galera. Espero den bezala, DOD eta C-ratea zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoa izango da zelulak jasaten duen degradazioa.



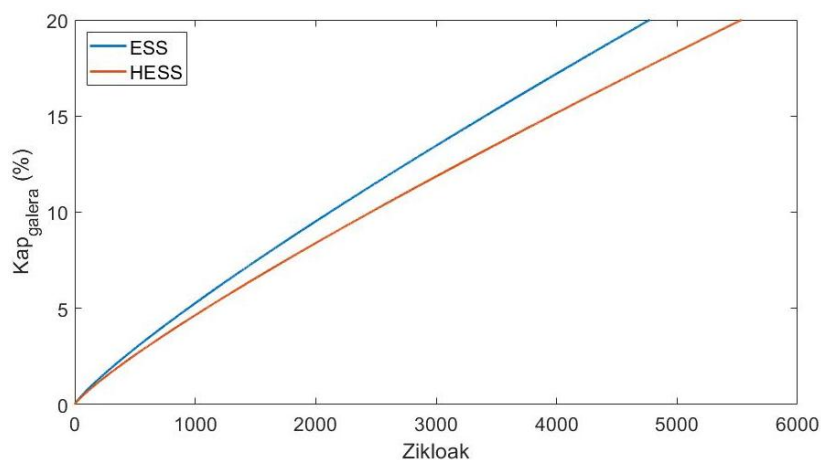
Grafikoa 9. 3-D grafikoa: DOD vs. C-rate vs. kapazitate-galera

### 3.4.2 ESS bakarreko sistemaren eta HESSa erabiltzen duen sistemaren arteko alderaketa

Aurretik aipatu den moduan, sistema 8 orduz etengabe lan egiteko prestatuta dago. Ziklo oso bat egingo du egunero; 365 ziklo urtean, beraz. Normalean, 15 urte inguruko balio-bizitza izan ohi du garraio publikoko autobus batek [54]–[56]. Hori dela eta, sistemak 5.475 ziklo egiteko gai izan behar du.

Simulazioak egin ondoren, bi sistemetatik igarotzen diren korrontek ezagunak dira, hortaz, baita C-rateak ere. Aipatu bezala, sistemaren DODa % 80 ingurukoa da. Informazio horrekin guztiarekin, sistema bakoitzaren balio-bizitza kalkulatu da.

Hurrengo grafikoa (Grafikoa 10) ikus daitekeen bezala, % 20ko galerara iristen den lehenengo sistema bateriak bakarrik erabiltzen dituen sistema da. ESS bakarreko sistema 4.750 ziklo egiteko gai da bere balio-bizitzaren bukaerara iritsi arte. Aldiz, HESSaren balio-bizitza luzeagoa da, eta gainditu egiten du 5.475 zikloko muga hori.



Grafikoa 10. Sistemaren bizi-itxaropena

Horrenbestez, esan daiteke, ESSan aldaketa egin gabe proposatutako balio-bizitza egitera irits daitekeen sistema bakarra HESSekoa dela.

Behin balio-bizitza izanik, bi sistemek osatzen duten ESSen kostua alderatu da. Bateria Valence etxeak eraikitako Li-ioizko bateria da, U1-12XP modelokoa [57]. Aldiz, EDLCak LSMtron etxeak eginikoak dira; LSUC modelokoak, hain zuzen ere [58]. ESS bakarreko sistemak Valence bateria bakarria behar du; HESSak, aldiz, Valenceko bateriaz gain, EDLCak ere erabiltzen ditu; beraz, hasierako kostua areagotzen da.

Taula 15. Erabilitako ESS bakoitzaren ezaugarriak

	Valence U1-12XP	LSMtron LSUC 2.8 V
Kapazitatea/kapazitantzia	40 Ah	350 F
Tentsioa	12,8 V	2,8 V
Energia	480 Wh	0,38 Wh
Pisua	6,5 kg	72 g
Deskarga-korronte maximoa	120 A	231 A
Kostua	484 €	5,95 €

Aurreko taulako (Taula 15) datuak ikusita, ESS bakarria erailtzen duen sistemak 484 €-ko kostua izango luke; HESSak, berriz, 543,5 €-koa. Aurretik aipatu den moduan, ESS bakarria erabiltzen duen sistemak ezin du bateria-aldaketarik egin gabe 15 urteko balio-bizitza eskaini, eta, horregatik, sistema hori ezartzearen kostua handiagoa izango da autobusa 15 urtez erabili nahi bada. Aldiz, HESSa erabiltzen duenak 15 urte horiek irauteko gaitasuna du inolako aldaketarik gabe. Autobusaren bizitza guztian zehar ESS sistemek izango duten kostua kalkulatzeko ziklo bakoitzak duen prezioa kalkulatu balitz, guztira, % 4 inguru aurreztuko litzateke HESSa erabiliz gero.

### 3.5. Sistemaren simulaziotik ateratako ondorioak

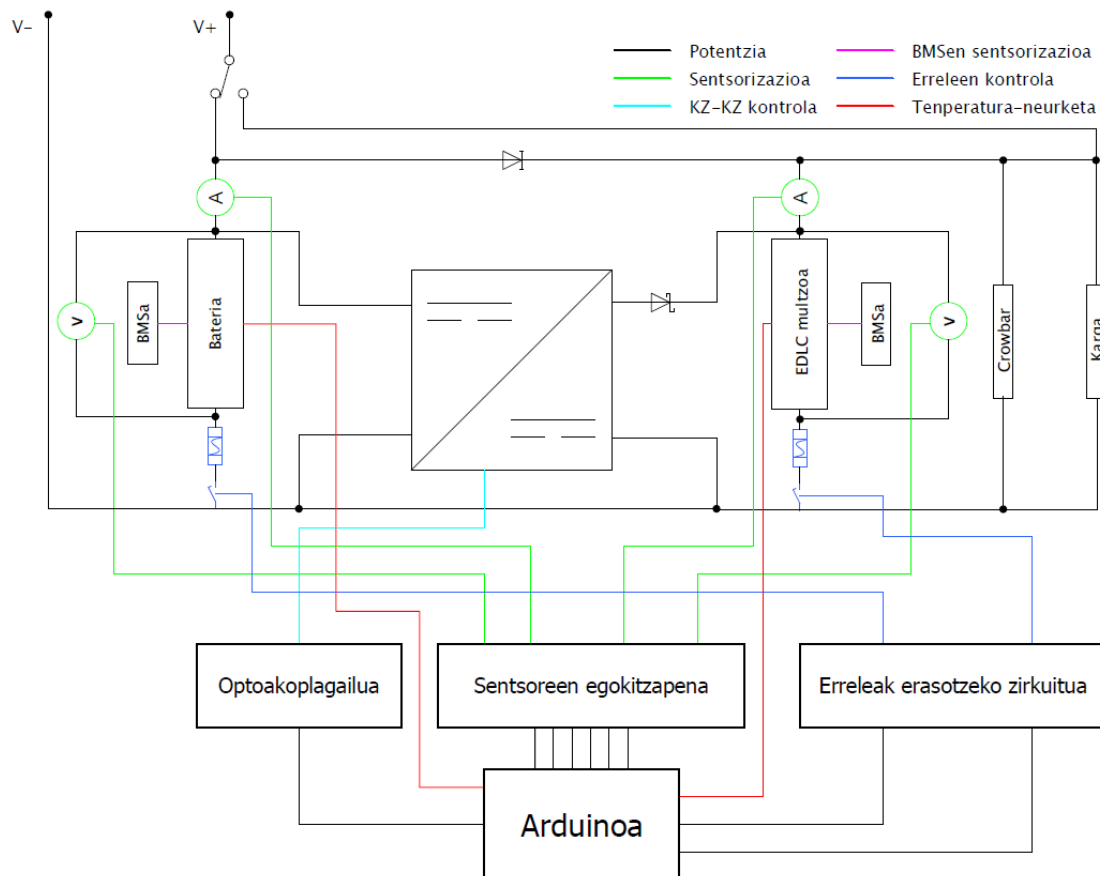
Atal honetan ikusi denez, HESSak hainbat abantaila ditu ESS bakarria erabiltzen duen sistemarekin alderatuta. HESSa ondo dimentsionatuta egonez gero, profilak dituen puntako potentziako uneak EDLCen bitartez elikatuko dira, eta, era honetan, bateriak potentzia konstanteagoan funtzionatzeko aukera izango du.

ESS bakarria duen sistemarekin alderatuta, HESSean korrontea eta intentsitatea linealagoak dira. Horrek, ikusi den bezala, bateriaren balio-bizitza luzatzea ekarriko du. Modelo zehatzago bat burutzeko falta diren datuak direla eta, ezin izan da ikusi nolako eragina duen tenperaturak balio-bizitzan. Azterlanen arabera, korronte altuak bateriak potentzia gehiago xahutzea ekarriko du, eta, ondorioz, tenperaturak gora egingo du eta balio bizitza laburtu egingo da [50].

Faktore horiek guztiek eragina izango dute sistema bakoitzak duen kostuan. Autobus batean HESSa ezartzeak biltegitratze-sistemaren kostuan % 4 aurrezteka ekarriko luke.

## 4. Eraikitako demostradorea

Atal honetan, demostradorea (Irudia 21) nola eraiki den azaltzen da. Hasteko, osagaiak zer-nola hautatu diren eta zirkuituak nola egin diren adierazten da. Jarraian, simulazioaren atalean azaldu den kontrol-estrategia kontrol-txartelean nola ezarri den jaso da.



Irudia 21. Sistemaren eskema orokorra

### 4.1. Osagaien hautaketa eta muntaketa

Jarraian ikusiko den moduan, sistemari zenbait segurtasun-neurri ezarri zaizkio, hala nola, crowbar zirkuitua eta erreleak. Bestalde, beharrezkoak diren tentsio-, korronte- eta tenperatura-neurgailuz hornitu da sistema. Horrekin batera, kontrol-txartelek neurgailuen seinalea irakurri ahal izateko egokitzapen-sistemak egin dira. Azkenik, EDLCak orekatuta mantentzeko erabili den BMSa azaldu da.

#### 4.1.1 Sistemaren kontrola

Sistema osoaren kontrola Arduino bidez egingo da; beraz, hori izango da sistemaren burmuina, sensorizazioaz arduratuko dena, kontaktoreak noiz ireki eta noiz itxi erabakiko duena eta KZ-KZ bihurgailua martxan jarri edo itzaliko duena.

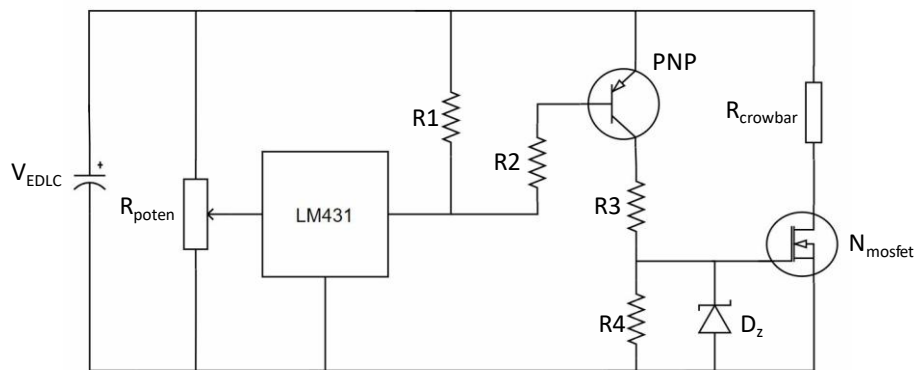
Sentsorizazioa dela eta, beharrezkoa da Arduinoak behar adina sarrera izatea: 9 sarrera analogiko tentsio-, korronte- eta tenperatura-neurgailuetako seinalea irakurri ahal

izateko. Sarrera analogikoez gain, hiru irteera digital behar ditu, erreleatarako eta KZ-KZ bihurtzailua martxan jartzeko.

Etorkizunean sistema hau Ikerlanen garatzen ari den bateria eta EDLCen bizi-estimazioaren modelo banaz hornitu nahi denez, modelo hau linean (online) prozesatzeko ahalmen nahikoa duen Arduinoa behar da. Hori guztia kontuan harturik, Arduino DUE bat erabili da [59].

#### 4.1.2 Crowbar zirkuitua

Profilean zehar ematen diren frenatze birsortzaileko uneetan, EDLCak kargatu egiten dira. Hori dela eta, EDLCak 28 V-etik gora igo daitezke. Kargatzen jarraituz gero, tentsioak gora egingo du; ondorioz, kapazitantzian galerak emango dira,  $R_f$ -an igoera, eta lehertzea edo barne-gasen aireztatzea gerta liteke [60]. Hori ekiditeko beharrezkoa da sistemari segurtasun-sistema bat jartzea; alegia, ondorengo irudian (Irudia 22) ikus daitekeen crowbar zirkuitua.

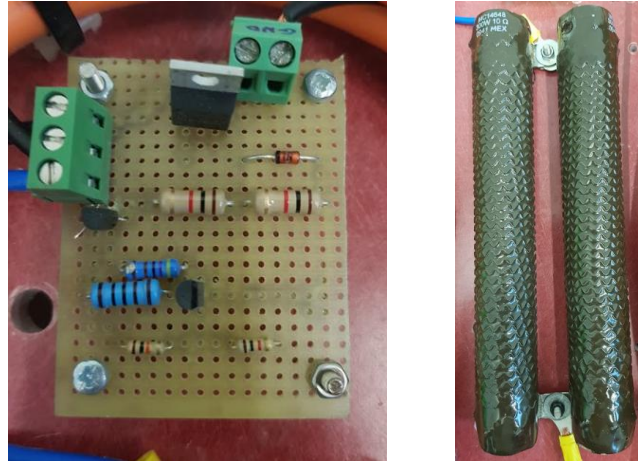


Irudia 22. Crowbar zirkuituaren eskema elektrikoa

Crowbar zirkuituak EDLCak eta sistema babesteko balioko du. EDLCak 28 V ingurura iristean jarriko da martxan, eta freno birsortzaileak sortutako energia guztia xurgatuko du. Hori horrela, EDLCak ez dira 28 V-etik gora kargatuko —aurretik aipatutako arriskuak ekidindo dira, hortaz—.

Crowbar zirkuituaren osagaiak LM431 boltaje-erreferentzia (LM431 aurrerantzean), BC560 PNP transistorea, RFP50N06 MOSFET transistorea, DO-41 Zener diodoa eta  $R_{crowbar}$ ,  $R_{poten}$  eta  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  eta  $R_4$  erresistentziak dira, 5  $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 4,7 k $\Omega$ , 1 k $\Omega$  eta 1 k $\Omega$  balioak dituztenak, hurrenez hurren.

EDLC multzoa 28 V-era iristen denean, LM431ren sarreran, potentziometroaren bitartez 2,5 V emango dira; ondorioz, LM431aren irteeran, 0 V egongo dira. LM431ren irteeran 0 V daudenean, PNParen oinarria 0 V-tan egongo da eta, une horretan, PNPtik korronea igarotzen hasiko da. Era honetan,  $R_3$  eta  $R_4$  erresistentzien artean tentsio nahikoa egongo da MOSFETaren atea aktibatzeke. Atea aktibatzean MOSFETa itxi egingo da eta erresistentziak frenatze birsortzaileko une horretan sortutako energia guztia erreko du.

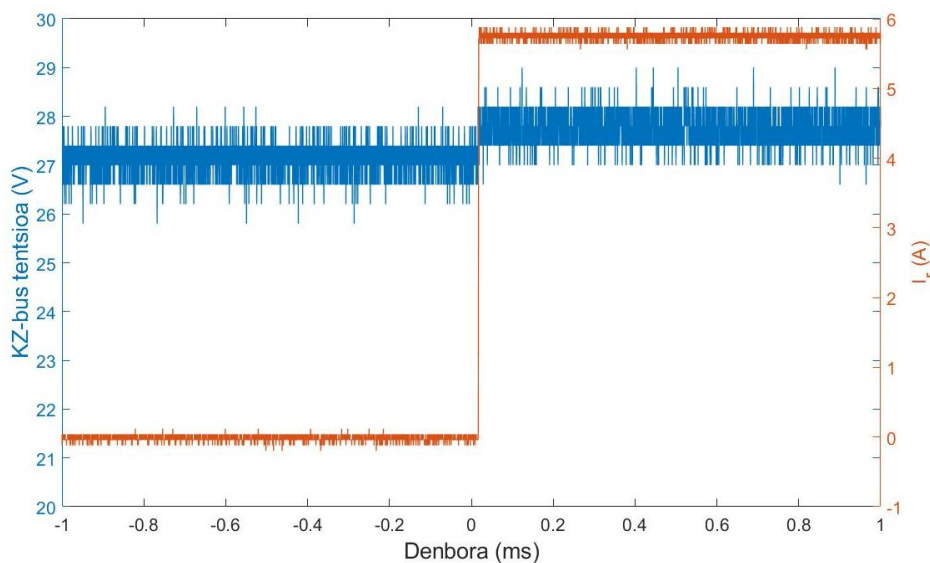


Irudia 23. Muntatutako crowbar zirkuitua

Sistemak ondo funtzionatzen duela frogatzeko, hainbat saiakuntza egin dira. Lehenik eta behin, crowbar zirkuituko erresistentzia kenduta, PNPak eta MOSFETak behar bezala funtzionatzen dutela ikusi da; horretarako, tentsioa gutxika igotzen joan da 28 V-era iritsi arte. Froga horren bitartez, aktibazio-sistemak behar bezala funtzionatzen duela egiaztatuta da.

Bigarrenik, crowbar zirkuituko erresistentziaren balio bikoitza duen erresistentzia konektatu da eta, hala, 28 V-tan sistemak xurgatuko duen potentzia txikitu egin da. Ziurtatu da, bada, izendatutakoan baino potentzia baxuagoan, sistemak espero den bezala funtzionatzen duela.

Azkenik, sistema diseinatutako osagaiekin eta potentzia izendatuan frogatu da. Minutu erdiz frogatu da potentzia izendatuan, 160 W-etan; izan ere, frenatze birsortzaileko une luzeenak ez du 30 segundo baino gehiago irauten. Osagaiak beren temperatura-mugen barruan daudela ikusita, diseinatutako zirkuitua egokia dela ondorioztatu da.



Grafikoa 11. Crowbar zirkuitua gaitzea

Grafikoan (Grafikoa 11) ikus daiteke KZ-busa 28 V ingurura iristen denean crowbar zirkuitua gaitu egiten dela eta crowbar erresistentziak 150 W inguru kontsumitzen duela. Grafikoa osziloskopioaren bitartez lortutako datuekin egin da.

### 4.1.3 Tentsio-, korrante- eta temperatura-neurgailuak

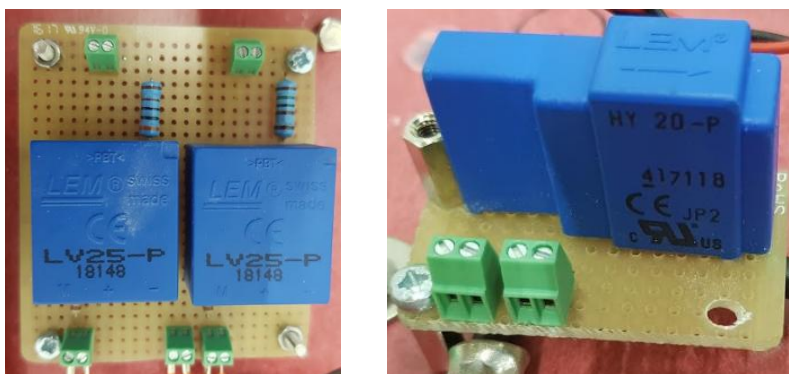
Sistemaren ganean kontrola ezartzeko, zenbait parametro neurtu behar dira, eta, neurtzeko, zenbait neurgailu erabili dira. Korrontea eta tentsioa neurtzeko, LEM markako neurgailuak erabili dira. Temperatura neurtzeko, berriz, osagai erdieroale batean oinarritutako TMP36 neurgailua erabili da. Taulan (Taula 16) neurgailuen ezaugarri orokorrak ikus daitezke.

Aurrerago ikusiko den bezala, korrante- zein tentsio-neurgailuak Arduinoarekin irakurri ahal izateko neurgailuetatik datorren seinalea egokitu beharra dago.

Taula 16. Neurgailuen ezaugarri orokorrak

	LEM LV25-P	LEM HY 20-P	LEM HY 25-P	TMP36
Neurtze-tartea	$\pm 14$ mA	$\pm 60$ A	$\pm 75$ A	$(-40)$ - $125$ °C
Zehaztasuna	$\pm 0,9$ %	$< \pm 1$ %	$< \pm 1$ %	$\pm 1$ °C
Elikadura-tentsioa	$\pm 15$ V	$\pm 15$ V	$\pm 15$ V	2,7-5 V
Kontsumitze-korrontea	$\pm 10$ mA	10 mA	10 mA	50 $\mu$ A

Tentsio-neurgailuei dagokienez, bi LEM LV25-P neurgailu erabili dira. Neurgailuek EDLC multzoaren eta bateriaren tentsioak irakurriko dituzte beren mugetatik pasatzen ez direla ziurtatzeko. Neurgailuaren sarreran 10 mA egon daitezkeenez gehienez, erresistentzia bat erabili da korrontea mugatzeko.

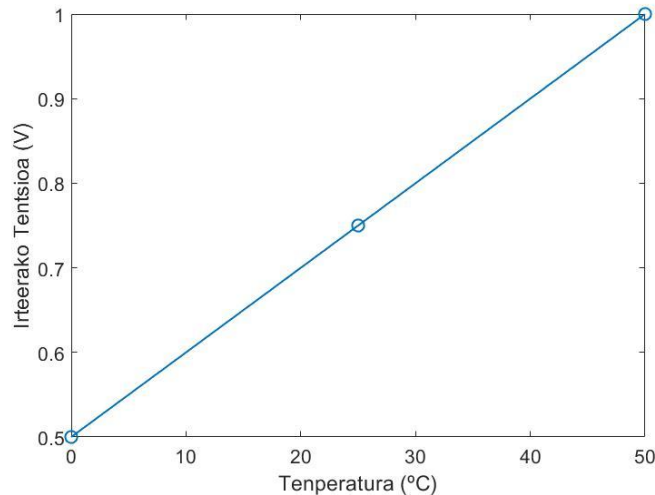


Irudia 24. Tentsio- eta korrante-neurgailuak

Korrante-neurgailuek bateriak zein EDLCek igorritako korrontea neurtuko dute. Korrante-neurgailuak ere LEM etxekoak dira; hain zuzen ere, HY 20-P eta HY 25-P modelokoak. Kasu honetan, neurgailuek ez dute erresistentzien beharrik funtzionatzeko. Sarreran korrante bat aplikatzen denean, korrontearen arabera irteeran neurgailuak tentsio bat itzuliko du, 0 eta  $\pm 15$  V artekoa.

#### 4.1.3.1 Temperatura-neurgailua

TMP 36 temperatura-neurgailuak 3,3 V-era elikatuko direnez, irteeran gehienez tentsio hori igorriko dute. Hori horrela izanik, bada, ez dago egokitzapen-zirkuiturik erabiltzeko beharrik. Hurrengo grafikoan (Grafikoa 12), temperaturaren arabera tentsioa nola aldatzen den ikus daiteke.



Grafikoa 12. Temperatura-neurgailua

#### 4.1.3.2 Egokitzapen-zirkuituak

Egokitzapen-zirkuituek helburu bikoitza dute. Alde batetik, neurgailuen irteerako seinalea Arduinoak jasan ditzakeen tentsioetara egokitzea. Bestetik, segurtasun-zirkuitu gisa ezarriko da, ziurtatzeko Arduinoaren sarreran izango diren seinaleak ez direla inoiz 3,3 V baino altuagoak izango, Arduinoa ez hondatzeko. Horretarako, OP491GPZ amplifikadore operazionala erabili da. Tentsio- zein korrante-neurgailuen egokitzapena egiteko, eskema bera erabili da (Irudia 25), baina erresistentzien balioa aldatu da. Operazionalen irteera 3,3 V-etik igo ez dadin, 3,3 V-era elikatuko da; hartara, irteerako seinaleak ez du inoiz muga horretatik gora egingo.

#### Tentsio-neurgailuak

Aurretik aipatu den moduan, tentsio-neurgailuen sarreran korrantea mugatzeko erresistentzia erabili da. Horretarako, Ohm-en legeari jarraituz, bateriaren eta EDLCen tentsioa neurtuko duen neurgailuaren sarreran erabiliko diren erresistentziak kalkulatu dira ondorengo formularen (9) bitartez.

$$R = \frac{V_{max}}{I_{max}} \quad (9)$$

Bateria-neurgailuaren sarreran, 1,5 kΩ-ko erresistentzia erabili da; EDLC multzoaren tentsio-neurgailuan, aldiz, 2,8 kΩ-eko erresistentzia.

Irteerako korrantea sarrerako korrantea baino 2,5 aldiz handiagoa da, hots, 25 mA sarreran 10 mA ematen direnean. Hala, irteeran zer erresistentzia erabili den, tentsio bat edo

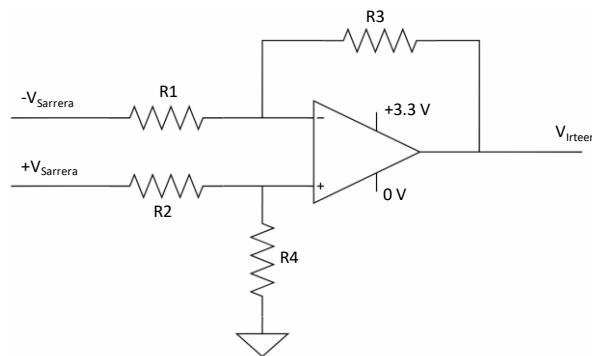


beste irakurriko du Arduinoak. Kasu honetan, erresistentzia-balio berdina erabili da bi neurgailuetarako, 120 Ω-ekoa. Neurgailuaren irteeran ESSak beren tentsio maximoan daudenean, 3 V emango dira.

Tentsio-neurgailuen bi kasuetarako konfigurazio bera erabili da seinalea egokitzeko — hurrengo irudian (Irudia 25) ikus daiteke—. Kasu honetan, neurgailuak ematen duen seinalearen goiko muga igo nahi denez, sarrerako tentsioa %10 igoko da. R1 eta R2 erresistentzietan balio bera dute, 15 kΩ; eta R3 eta R4 erresistentzietan balio bera, 3,3 kΩ. Erresistentzien kalkulua egiteko, ondorengo ekuazioa (10) erabili da.

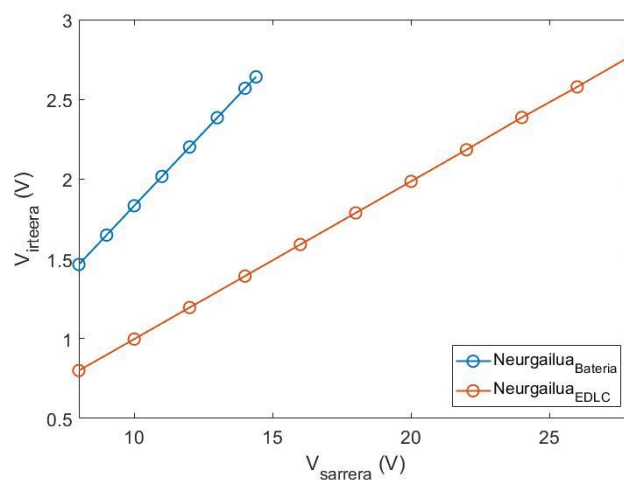
$$V_{Irteera} = \frac{R_3}{R_1} V_{Sarrera} \quad (10)$$

Seinalea anplifikatzean, irteerako seinalearen anplitudea sarrerakoa baino altuagoa da; Arduinoaren bereizmena hobetzea dakar horrek, bada.



Irudia 25. Sentsoreen egokitzapenaren eskema elektrikoa

Hurrengo grafikoan (Grafikoa 13), bateriaren zein EDLCen tentsio ezberdinetarako Arduinoak irakurriko dituen tentsioak adierazten dira. Grafikoan ikus daitekeenez, joera-lineek modu esperimentalean lortutako puntuak lotzen dituzte eta zuzen bana osatzen dute — Arduinoko ezarpena asko erraztuko du horrek, ez baita kalkulu konplexurik egin behar—.

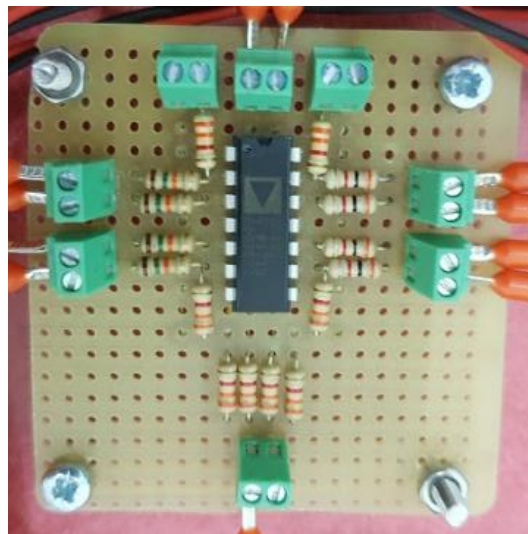


Grafikoa 13. Tentsio-neurgailuen egokitzapena

### Korronte-neurgailuak

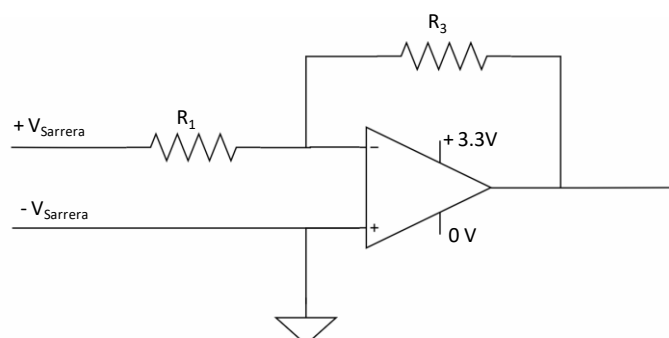
Korronte-neurgailuaren irteeran eman daitezkeen  $\pm 15$  V-ak direla eta, beharrezkoa da seinaleen egokitzapena egitea, Arduinoaren sarrera gehienez 3,3 V izan daiteke eta.

Korronte-neurgailuak korronte-balio positiboa irakurtzen duen kasua tentsio-neurgailuen kasuaren antzerakoa da, baina, kasu honetan, neurgailuaren irteeran dagoen tentsioa txikitu nahi da; hori dela eta, aurreko ekuazioari (10) jarraituz, R1-ek eta R2-k 3,3 k $\Omega$ -eko balioa izango dute, eta R3-k eta R4-k 3 k $\Omega$ -ekoa. Aurreko grafikoan (Grafikoa 14) ikus daitezkeen bezala, korronte-neurgailuek jasan dezaketen korronte maximoa irakurtzen dutenean, Arduinoaren sarreran 3,3 V emango dira gehienez.



Irudia 26. Muntatutako sentsoreen egokitzapen-zirkuitua

Korronte-neurgailuen kasuan gerta daiteke, halaber, korrontea negatiboa izatea; horregatik, hasiera batean azaldutako zirkuituak ez du balio, Arduinoak ezin baitu tentsio-balio negatiborik irakurri. Hori horrela izanik, beharrezkoa da hurrengo irudian (Irudia 27) ikus daitezkeen egokitzapen-zirkuitua muntatzea. Lortutako emaitzak aurreko grafikoan (Grafikoa 14) ikus daitezkeen emaitza berak dira, baina korronte-balio positiboak izan beharrean negatiboak dira.

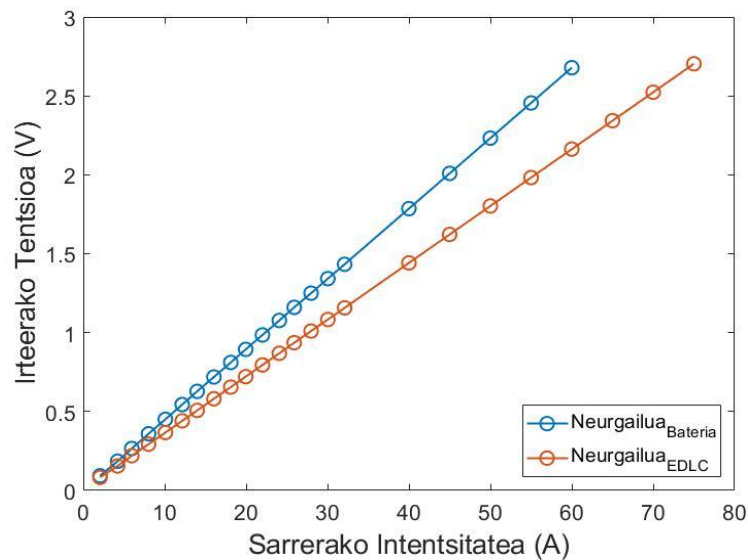


Irudia 27. Sentsoreen egokitzapena korronte negatiboetarako

Konfigurazio honen erresistentzien balioak hurrengo formularen (11) bitartez lortu dira, R1-ek 3,3 kΩ eta R3-k 3 kΩ.

$$V_{Irteera} = -\frac{R_3}{R_1}V_{Sarrera} \quad (11)$$

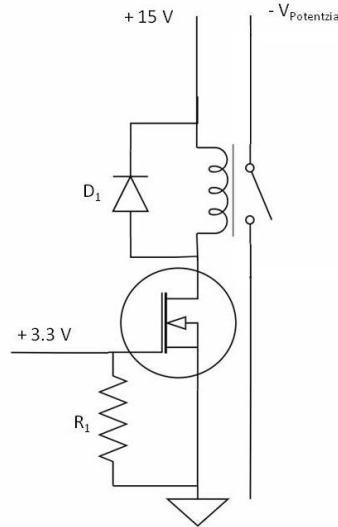
Neurgailuak eta dagozkien egokitzapen-zirkuituak batera frogatu dira. Korrante-iturriak erabilia, hainbat tentsio- eta intentsitate-balio aplikatu dira neurgailuen sarreran. Sarrera bakoitzaren arabera irteera nola aldatzen den ikusi da; hala, aurretik aipatutako bi grafikoak lortu dira (Grafikoa 13 eta Grafikoa 14).



Grafikoa 14. Korrante-neurgailuen egokitzapena

#### 4.1.4 Babes-neurriak

Bateriak zein EDLCek segurtasun-mugak gainditzen ez dituztela ziurtatzeko, Arduinoaren bitartez kontrolatuko diren DG85C erreleak erabili dira. Erabilitako erreleek tentsio eta intentsitate altuak jasateko gai izan behar dute (28 V eta 75 A). Aukeratutako erreleetan kontaktua itxiko duen bobinak gutxienez 14 V-etan funtzionatzen du. Arduinoaren irteera gehienez 3,3 V emateko gai denez, beharrezkoa da zirkuitu bat erabiltzea errelearen bobina erasotzeko.



Irudia 28. Errelea erasotzeko zirkuitua

Zirkuituko (Irudia 28) MOSFETaren atea erasotzeko, energia gutxi behar izateaz gain, Arduinoarekin erasotzeko aukera ematen du. Behin Arduinoaren irteera digitalean 3,3 V eman direla, MOSFETak zirkuitua itxiko du eta 15 V-eko iturriaz baliatuz errelearen bobina erasoko da potentziako zirkuitua itxiz. MOSFETaren atea irekitzen denean, zirkuitua ireki egingo da. Bobinan emango den puntako tentsioa disipatzeko, diodoa ( $D_1$ ) erabili da.

#### 4.1.5 EDLCen BMSa

EDLCen arteko tentsio-desoreka ekiditeko eta hainbat balio irakurtzeko, BMS morroia zein nagusia erabiliko dira. Ordenagailutik programatzeko ematen dituen aukerak direla eta, Lithium Balance etxeko BMSa aukeratu da (Irudia 29).

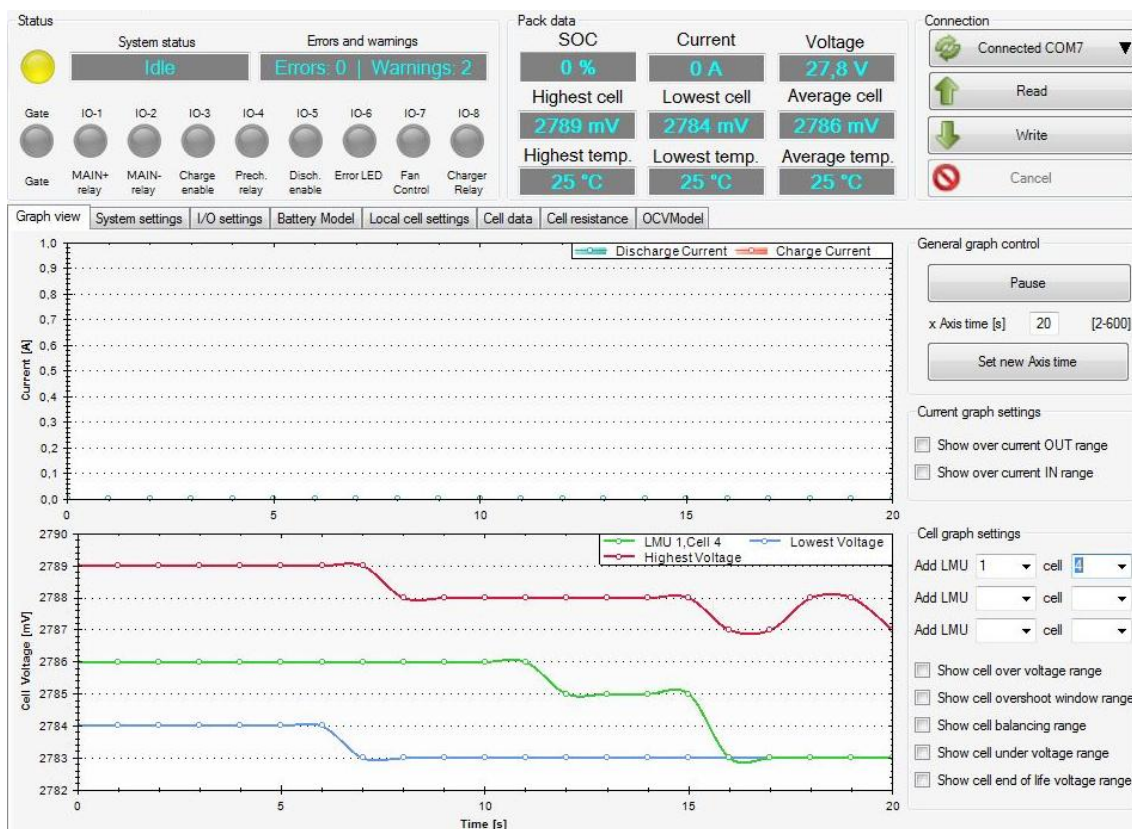
EDLCak seriean konektatuta daudenez, karga- eta deskarga-prozesuetan desorekak eman daitezke, eta horrek gerora energia biltegitartzeko gaitasuna galtzea ekar dezake. Hori ekiditeko, BMSak kargatuen dauden zelulak deskargatu egiten ditu beste zelulen mailara.



Irudia 29. Lithium Balance-ko BMSa

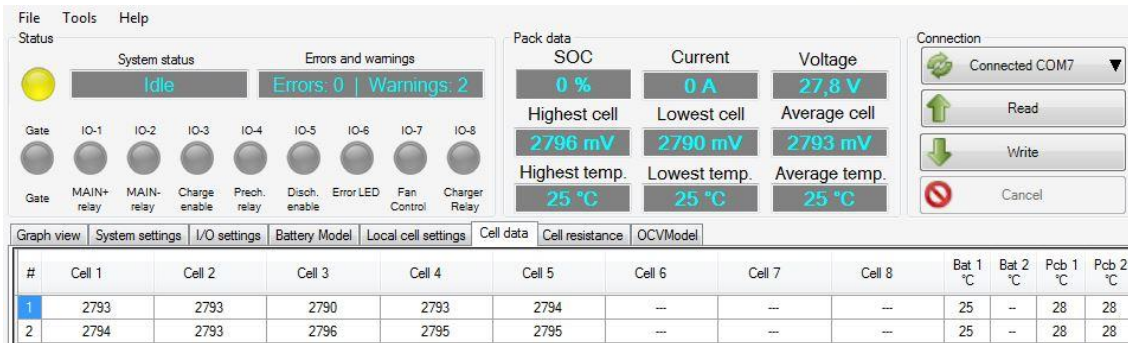
Horrez gain, irudian (Irudia 29) ikus daitekeen bezala, BMSaren softwareak sistemak arazorik edo abisurik duen adierazten du, gain- edo behe-tentsioa adibidez. Horrez gain, EDLC multzoaren SOCa, uneko korrontea, tentsioa eta temperatura erakusten du, nahiz eta irudian (Irudia 29) ikus daitekeen moduan, BMSak korronterik irakurtzen ez duenez, ez den korronte eta SOC baliorik agertzen. Aldiz, bigarren grafikoak, kargatuen eta deskargatuen dauden zelulak erakustez gain, multzoko edozein zelularen tentsioa erakusteko aukera ematen du.

BMSak zelulak noiz hasiko dituen orekatzen programatzeko aukera du eta kasu honetan zelularik altuena 2,75 V-etik gora dagoenean izatea aukeratu da. Hala, zelula bat 2,75 V-era iristen denean, zelula hori edo tentsio horretan dauden zelula guztiak tentsio horretan mantentzen saiatuko da, deskargatuen dagoen zelula tentsio horretara iritsi arte. Une horretan, multzoa kargatzen jarraituko du, zelula guztiek 2,8 V izan arte. Zeluletako batek 2,8 V-etik gora egingo balu, BMSak 2,8 V-era deskargatuko luke.



Irudia 30. BMSaren softwarea. Pantaila nagusia.

Pantaila guztietan ageri den informazioa ematez gain, zelula bakoitzak duen tentsioa unero bistaratzeko aukera ematen du. Irudian (Irudia 31) ikus daiteke multzoa osatzen duten zelula bakoitzaren tentsioa eta multzoaren temperatura zein den.



Irudia 31. BMSaren softwarea. Zelulen datuak

Demostradorean kontrola Arduinoaren bitartez egingo denez, BMSa EDLCak orekatzeko eta aurretik aipatutako zenbait balio ikusteko baino ez da erabiliko; ez da kontrol-gailu gisa erabiliko.

#### 4.1.6 Baterien BMSa

EDLCen antzera, bateriak ere BMSa behar du zelulen arteko desoreka gerta ez dadin. Demostradorea eraikitzeke erabiliko den Valence bateriaren kasuan, modulu bakoitzak bere BMS morroia txertatuta dakar. Ondorioz, ez dago beste BMSrik gehitzeko beharrik.

BMS morroiaz gain, BMS nagusia jartzeko aukera ematen du. Horrek ere zenbait parametro konfiguratzeko aukera ematen du, nahiz eta lan honetarako erabili ez den.

#### 4.1.7 KZ-KZ bihurgailua

Sistemaren simulazioaren atalean aipatu den bezala, KZ-KZ bihurgailuak 90 W inguru izan behar du. 10 V eta 14,6 V arteko sarrera onartu behar du eta 10 V eta 28 V arteko irteera eskaintzeko gai izan behar du. Azkenik, beharrezkoa da KZ-KZ bihurgailuak abiarazi eta itzaltzeko aukera ematea.

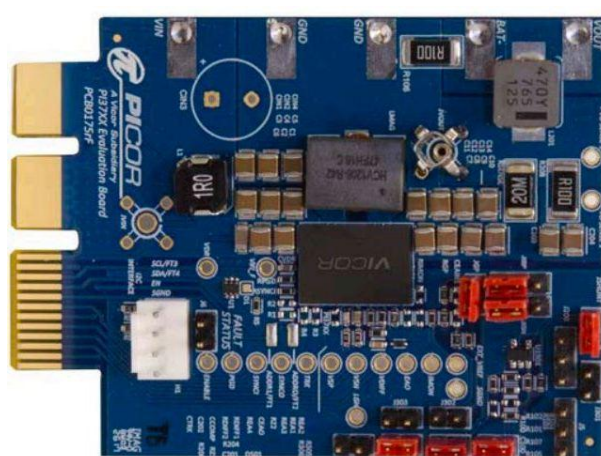
Hori guztia kontuan izanda, Vicor PI3740 txipa aukeratu da [61]. 8-60 V arteko sarrera sartzeko eta 10-50 V arteko irteera emateko aukera ematen du, eta 50-140 W inguruko potentzia igortzen du. KZ-KZ bihurgailuak hainbat segurtasun-neurri ditu: gaintentsioaren eta azpitentsioaren kontrako babesa, sarreran zein irteeran; gaintentsioaren kontrako babesa eta azpitentsioaren kontrako babesa. Irteerako tentsioa 12 edo 24 V-era fabrikatik finkaturik ekarri arren, nahi den irteerako tentsioa ezartzeko aukera ematen du. Potentzia gehiago behar izanez gero, KZ-KZ bihurgailu gehiago paraleloan jartzeko aukera ematen du, pin baten bitartez KZ-KZ bihurgailuen arteko sinkronizazioa eginez.

Errazago muntatzeko, ebaluazio-txartel bat erabili da: Vicor PI3740-00-EVAL1 txartela, hain zuzen ere [62]. Hona hemen erabili den txartelaren ezaugarrien taula (Taula 17).

Taula 17. VICOR PI3740-00-EVAL1 txartelaren ezaugarriak

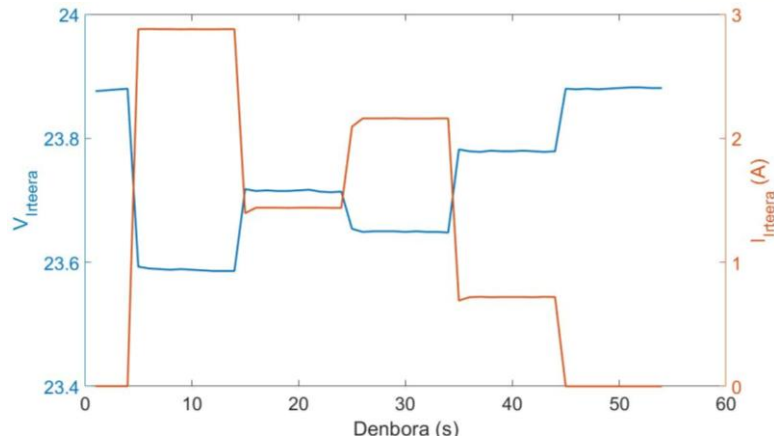
Vicor PI3740-00-EVAL1	
Sarrerako tentsioa	8-60 V
Irteerako tentsioa	10-50 V
Potentzia	50-140 W
Efizientzia	<96 %
Erabilera-tenperatura	(-40)-115 °C
Paraleloan jartzeko aukera	Bai
Babesak	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gaintentsioa</li> <li>- Azpitentsioa</li> <li>- Gehiegizko korrontea irteeran</li> <li>- Gehiegizko tenperatua</li> </ul>

KZ-KZ bihurgailuak simulazioan bezala funtzionatuko du, hau da, EDLC multzoak 20 V-etik behera erortzean, KZ-KZ bihurgailua martxan jarriko da eta etengabe jarraituko du martxan harik eta EDLC multzoa berriro ere 24 V izatera iritsi arte. Beste osagaiekin egin den bezala, KZ-KZ bihurgailuari hainbat froga egin zaizkio, batetik, segurtasun-neurriak frogatzeko eta, bestetik, behar bezala funtzionatzen duela egiaztatzeko.



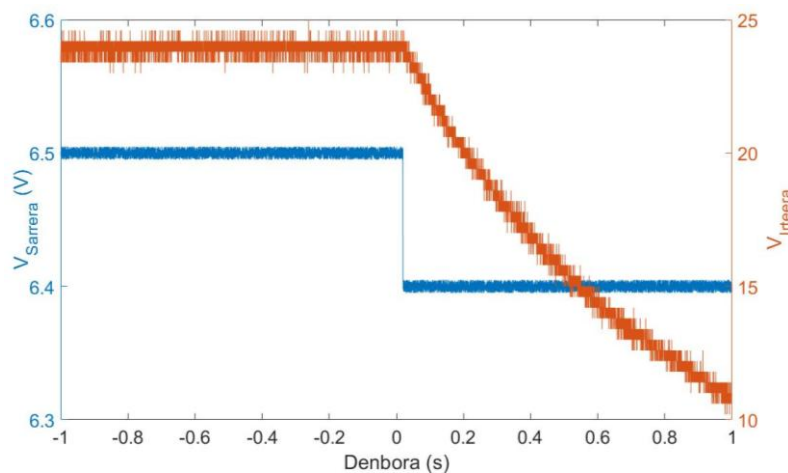
Irudia 32. Vicor PI3740-00-EVAL1

Lehenik eta behin potentzia baxuan frogatu da: sarreran 12 V eta irteeran 24 V. Gutxika potentzia igotzen joan zaio potentzia izendatura iritsi arte, kasu honetan, 90 W inguru. Ondoren, sarrerako tentsio finko batean, potentzia-eskaera aldatu zaio, grafikoan (Grafikoa 15) ikus daitekeen bezala. Behin potentzia izendatura iritsita sarrerako tentsioa aldatu zaio 8-14,4 V artean, eta ikusi da irteerako tentsioa beti 24 V-tan mantentzen duela.



Grafikoa 15. KZ-KZ bihurgailuaren portaera potentzia-eskaera ezberdinetan

Behin baldintza normaletan ondo funtzionatzen duela ikusita, babes-neurriak frogatu dira. Lehenik eta behin, sarrerako gain- eta behe-tentsioko babes-neurria frogatu da. Froga honen bitartez ikusi da KZ-KZ bihurgailua automatikoki itzaltzen dela tentsioa 6,4 V ingurura jaisten denean. Gauza bera gertatzen da sarrerako tentsioa 65 V ingurura heltzen denean. Irteeran gehiegizko korrante-babesa frogatzeko, irteerari zirkuitulaburra egin zaio, eta berriro ere KZ-KZ bihurgailua bere kabuz itzali da.



Grafikoa 16. Behe-tentsioko froga

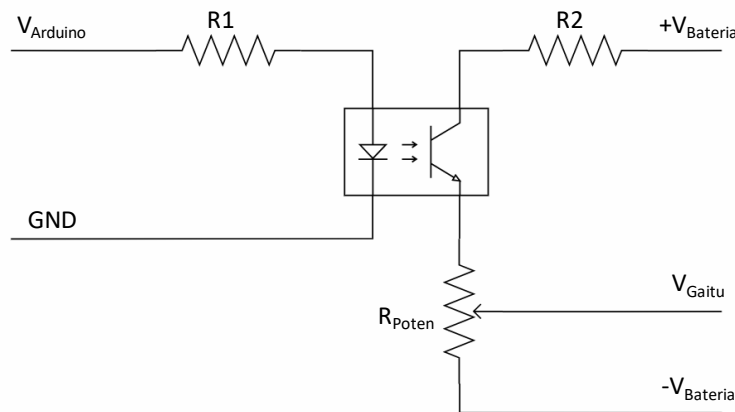
Grafikoan (Grafikoa 16), behe-tentsioko babesa frogatu da. Osziloskopia erabiliz, sarrerako eta irteerako tentsioa neurtu da. Ikus daitekeenez, KZ-KZ bihurgailuak tentsioa 24 V inguruan mantentzen duela ikus daiteke sarrerako tentsioa 6,5 V inguruan dagoenean, aldiz, 6,4 V-era jaistean, KZ-KZ bihurgailua itzali egiten da. Kargarik konektatua ez dagoenez, tentsioa gutxika jaitsiko da.

#### 4.1.8 KZ-KZ bihurgailua gaitzeko zirkuitua

KZ-KZ bihurgailua gaitzeko behar den seinalea Arduinoaren bitartez bidaliko denez, eta KZ-KZ bihurgailuak seinalerako duen masaren eta potentziako masaren artean bereizketarik egin ez duenez, Arduinotik isolatu beharra dago. Isolatze hori lortzeko, TLP521 optoakoplagaia erabiliko da.

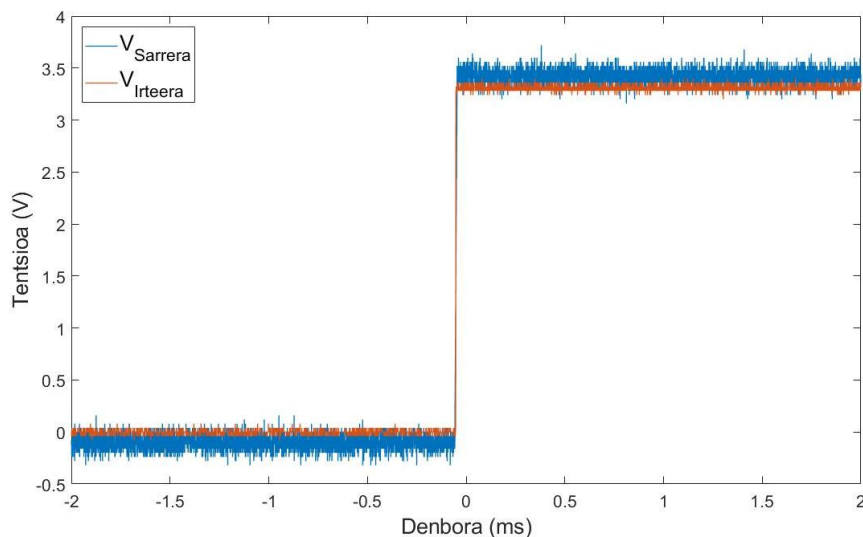


Irudian (Irudia 33) ikus daitekeen moduan, optoakoplagailuaren sarreran Arduinoak bidalitako seinalea izango da. Seinale horrek LED diodoa piztuko du fototransistorea kitzikatuz. Hala, irteerako zirkuitua itxi egingo da eta, tentsio-zatitzaile baten laguntzaz, KZ-KZ bihurgailuak gaitzeko duen pinean 3,3 V emango dira, eta bihurgailua martxan jarriko da.



Irudia 33. KZ-KZ gaitzeko zirkuitua

Optoakoplagailuaren sarreran gehienez 25 mA egon daitezkeenez, R1 erresistentzia erabiliko da korrontea mugatzeko. R2 erresistentziaren funtzioa zera da, optoakoplagailuak dituen kapazitate-parasitoek optoakoplagailua ez hondatzea. R1 eta R2 erresistentzien balioa 200  $\Omega$  eta 1 k $\Omega$  da, hurrenez hurren. Potentziometroak, aldiz, KZ-KZ bihurgailua gaitzeko duen seinalea 5,5 V baino txikiagoa izateko erabiliko da, eta guztira 10 k $\Omega$ -ekoa izango da.



Grafikoa 17. Optoakoplagailuaren gaitzea

Grafikoan (Grafikoa 17) ikus daitekeen bezala, sarreran 3,3 V ematen direnean, irteerak, hau da, KZ-KZ bihurgailua gaitzeko erabiliko den seinaleak, 3,3 V inguru izango ditu.

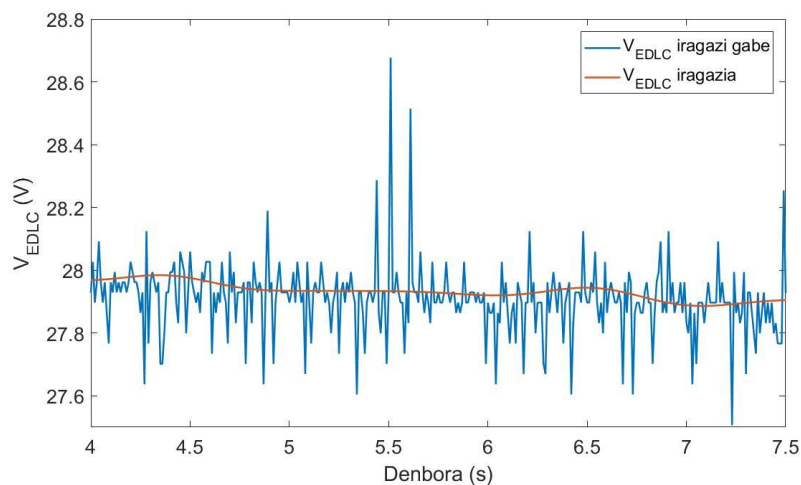
## 4.2. Kontrol-estrategia gauzatzea

Aurretik aipatu bezala Arduino bidez gauzatutako kontrola izango da sistemaren burmuina. Horretarako, Arduinoan kontrol-estrategia ezarri beharra dago. Kontrol-estrategia Simulink eta Matlab softwareak erabiliz egin da, eta Matlab-en / Simulink-en egindako eredua Arduinora pasa da, aurretik Matlab-en Arduinorako euskarria ematen duen software paketea instalatu eta gero.

Arduinoak dituen 12 sarrera analogikoetatik 9 erabili dira HESSaren sentsoeren seinaleak interpretatzeko; seinale horiek lehenik eta behin nola interpretatu eta egokitu diren azalduko da. Horrekin batera, Arduinoaren 3 irteera analogiko erabili dira KZ-KZ bihurgailua gaitzeko eta erreleak itxi edo irekitzeko.

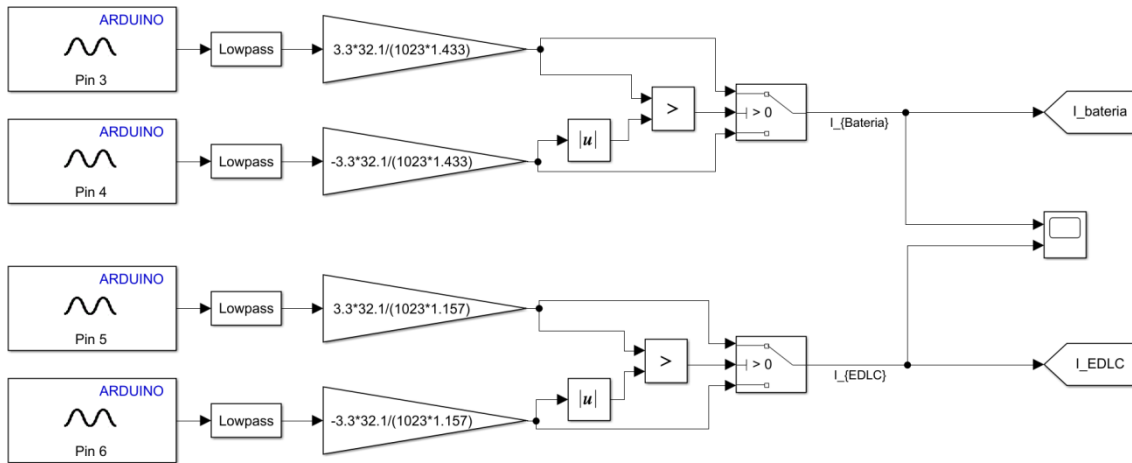
Arduinoaren sarrera analogikoa 10 bit-ekin kodetzen da; sarrerako tentsio maila baxuenari (0 V) '0' kodea esleitzen zaio, eta maila altuenari, berriz, (3,3 V) '1023' kodea. Hori dela eta, sarrera analogikoa behar bezala ezarri behar da, nahi den balioetara egokitzeko.

Korronte-neurgailuen kasuan, neurgailu bakoitzeko bi seinale iristen dira Arduinora, bat korrontea positiboa denean eta bestea korrontea negatiboa denean. Lehenik eta behin, seinaleak zarata elektriko handia duenez, software bidez behe-paseko iragazkia ezarri da. Grafikoan (Grafikoa 18) EDLC multzoaren tentsioa irudikatu da behe-paseko iragazkia erabilita (gorriz) eta iragazkia erabili gabe (urdinez). Bertan, iragazkiak duen efektua atzeman daiteke.



Grafikoa 18. Behe-paseko iragazkiaren efektua

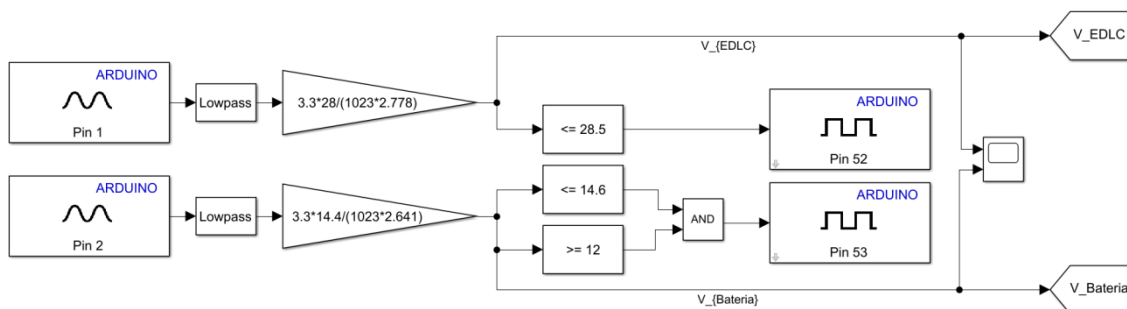
Jarraian, irudian (Irudia 34) ikus daitekeen bezala, Arduinoak irakurtzen duen bit kopurua korronte-baliora egokitu da, bat positiboa eta bestea negatiboa. Horretarako, korronte-neurgailuen egokitzapenaren grafikoan (Grafikoa 14) lortutako balioak erabili dira.



Irudia 34. Korrante-neurgailuen ezarpena Arduinoan

Korrontea positiboa edo negatiboa den jakiteko, korrante negatiboaren balio absolutua positiboarekin alderatu da; izan ere, korrontea negatiboa denean, adibidez, korrante positiboko seinalea 0 V izango da, eta korrontearen arabera seinale negatiboak tentsio jakin bat izango du. Aldiz, korrontea positiboa denean, negatiboa 0 V izango da, eta positiboak tentsio jakin bat izango du. Bien arteko konparaketaren bitartez, bi seinaleetako zein erabili behar den zehaztu da.

Tentsio-neurgailuetatik datorren seinalea beti positiboa denez, ez da beharrezkoa bereizketa hori egitea. Beraz, biltegitratze-sistema bakoitzaren tentsioa tentsio-neurgailuen egokitzapenenaren balioak erabiliz (Grafikoa 13) zehaztu da, irudian (Irudia 35) ikus daitekeen bezala. Bestalde, egokitzapen honekin batera, erreleen kontrola ezarri da. Bateria 12 V eta 14,6 V artean dagoen bitartean, horren errelea itxi egingo da, EDLCen kasuan, multzoa 28,5 V-etik behera dagoenean. Erreleak pizteko, Arduinoaren irteera digitalak erabili dira.

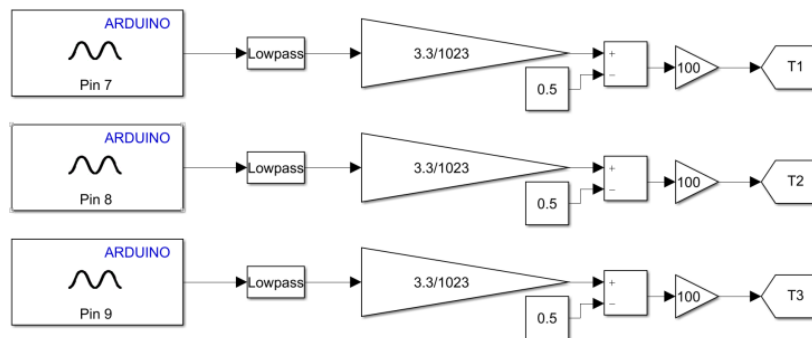


Irudia 35. Tentsio-neurgailuen ezarpena Arduinoan

Temperatura-neurgailuen egokitzapena egitea ere beharrezkoa da. Neurgailu horien egokitzapena ondorengo formula (12) jarraituz egin da:

$$\text{Temperatura} = \frac{V_{Sarrera} - 0,5}{0,01} \quad (12)$$

Neurgailuok 1 °C-ko 10 mV-eko tentsio-diferentzia sortuko dute. Beraz, 25 °C-tan 750 mV emango dira; 20 °C-tan, aldiz, 700 mV. Neurgailu horien egokitzapena irudian (Irudia 36) ikus daiteke.



Irudia 36. Temperatura-neurgailuen ezarpena Arduinoan

KZ-KZ bihurtzeak simulazioaren atalean azaldu den bezala funtzionatu du. EDLC multzoak 20 V-etik behera egiten duenean, Arduinoaren irteera digitalaren bitartez, KZ-KZ bihurtzeak duen pinean 3,3 V ezarriko dira, eta KZ-KZ bihurtzeak martxan jarriko da. KZ-KZ bihurtzeak martxan jarraituko du baterien bitartez EDLC multzoa kargatzen harik eta EDLC multzoa 24 V-era iritsi arte. Une horretan, KZ-KZ berriro itzali egingo da, EDLC multzoa berriro ere 20 V-era iritsi arte. Ezartzeko, irudiko (Irudia 37) Matlab funtzio bat erabili da.

```
function gaitu = fcn(V_EDLC,gaitu)

if V_EDLC<20 || gaitu==1

    if V_EDLC>24
        gaitu=0;
    else
        gaitu=1;
    end
end
```

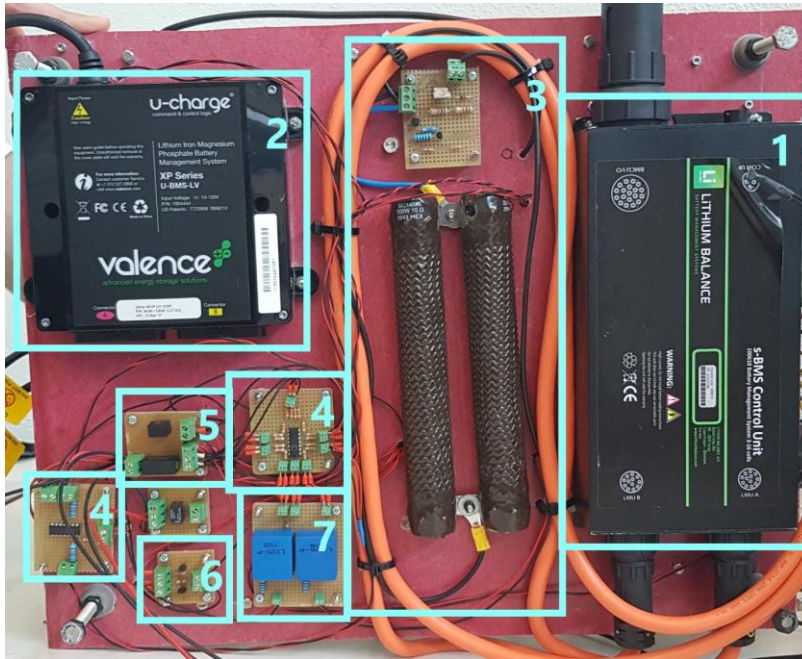
Irudia 37. KZ-KZ bihurtzeak gaitzeko Matlabeko funtzioa

### 4.3. Demostradoreko elementuen banaketa

Behin maketa osatzen duten azpiatal guztiak bakoitza bere aldetik muntatu eta frogatu ondoren, osagai guztiak bateratu dira. Taula bat erabili da euskarri gisa, eta osagaiak bi aldetatik jarri dira.

Ikusi ohi ez den beheko aldean honakoak jarri dira: tentsio-neurgailuak, sentsoreen egokitzapen-zirkuitua, sentsorizazioa elikatze KZ-KZ bihurtzeak, erreleak gaitzeko zirkuitua, crowbar zirkuitua eta Lithium Balance BMSa. Valence BMS maisua ere jarri da, etorkizunean horrekin zenbait froga egitea baita asmoa.

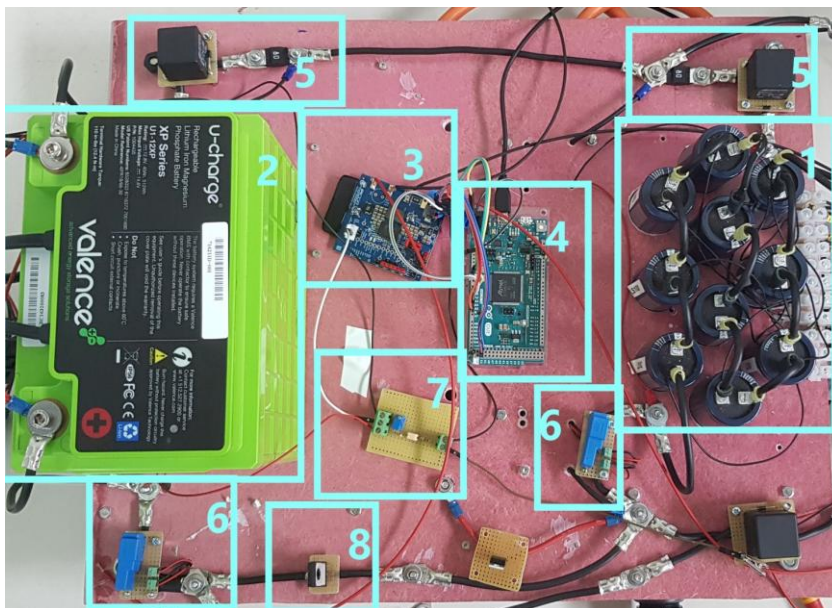
Irudian (Irudia 38) demostradoreko beheko atala ikus daiteke, eta azaltzen da, batetik, aipatutako osagaiak zeintzuk diren eta, bestetik, non dauden kokatuta.



- 1- Lithium Balance BMS
- 2- Valence BMS maisua
- 3- Crowbar zirkuitua
- 4- Sentsoreen egokitzapen-zirkuitua
- 5- KZ-KZ bihurgailuak
- 6- Erreleak gaitzeko zirkuitua
- 7- Tentsio-neurgailuak

Irudia 38. Demostradorearen antolamendua. Beheko aldea

Hurrengo irudian (Irudia 39), agerian gelditzen den taularen alde ikus daiteke; bertan, potentziako zirkuitua muntatu da. Valence bateria, EDLC multzoa, KZ-KZ bihurgailua, Arduinoa, diodoa, korrante-neurgailuak, optoakoplagailua eta erreleak kokatu dira.



- 1- EDLC multzoa
- 2- Valence bateria
- 3- KZ-KZ bihurgailua
- 4- Arduinoa
- 5- Erreleak eta fusibleak
- 6- Korrante-neurgailuak
- 7- KZ-KZ bihurgailua gaitzeko zirkuitua
- 8- Diodoa

Irudia 39. Demostradorearen antolamendua. Goiko alde

## 5. Emaitzak

Kapitulu honetan, lehenik eta behin, demostradorea frogatzeko erabili den saiakuntza-bankua azaldu da. Bertan, erabilitako instrumentazioa eta instrumentazio hori nola erabili den azaldu da. Jarraian, KZ-KZ bihurgailuak igorriko duen korrontea nola mugatu den deskribatu da. Ondoren, demostradoreari egin zaizkion bi frogak eta frogetatik lortutako emaitzak azaldu dira: bat KZ-KZ bihurgailua erabilia, eta bestela KZ-KZ bihurgailua erabili gabe, hau da, era pasiboan. Azkenik, bi frogetatik lortutako emaitzen konparaketa egin da.

### 5.1. Saiakuntza-bankua

Jarraian dagoen irudian (Irudia 40), maketa eta berau frogatzeko erabili den instrumentazioa ikus daitezke. Potentzia-profila Digatron markako zikladore batean programatu da. Zikladore horrek, potentzia-profila exekutatzear gain, tentsio- eta korronte-neurketak egiten ditu. Gainera, segurtasun-baldintzak ezartzeko aukera ematen du, hala nola, EDLC multzoaren tentsio maximoa edo minimoa, edota tenperatura maximoa edo minimoa. Profila exekutatzen ari den bitartean muga horietako bat gainditzen bada, programa eten egingo da.



Irudia 40. Saiakuntza-bankua

Zikladoreaz gain, datu gehiago eskuratzeko, osziloskopioa erabili da. Osziloskopioaren bitartez, bateriaren tentsioa, bateriak igorritako korrontea eta KZ-KZ bihurgailuaren irteeran ematen den tentsioa eta korrontea neurtu dira. Honek sistemaren egoera zuzenean monitorizatzeko aukera ematen du, zerbait gaizki joango balitz eskuz programa eten edo gelditu ahal izateko.

Bestalde, ordenagailua Arduinoak irakurritako parametroak bistartzeko erabili da: erreleen egoera eta baterien eta EDLC multzoaren tentsioa, esate baterako. EDLC multzoaren

BMSak duen softwarearen bitartez, multzoa osatzen duen EDLC bakoitzaren tentsioa bistaratu da. Bukatzeko, polimetro bat erabili da zirkuituaren hainbat puntutan neurketak egiteko.

## 5.2. KZ-KZ bihurgailuaren korrante mugaketa

Aurreko atalean azaldutako sistemaren eskema orokorrari (Irudia 21) aldaketa bat egin behar izan zaio saiakuntzekin aurrera jarraitu ahal izateko. Izan ere, aukeratutako KZ-KZ bihurgailuak ez du korrantea mugatzeko aukera ematen. Hori dela eta, korronteari goi-muga jarriko dion osagai bat seriean konektatu behar da bihurgailuaren eta EDLC bankuaren artean, diodoaz gain; kasu honetan, erresistentzia bat.

Erresistentziak korrantea mugatu behar duenez, erresistentziaren balioak ezin du oso altua izan. KZ-KZ bihurgailuak igorriko duen korrantea KZ-KZ bihurgailuaren eta EDLC multzoaren artean sortzen den tentsio-diferentziaren arabera izango da. Ondorioz, tentsio-diferentzia altuena den unea aukeratu da erresistentziaren balioa hautatzeko. Tentsio-diferentzia 10 V inguru izango da gehienez. KZ-KZ bihurgailuaren datu-fitxari erreparatuz, KZ-KZ bihurgailuaren sarreran 12 V inguru daudenean eta irteeran 24 V daudenean, gehienez 4 A emateko gai dela ikusi da. Ondorioz, Ohm-en legea aplikatuz, erresistentzia horren balioak  $2,5 \Omega$ -ekoa izan behar du.

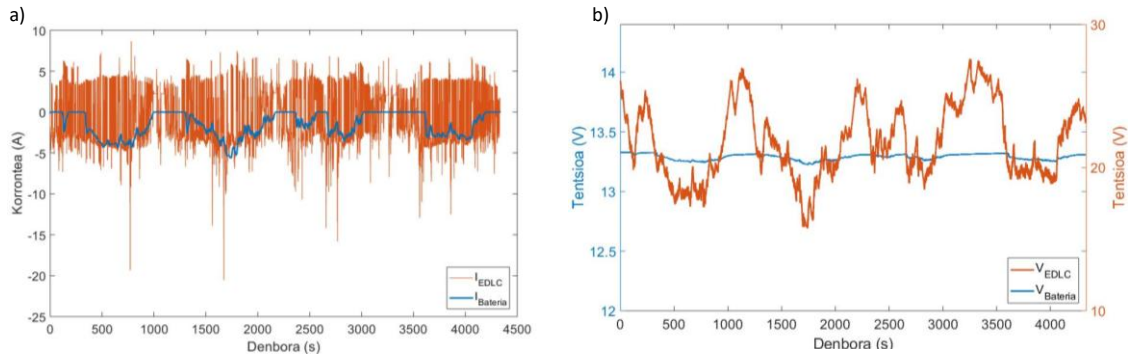
Jarraian dagoen atalean azaltzen den bezala, erresistentzia erabiltzeak sistemaren efizientziak behera egitea ekarriko du, KZ-KZ bihurgailuak igorritako potentziaren zati bat bertan kontsumitzen delako.

## 5.3. 1. Froga: Sistema osoaren funtzionamendu orokorra

Behin sistema guztia definituta, hainbat froga egin dira. KZ-KZ bihurgailuaren irteeran jarri den erresistentziak KZ-KZ bihurgailuak emango duen potentzia mugatzez gain, potentziaren zati bat erreko du. Gainera, simulazioan, KZ-KZ bihurgailua denbora guztian potentzia maximoa emateko pentsatuta dago, baina konfigurazio berriarekin bihurgailuaren eta EDLC multzoaren arteko tentsio-diferentziak mugatuko du KZ-KZ bihurgailuak emango duen potentzia. Hori dela eta, proposatutako profileko potentziaren herena erabiliko da.

Froga hori burututa, froga bera egin da, baina KZ-KZ bihurgailua gaitu gabe. Hau da, nahiz eta EDLC bankua 20 V-etik bera jaitsi, KZ-KZ bihurgailuak itzalita jarraituko du. Froga honen bitartez, bateriak igortzen duen potentzia HESS sisteman igortzen duenarekin alderatu nahi da.

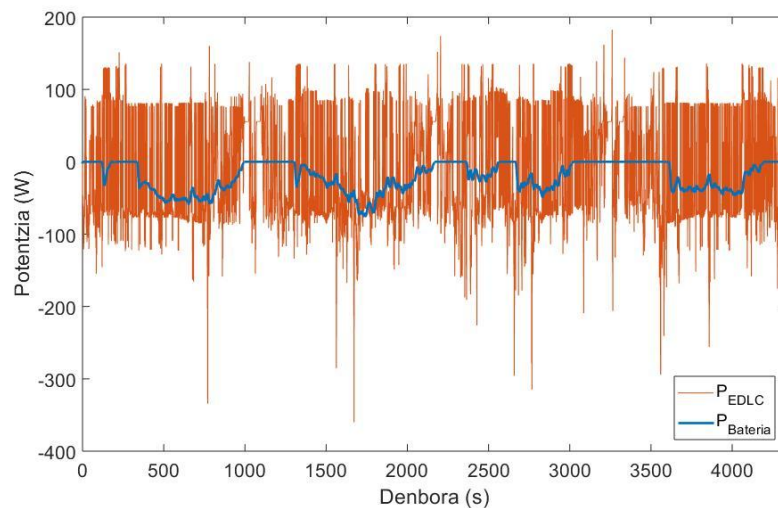
Hurrengo grafikoa (Grafikoa 19) bi biltegitratze-sistemen tentsioak eta intentsitateak adierazten dira. Grafikoko (Grafikoa 19) a)-n, bakoitzak igorri (negatiboa) edo jaso (positiboa) duen korrantea ikus daiteke. Espero den bezala, bateriaren intentsitatea aldakorra da, KZ-KZ bihurgailuak ematen duen potentzia, jarritako erresistentziaren ondorioz, ez delako konstantea. EDLC multzoak ematen duen korrantea oraindik ere askoz aldakorragoa da.



Grafikoa 19. Frogapena. a) Korronteak HESSean. b) Tentsioak HESSean

Bestalde, Grafikoko (Grafikoa 19) b)-n ematen diren balioei erreparatuz, EDLC multzoaren tentsioa oso aldakorra dela ikusten da. 3.400 segundo inguruan atzeman daiteke EDLC multzoak, 28 V-eko muga horretara hurbildu arren, ez duela muga hori pasa crowbar zirkuituari esker. Bestalde, bateriaren tentsioa oso konstantea dela ikusi daiteke. Igortzen duten korrontearen arabera tentsioak gorabeherak dituela ikus daiteke. Zenbat eta handiagoa izan igortzen duten korrontea, orduan eta beherago egiten du tentsioak.

Grafikoan (Grafikoa 20) energia biltegitratzeko sistema bakoitzak eman duen potentzia ikus daiteke. Aurreko grafikoan (Grafikoa 19), deskargako korrontean zenbait unetan antzekoak direla ikusi den arren, atzeman daiteke bi sistemek emandako potentzia ezberdina dela.



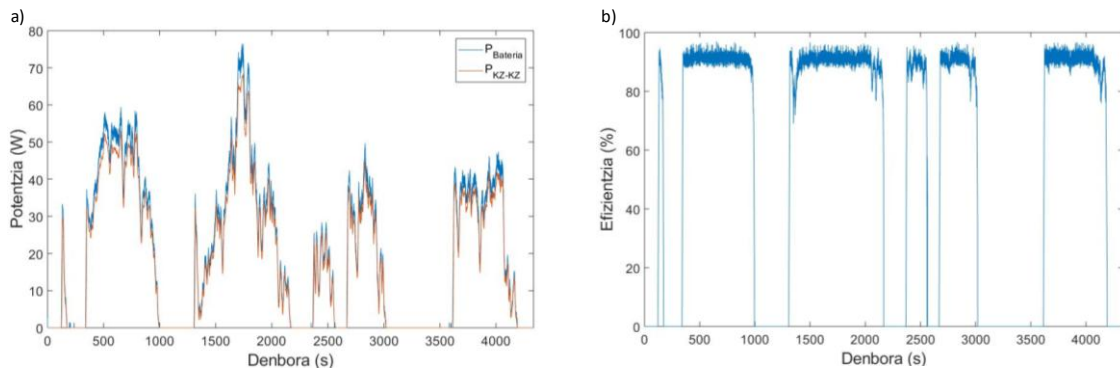
Grafikoa 20. Frogapena. ESS bakoitzak igorritako potentzia

KZ-KZ bihurtailuak duen efizientzia eta bihurtailuaren irteeran jarritako erresistentzia dela eta, bateriak ematen duen potentzia guztia ez da EDLC multzoa kargatzera iritsiko.

Jarraian dagoen grafikoan (Grafikoa 21), a)-n, bateriak igortzen duen potentzia eta KZ-KZ bihurtailuak igortzen duena ikus daiteke. Bertan ikus daiteke, bihurtailuak efizientzia ona duen arren, potentziaren zati bat KZ-KZ bihurtailuan galtzen dela. Grafikoko (Grafikoa 21)

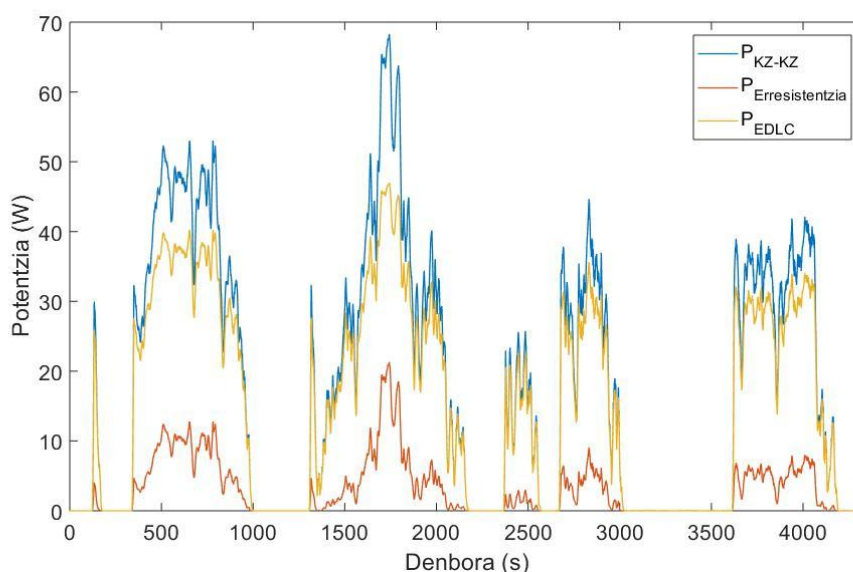


b)-k, aldiz, KZ-KZ bihurgailuak duen efizientzia erakusten du. Batezbesteko efizientzia % 89,85 da.



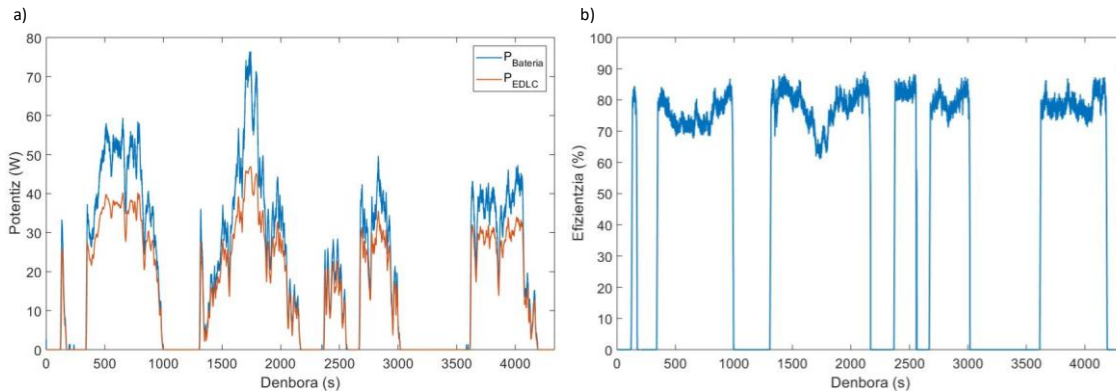
Grafikoa 21. Frogapena. a) Bateriaren potentzia eta KZ-KZ bihurgailuaren potentzia b) Bihurgailuaren efizientzia

KZ-KZ bihurgailuak dituen galerez gain, erresistentziak ere galerak izatea ekarriko du. Hurrengo grafikoa (Grafikoa 22), urdinez, KZ-KZ bihurgailuak igortzen duen potentzia ikus daiteke; gorritz, erresistentziak kontsumitzen duena; eta horiz, EDLC multzora iristen den potentzia. Bertan ikus daitekeenez, erresistentziaren eragina handia da, sistemaren efizientziari erreparatuz gero. Zenbat eta handiagoa izan bihurgailuak ematen duen potentzia, orduan eta handiagoa da erresistentziak kontsumitzen duten potentzia.



Grafikoa 22. Frogapena. Erresistentziaren eragina

Azkenik, bateriak igortzen duen potentziatik EDLC multzora zenbat potentzia iristen den ikus daiteke grafikoko (Grafikoa 23) a)-n. Espero den bezala, erresistentziaren eragina handia da, eta, zenbait unetan, karga-sistemaren efizientziak ia % 60ra arte jaistera ekarri du. Batezbeste, galera guztiak kontuan hartuta, karga-sistemaren efizientzia % 77,67 da. KZ-KZ bihurgailuaren eta EDLC multzoaren artean tentsio-diferentzia handituko balitz, bihurgailuak potentzia gehiago emango luke, eta efizientziak behera egingo luke.

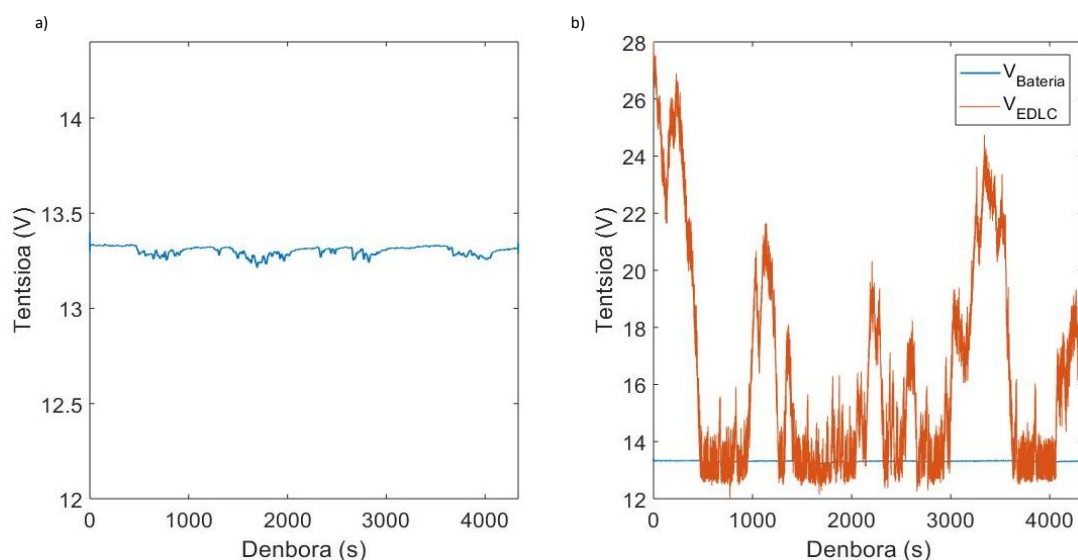


Grafikoa 23. Frogapena. a)  $P_{bateria}$  eta  $P_{EDLC}$ . b) Karga sistemaren efizientzia

## 5.4. 2. froga: HESS pasiboa

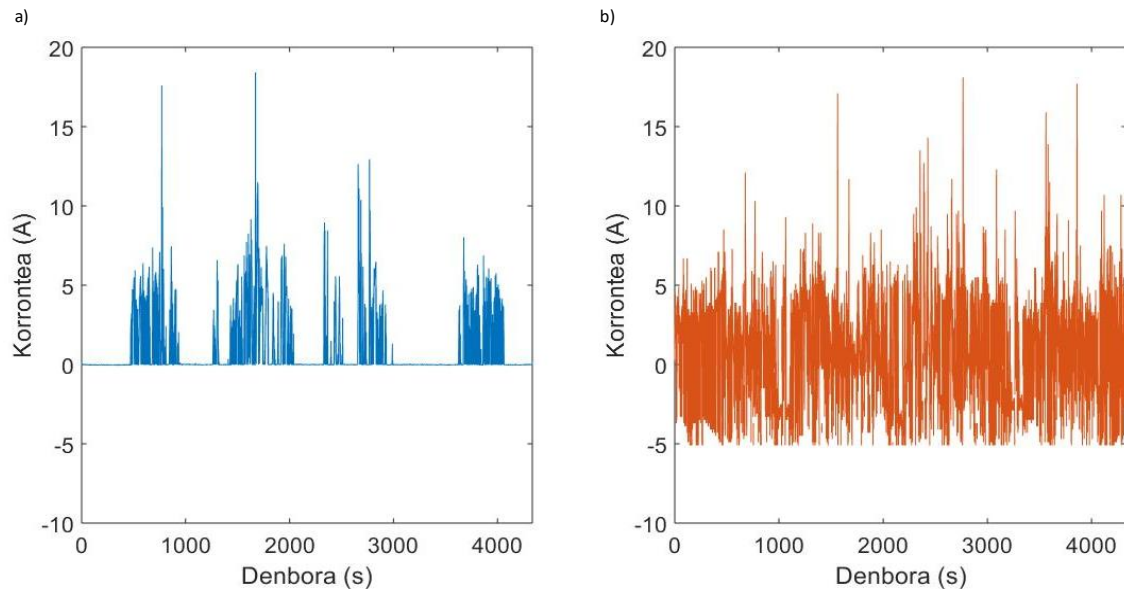
Behin froga horiek bukatuta, aipatu den bezala, bigarren froga bat egin da. Froga horretan, KZ-KZ uneoro geldituta egongo da. Hori dela eta, behin EDLC multzoak eta bateriak duten tentsioa bera denean, bi energia biltegitatzeko sistemek igorriko dute potentzia. Saiakuntza honen helburua hauxe da: proposaturiko HESS topologia erdi-aktiboa topologia guztiz pasiboarekin alderatzea, KZ-KZ bihurgailuak sistemarengan eskaintzen duen kontrolagarritasunak ekar ditzakeen onura operatiboak ebaluatzeko. Froga honetarako, bada, aurreko froga egiteko erabili den potentzia-profil bera erabili da.

Jarraian dagoen grafikoan (Grafikoa 24), bateriaren zein EDLC multzoaren tentsioaren bilakaera ikus daiteke. Aurreko kasuarekin alderatuta, bateriak aldaketa handiagoak jasaten dituela atzeman daiteke. Aurrerago ikusiko den moduan, aldaketa horiek momentuan igortzen ari diren korrontearen eraginez izango dira. Bestalde, EDLC multzoa 28 V-etan hasten dela ikusten da, eta gutxika deskargatzen doa bateriaren tentsio berdinerira iritsi arte. Bien artean dagoen diodoa dela eta, bateriak deskargatzen hasteko, EDLC multzoaren tentsioak bateriarena baino 0,7 V gutxiago izan behar du, gutxi gorabehera.



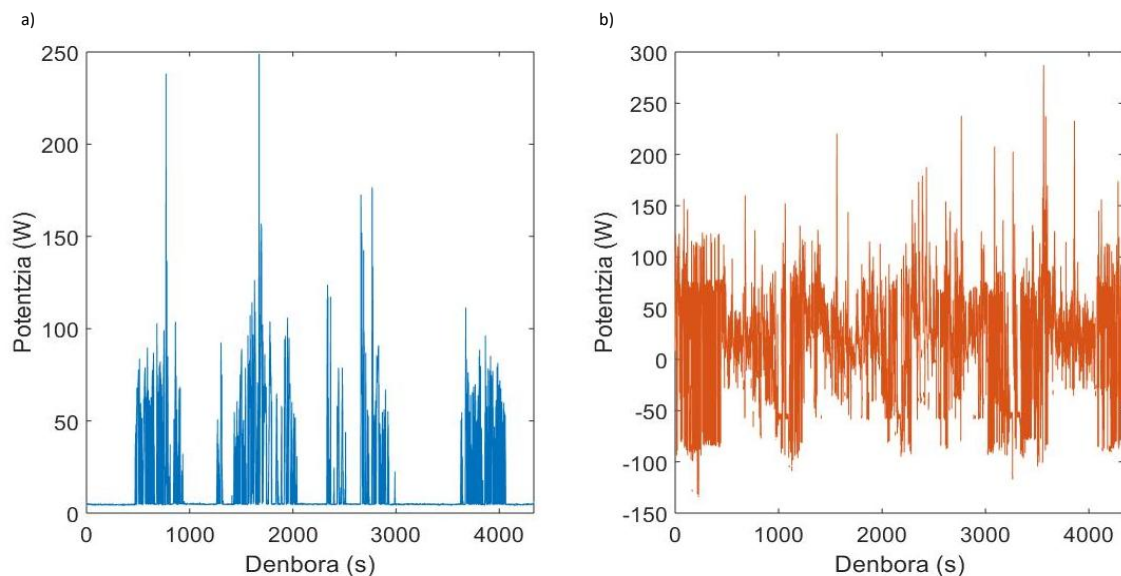
Grafikoa 24. Frogapena KZ-KZ bihurgailu gabe. a)  $V_{Bateria}$ . b)  $V_{Bateria}$  eta  $V_{EDLC}$  arteko konparaketa

Korronteei erreparatuz, grafikoan (Grafikoa 25) ikus daiteke bateriek ez dutela korronterik igortzen, EDLC multzoak bateriekiko 0,7 V-eko diferentzia izan arte. Une horretan bi biltegitratze-sistemek potentzia-beharra asetzen hasiko dira. Aurretik aipatu den bezala, bateriak korrontea igortzen duen une horietan, horren tentsioak behera egiten du. Diodoa dela eta, bateria bakarrik deskargatzen da; era horretan, bateriak mikro ziklo gutxiago egingo ditu.



Grafikoa 25. Frogapena KZ-KZ bihurtze gabe. a)  $I_{\text{Bateria}}$  b)  $I_{\text{EDLC}}$

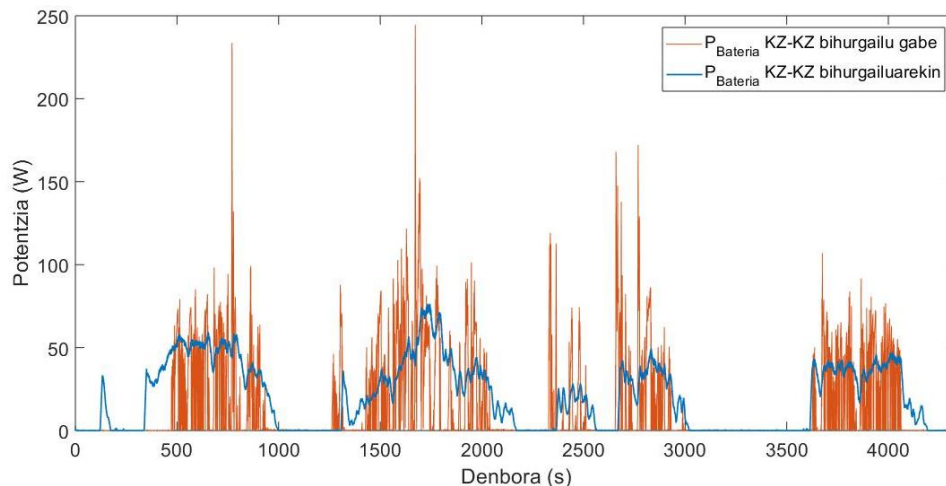
Azkenik, grafikoan (Grafikoa 26) biltegitratze-sistema bakoitzak igorri duen potentzia ikus daiteke. Bateriak, aurreko frogarekin alderatuta, puntako potentzia handiak ditu, 250 W-era arte. EDLC multzoak aurreko kasuan baino erabilera mugatuagoa du, bateriak piko horietako askotan ere potentzia ematen daudelako.



Grafikoa 26. Frogapena KZ-KZ bihurtze gabe. a)  $P_{\text{Bateria}}$  b)  $P_{\text{EDLC}}$

## 5.5. Bi topologiaren arteko konparaketa

Hurrengo grafikoan (Grafikoa 27), kasu bakoitzean bateriak sistemari potentzian egiten dion ekarpena ikus daiteke. KZ-KZ bihurgailua erabiltzen denean, bateriak egiten duen ekarpena txikiagoa izatean gain, konstanteagoa ere bada. Gainera, KZ-KZ bihurgailua erabiltzen ez denean, bateriak puntako potentzia altuak jasan behar ditu.



Grafikoa 27. Bateriak igorritako potentzia KZ-KZ bihurgailua erabilia eta erabili gabe

Potentzia gutxiago igorri behar izateak eta era konstanteagoan igortzeak bateriaren balio-bizitza luzatzea ekarriko du, bizi-modeloaren atalean ikusi den bezala. KZ-KZ bihurgailua irteerako korrontea mugatzeko gai izango balitz, bateria oraindik era linealago batean deskargatuko litzateke, eta erresistentziaren beharrik egongo ez litzatekeenez, potentzia gutxiago igorrita, emaitza berak lortuko lirateke.

## 5.6. Emaitzen ondorioak

Egindako frogak erakutsi dutenez, KZ-KZ bihurgailuaren aukeraketa edo diseinu egokiak garrantzia handia du proposaturiko topologia erdi-aktiboan. Izan ere, KZ-KZ bihurgailua irteerako korrontea mugatzeko gai ez denez, horren irteeran erresistentzia bat jartzera behartzen du. Erresistentzia horrek efizientzia galtzea dakar.

Bestalde, espero zen bezala, egiaztatu da EDLCak potentzia-profilaren zati dinamikoa bere gain hartzen dutela, eta bateriak deskarga konstanteagoa eta exijentzia maila baxuagoa duela. Horrek, bada, bateriaren bizitza luzatzea ekarriko du.

Burutu den bigarren frogak agerian utzi ditu KZ-KZ bihurgailuak dituen abantailak. Izan ere, horixe erabiltzeak bateriak ematen duen potentzia muga dezake, eta deskarga konstanteagoa izatea lortu. Gainera, zenbait unetan, sistemak modu pasiboan funtzionatzen duenean, ia 20 A-ko pikoak ematen dira, erdi-aktiboa erabiltzen denean baino 5 aldiz handiagoa.

Froga horiek HESS topologia erdi-aktiboak dituen abantailak erakutsi dituzte. Abantaila horiek handiagoak izango lirateke bateriak bakarrik erabiltzen dituen sistema batekin alderatuta.

## 6. Ondorioak

Behin proiektuaren fase guztiak beteta eta proposaturiko HESS topologiaren emaitza nagusiak lortuta, Gradu Bukaerako Lan honetan atera diren ondorio nagusiak azalduko dira.

Egungo egoera aztertu ostean, autobus elektrikoaren kasurako proposak izan daitezkeen ESSak eta HESS topologia aukeratu dira. Sistemak potentzia- eta energia-eskaera handia ditu, eta, horrez gain, ziklabilitate altuko biltegitratze-sistemak behar ditu.

Batetik, biltegitratze-sistemetako bat EDLCak izango dira, potentzia-gaitasun handia izateaz gain, ziklo asko burutzeko ahalmena dutelako. Bestalde, energia-beharrak asetzeko, energia espezifiko altua duen bateria behar da. Gainera, ikusi den bezala, bizitzan zehar ziklo asko egingo dituzenez, garrantzitsua da ere ziklabilitate ona izatea. Ondorioz, LFP motako Li-*ioi* bateria aukeratu da.

Aukeratutako biltegitratze-sistema horien bitartez, sistema osoaren efizientziak gora egiten du, bateria bakarrik erabiltzen duen sistemarekin alderatuta, EDLCen efizientzia bateriena baino altuagoa delako. Horrekin batera, bateriaren balio-bizitza luza liteke, erabileran duen tenperatura gutxiagotuko delako eta baldintza hobetan erabiliko direlako.

Topologia erdi-aktiboak, pasiboak ez bezala, biltegitratutako energiaren tarte zabala erabiltzeko aukera ematen du, KZ-KZ bihurgailu baten kostuan. Gainera, KZ-KZ bihurgailua bi biltegitratze-sistemak tentsio ezberdinetan funtzionatzea ekarriko du. Aukeratutako topologiak potentzia txikiko eta norabide bakarreko KZ-KZ bihurgailua behar du, sistemaren kostua txikituz, EDLCko erdi-aktiboarekin alderatuz. Erabilitako topologiari diodoa ezartzean, bi biltegitratze-sistemak tentsio berdinean daudenean, sistemak pasiboa izango balitz bezala funtzionatuko du.

Sistemaren simulazioak erakutsi duenez, HESSa erabiltzean, bateriaren balio-bizitza luzatuko da, bateriak igortzen duen potentzia oso lineala baita, eta, kargak eskatzen duen potentziarekin alderatuta, bateriari egiten zaion exigentzia maila askoz ere baxuagoa da. Bateriaren balio-bizitza luzatzeak sistemaren kostu totalarengan % 4 aurrezteka ekarriko du.

Sistemaren muntaketatik eta frogapenetik hainbat ondorio atera dira. Lehenik eta behin, KZ-KZ bihurgailua korrontea mugatzeko gai ez izateak erresistentzia bat erabiltzera behartzen du. Erresistentzia horrek efizientziak behera egitea ekarri du. Bestalde, korrontea mugatzeko gai ez izatearen ondorioz, KZ-KZ bihurgailuak igorriko duen potentzia erresistentziak mugatuko du eta, beraz, kasu oso gutxitan funtzionatuko du bihurgailuak potentzia maximoan.

Ikusi da, bestetik, beharrezkoa dela crowbar zirkuitua ezartzea. Izan ere, ezarriko ez balitz, tentsioak gora egiten jarraituko luke, EDLCak segurua ez den operazio-eremu batera eramanez.

Gerta liteke, halaber, EDLC multzoa azkar kargatuz gero, EDLCetako bat bestea baino kargatuago egotea. Une horretan potentzia handiko frenatze birsortzaileko une luze bat gertatzen bada, baliteke BMSak desoreka hori orekatzeko bizkortasun nahikoa ez izatea,

EDLCak segurua ez den operazio eremu batera eramanez. Hori ekiditeko, BMSek duten serieko ataka erabiltzea beharrezkoa ikusten da, BMSa Arduinoarekin komunikatzeko eta egoera horren aurrean sistema deskonektatzeko.

Bestalde, HESS erdi-aktiboa erabiltzearen abantailak ikusi dira. Bateriaren deskargak exijentzia maila baxuagoa du, eta, gainera, linealagoa da.

Ondorio horiek guztiak kontuan hartuta, hurrengo galderari erantzuten saiatu behar dugu: merezi al du, hortaz, autobus elektriko batean sistema hori erabiltzeak?

Aurretik aipatu da sistema hori erabiltzeak kostu totalen % 4 aurrezteak dakarrela; baina, dimentsionamendu hori autobus batera hedatzean, kostu-diferentzia handiagoa izatea espero da. Izan ere, EDLC batzuk gehitzek potentzian aldaketa handia ekarriko luke, ez, aldiz, prezioan. Gainera, bateriak profilak behar duen energia betetzeko bakarrik egon beharko lirateke dimentsionatuta, ez potentzia-beharrak asetzeko.

Hala ere, egin beharrekoak gelditzen dira benetako autobus batean sistema hau erabili ahal izateko. Gomendagarria izango litzateke beste energia biltegitratzeko sistema batzuekin frogak egitea. Aukera ona izango litzateke, halaber, sistema potentzia izendatuan frogatzea — horretarako, lehendabizi, aukeratutako aplikaziorako egokia den KZ-KZ bihurgailua hautatu beharko litzateke—.

Laburbilduz, lan honen bitartez, HESS topologia erdi-aktiboa autobus elektriko batean ezartzea aukera egokia izan daitekeela ondorioztatu da, eta eskala handiagoko prototipo bat garatzeko lehenengo urratsak eman dira.

## 7. Etorkizunerako ildoak

Egindako lanak etorkizunean hura garatzen jarraitzeko aukera ematen du, sistema hobea, efiziente eta osatuago bat lortzeko.

Garatutako bizi-modeloak zikladoa bakarrik kontuan hartzen du, eta ezin izan da baliozkotu, datu esperimental guztiak modeloa entrenatzeko erabili baitira. Laborategiko datu gehiago lor daitezke hainbat baldintzatan bateriak ziklatuz modeloa baliozkotzeko. Gainera, bizi-estimazioa egiteko garaian, kargako eta deskargako C-rate balioen batezbestekoa hartu da kontuan. Hala eta guztiz ere, estimazioa zehaztasun handiagoz egiteko egokiagoa izango litzateke biltegitratze-sistemak egiten dituen mikrozikloak eta une bakoitzean deskargatzen den C-rate balioa aintzat hartzea, ez batezbestekoa. Bestalde, egutegiko modelo bat garatzea aproposa izango litzateke modeloa ahalik eta zehatzena izateko.

EDLCen bizi-itxaropena zenbatekoa den jakiteko, posible da, halaber, bizi-modelo bat garatzea. Horretarako, bada, EDLCak ziklatzen jarri behar dira hainbat baldintzatan, baterien kasuan bezala. Geroago, datu esperimentalak oinarri hartuta, bizi-modelo bat garatu ahal izateko.

Bestalde, eraikitako demostradorea lantzen jarraitzeko aukera dago: segurtasun eta funtzio gehiago ezar dakizkioke sistema seguruagoa izateko.

Lehenik eta behin, Arduinoak dituen korrante- eta tenperatura-neurgailuak direla eta, egokia izango litzateke tenperatura- zein korrante-babesak ezartzea. Babes horiei esker, sistema seguruagoa da, eta, gainera, biltegitratze-sistemen balio-bizitza luza daiteke.

Bigarrenik, sisteman ezbehar bat gertatzen bada edo osagairen bat hondatzen bada, EDLC multzoa segurtasunez deskargatzeko aukera ezar daiteke. Hori horrela, Arduinotik crowbar zirkuitua aktibatzeke aukera jar daiteke, adibidez.

Hirugarrenik, sistema berriro muntatzen denean EDLC multzoa segurtasunez kargatu ahal izateko, interesgarria izan daiteke aurrekarga-zirkuitua muntatzea, EDLCak erabat deskargatuta daudenean kargako korrantea mugatuko duena.

Eraikitako demostradorean erabili ez den arren, KZ-KZ bihurtgailuak pin bat du, uneoro igortzen duen korrantea neurtzeko balio duena. Pin hori egokitu egin daiteke, Arduinoa seinale hori interpretatzeko gai izan dadin.

Lithium Balance BMSak serieko ataka bat du beste gailu batek BMSak irakurritako datuak irakurri ahal izateko. Sistemari buruzko informazio gehiago izateko aukera emango luke horrek, serieko datu horiek Arduinoarekin ezarriko balira.

Ezin izan da Valence BMS masterra frogatu zenbait datu bistartzeko. BMS masterrak, Lithium Balance BMSak bezala, datuak bistartzeko aukera ematen du: zelula bakoitzaren tentsioa, tenperatura eta korrantea, esate baterako. Datu horiek Arduinoarekin irakurritz gero serieko atakaren bidez, sistemaren gaineko kontrol handiagoa egin daiteke.

Bestalde, demostradorea ikusgarriagoa egiteko, egokia izango litzateke datu guztiak bistaratzeko interfaze erakargarri bat egitea. Horretarako, eta Arduinoaren programa Simulink eta Matlab erabiliz egin dela kontuan harturik, interfazea Matlab App Designer erabiliz egitea proposatzen da.

Azkenik, demostradoretik benetako autobus batean sistema erabiltzeko hainbat froga gehiago egitea beharrezkoak direla ikusi da. Besteak beste, sistema 8 orduko lan aldia betetzeko gai den ikustea eta sistema potentzia izendatua frogatzea. Bestetik, KZ-KZ bihurgailu egokia aukeratzearen beharra ikusi da sistema honen bitartez lortu nahi den efizientzia altua ez galtzeko.



## 8. Memoria ekonomikoa

Hurrengo lerroetan proiektuaren azterketa ekonomikoa egin da. Azterketa bi zatitan banatu da. Lehenik eta behin, proiektua egiteko erabili diren eta Ikerlanek berak dituen gailuak eta softwareak aztertu dira, eta, bigarrenik, maketa bera burutzeko erosi den materiala.

Hardwarearen kostua lortzeko, elementuen kostu totala adierazi da. Beraz, proiektuaren kostua ateratzeko horien erabilera aztertu beharko litzake, hau da, amortizazioa kontuan izan beharko litzake. Gainera, proiektua egiteko ez da beharrezkoa erabili diren baliabide guztiak erabiltzea, edo ez behintzat horren sofistikuak direnak.

Taula 18. Erabilitako hardwarearen kostua

Hardware	Prezioa
Kamara klimatikoa	115.000 €
Digatroia	25.347 €
Osziloskopioa	16.456 €
Potentiako KZ iturria	5.244 €
Cadex	2.793 €
KZ iturria	1.617 €
Ordenagailua	1.250 €
Soldagailua	484 €
Polimetroa	277 €
Pantaila	250 €
Katigatzeko erreminta	229 €
Dremel	114 €

Lithium Balance-eko softwarearen kasua hardwarearekin egin den bera da. Hau da, kostu totala erabili da. Aldiz, Matlab, Simulink eta Microsoft Office-aren kasuan ikasle lizentzia erabili denez, 0 €-ko kostua jarri zaie.

Taula 19. Erabilitako softwarearen kostua

Software	Prezioa
Lithium Balance	1.545 €
Matlab + Simulink	- €
Microsoft Office	- €

Azkenik, maketa egiteko erabili den material guztiaren zerrenda dago. Taulan, proiektuan erabili den material kopurua eta material horrek izan duen unitateko prezioa eta prezio totala ikus daiteke.

Taula 20. Maketaren elementuen kostua

Gailua	Erreferentzia	Kopurua	Prezioa	Prezioa totala
Bateria	Valence u1-12xp	1	484,00 €	484,00 €
BMSa	BMS Lithium Balance	1	449,00 €	449,00 €
Tentsio-neurgailua	LV 25-P	2	55,85 €	111,70 €
KZ-KZ bihurgailua	PI3740-00-EVAL1	2	31,48 €	62,96 €
EDLCa	LSMtron LSUC 2.8 V	10	5,95 €	59,50 €
Mikrokontrolagailua	Arduino Due	1	30,67 €	30,67 €
Neurgailuak elikatzeke KZ-KZ bihurgailua	TMR-6-1223	1	24,84 €	24,84 €
Anplifikadore operazionala	OP491GPZ	3	8,27 €	24,81 €
Korrente-neurgailua	HY 20-P	1	17,39 €	17,39 €
Korrente-neurgailua	HY 25-P	1	17,39 €	17,39 €
PCBa	RE200-LF	2	6,22 €	12,44 €
Errelea	DG85C-7011-75-1012	3	3,87 €	11,61 €
Anplifikadore operazionala elikatzeke KZ-KZ bihurgailua	TRN 1-1210	1	9,74 €	9,74 €
Diodoa	MBR7030WTG	1	7,26 €	7,26 €
Tenperatura-neurgailua	TMP36GT9Z	5	1,32 €	6,62 €
Fusiblea 80 A	498080	3	1,86 €	5,59 €
Shottky diodoa	MBR1660	5	0,33 €	1,63 €
MOSFETa	2N7000BU	5	0,27 €	1,35 €
Boltaje-erreferentzia	LM431ACZX	5	0,27 €	1,33 €
MOSFETa	RFP50N06	2	0,42 €	0,84 €
Zener diodoa	DO-41 (DO-204AL)	5	0,03 €	0,16 €
Beste batzuk (torlojuak, kableak, erresistentziak...)				26,31 €
<b>GUZTIRA</b>				<b>1.349,74 €</b>

## 9. Praktiken eta GBLaren balorazio pertsonala

Ia bi urtez egon naiz Ikerlanen lanean, hasieran ikasketekin txandakatuz, eta, otsailaz geroztik, Gradu Bukaerako Lanean. Hori dela eta, ikusi eta ikasi dut ikerkuntza-zentro horren dinamika nolakoa den. Proiektua bera oso interesgarria dela iruditzen zait; izan ere, zati teorikoa izateaz gain, atal fisikoa ere badu, eta unibertsitatean zein Ikerlanen ikasitako guztia praktikan jartzeko aukera izan dut.

Alderdi negatiboari erreparatuta, proiektua garatzeko denbora aipatu behar dut, gehiago izan nahiko bainuke. Izan ere, gauza askok, osagaiak adibidez, denbora behar dute iristeko, eta, hasiera batetik eskaera gaizki eginez gero, GBLa atzeratzeko arriskua dago.

Bestalde, GBLak badu alderdi positiborik, ugari izan ere. Batzuk aipatzearen: lan-mundua nolakoa den ikasteko balio izan dit eta independentea izatera behartu nau kasu askotan, hainbat erabaki nire kabuz hartu behar izan ditudalako. Gainera, enpresarentzat baliagarriak diren eta etorkizunerako balioko duten produktuen garapenean parte hartzeko aukera izan dut, dagoeneko profesionalak direnen artean lan egin dudana bitartean.

Gainera, hainbat ezagutza berri lortzeko balio izan dit. Lehenik eta behin, egungo egoerak biltegitratze-sistemei buruz gehiago ikasteko balio izan dit. Lan hau egiten hasi aurretik ez nuen HESSen inguruko inongo ezagutzarik. Proiektu honen bitartez, HESSen berri izan dut, bai eta haien moten berri ere.

Bigarrenik, potentzia-profil batetik abiatuta, ESS bakarreko sistema baten zein HESS sistema baten dimentsionamendua egiten ikasi dut. Ikusi dut, bada, HESS batek zer abantaila dituen, ESS bakarreko sistema batekin alderatuta.

Baterien bizi-itxaropenaren modelo bat egiten ere ikasi dut zikladoko datu batzuetatik abiatuta. Degradazio-modelo horrek kargako zein deskargako korronea hartzen ditu kontuan, bai eta bateria zein DODetan ziklatzen den ere.

Maketa egiteko, behar ditudan material eta osagaiak aukeratzeko jakiteko eta zenbait zirkuitu hobeto nola diseinatzeko balio izan dit proiektuak.

Orain arte ezagutzen ez nuen software berri bat erabiltzen ikasi dut; hain zuzen ere, LTSpice, zirkuitu elektrikoaren simulazioa egiteko balio duena.

Beraz, laburbilduz, GBLaren garapenean izan dudana esperientzia oso positibotzat jotzen dut, ezagutza ugari neureganatzeko eta neure burua hobeto kudeatzeko ikasteko balio izan didalako.

## 10. Bibliografia

- [1] Balibar, S. "Energy transitions after COP21 and 22," *Comptes Rendus Phys.*, 18. bol, 7–8 zenb., 479–487 or., 2017ko iraila
- [2] Field, C.B. *et al.*, *Climate Change 2014: Technical Summary*. 2014.
- [3] Egbue, O. eta Long, S. "Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions," *Energy Policy*, 48. bol., 717–729 or., 2012ko iraila.
- [4] European Commission, "A European Strategy for low-emission mobility." [Online]. Hemen eskuragarri: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-16-2497\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-16-2497_en.htm). [2018ko ekainaren 30ean kontsultatua].
- [5] I. Energy Agency, "World Energy Outlook 2017," 2017ko azaroa.
- [6] Slavin, P.M.I., "Drivers and Barriers to Electric Vehicle Adoption: EVWORLD.COM." [Online]. Hemen eskuragarri <http://evworld.com/article.cfm?storyid=2076>. [2018ko ekainaren 28an kontsultatua].
- [7] Emadi, A., Young Joo Lee, eta Rajashekara, K. "Power Electronics and Motor Drives in Electric, Hybrid Electric, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 55. bol, 6. zenb., 2237–2245 or., 2008ko ekaina.
- [8] Fuchs, G., Lunz, B., Leuthold, M. eta Sauer, D.U. "Technology Overview on Electricity Storage," *Inst. Power Electron. Electr. Drives (ISEA), RWTH Aachen Univ.*, ekaina, 66. or., 2012.
- [9] Li, Q., Chen, J., Fan, L., Kong, X. eta Lu, Y. "Progress in electrolytes for rechargeable Li-based batteries and beyond," *Green Energy Environ.*, 1. bol., 1. zenb., 18–42 or., 2016ko apirila.
- [10] "The growth of lithium-ion battery power." [Online]. Hemen eskuragarri: <https://www.economist.com/graphic-detail/2017/08/14/the-growth-of-lithium-ion-battery-power>. [2018ko ekainaren 4an kontsultatua].
- [11] "Vor- und Nachteile verschiedener Prinzipien der Speicherung elektrischer Energie - PDF." [Online]. Hemen eskuragarri: <http://docplayer.org/5292621-Vor-und-nachteile-verschiedener-prinzipien-der-speicherung-elektrischer-energie.html>. [2018ko maiatzaren 22an kontsultatua].
- [12] Khaligh, A. eta Li, Z. "Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plug-in hybrid electric vehicles: State of the art," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 59. bol., 6. zenb., 2806–2814. or., 2010.
- [13] Väyrynen, A. "Lithium-ion batteries for mobile applications."
- [14] "Technical Advantages | Very Small Particle Company." [Online]. Hemen eskuragarri: <http://www.vspc.com/technical-advantages/>. [2018ko maiatzaren 22an kontsultatua].
- [15] Bode, H. *Lead-acid batteries*. Wiley, 1977.
- [16] "Nickel-based Batteries Information – Battery University." [Online]. Hemen eskuragarri:

- [http://batteryuniversity.com/learn/article/nickel\\_based\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/nickel_based_batteries). [2018ko ekainaren 4an kontsultatua].
- [17] Pollet, B.G., Staffell, I. eta Shang, J.L. "Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects," *Electrochim. Acta*, 84. bol., 235–249. or., 2012ko abendua.
- [18] "Nickel Batteries Type Positive Electrode Negative Electrode Electrolyte Global reaction during discharge." [Online]. Hemen eskuragarri: <http://shrani.si/f/1t/dL/2ZNhy3Yw/nickelbatt.pdf>. [2018ko ekainaren 20an kontsultatua].
- [19] "How to Restore Nickel-based Batteries." [Online]. Hemen eskuragarri: [http://batteryuniversity.com/learn/article/how\\_to\\_restore\\_nickel\\_based\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_restore_nickel_based_batteries). [2018ko ekainaren 4an kontsultatua].
- [20] Zolot, M., Pesaran, A.A. eta Mihalic, M. "Thermal Evaluation of Toyota Prius Battery Pack," 2002.
- [21] R.R.H. eta T.G.J. "A Model for Degradation of Ceramic Electrolytes in Na-S Batteries," *J. Am. Ceram. Soc.*, 58. bol., 1-2. zenb., 63–67. or., 2006.
- [22] "Specs | NAS ENERGY STORAGE SYSTEM: Sodium Sulfur Battery." [Online]. Hemen eskuragarri: <https://www.ngk.co.jp/nas/specs/>. [2018ko maiatzaren 23an kontsultatua].
- [23] "Las baterías Zebra, otra alternativa para los vehículos eléctricos | REVE – Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico." [Online]. Hemen eskuragarri: <https://www.evwind.com/2009/06/08/las-baterias-zebra-otra-alternativa-para-los-vehiculos-electricos/>. [2018ko maiatzaren 20an kontsultatua].
- [24] Sudworth, J. "The sodium/nickel chloride (ZEBRA) battery," *J. Power Sources*, 100. bol., 1–2. zenb., 149–163. or., 2001 azaroa.
- [25] "Irizar i2e." [Online]. Hemen eskuragarri: <http://www.irizar.com/eu/autobuses-y-autocares/autobuses/irizar-i2e/>. [2018ko maiatzaren 30ean kontsultatua].
- [26] Gunawardane, K. "Capacitors as energy storage devices-simple basics to current commercial families", 0. zenb. Elsevier Inc., 2014.
- [27] Fernando, J. "Electrical double-layer capacitors: Fundamentals, characteristics, and equivalent circuits." Elsevier Inc., 2014.
- [28] "Supercapacitor Information – Battery University." [Online]. Hemen eskuragarri: [http://batteryuniversity.com/learn/article/whats\\_the\\_role\\_of\\_the\\_supercapacitor](http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_role_of_the_supercapacitor). [2018ko maiatzaren 21ean kontsultatua].
- [29] "Skeleton tech." [Online]. Hemen eskuragarri: <https://goo.gl/uGU436>. [2018ko maiatzaren 18an kontsultatua].
- [30] "Oceanvolt." [Online]. Hemen eskuragarri: <https://oceanvolt.com/>. [2018ko maiatzaren 24an kontsultatua].
- [31] "Battery Module - Liquid Cooled and Air Cooled | Kokam Battery Module(KBM)." [Online]. Hemen eskuragarri: <http://kokam.com/module-marine/>. [2018ko ekainaren

4an kontsultatua].

- [32] “The concept of Lithium Ion Capacitor | JSR Micro NV.” [Online]. Hemen eskuragarri: <http://www.jsrmicro.be/emerging-technologies/lithium-ion-capacitor/concept-lithium-ion-capacitor>. [2018ko maiatzaren 17an kontsultatua].
- [33] Omar, N. *et al.*, “Lithium-ion capacitor &#x2014; Advanced technology for rechargeable energy storage systems,” *2013 World Electr. Veh. Symp. Exhib.*, 6. bol., 1–11. or., 2013.
- [34] Cao, W.J. *et al.*, “High Performance Li-Ion Capacitor Laminate Cells Based on Hard Carbon/Lithium Stripes Negative Electrodes,” *J. Electrochem. Soc.*, 164. bol., 2. zenb., A93–A98. or., 2017ko abendua.
- [35] “Lithium Ion Capacitor ULTIMO Prismatic LIC Cell 3300F - Electro Standards Laboratories.” [Online]. Hemen eskuragarri: <https://www.electrostandards.com/ProductDetail/?productid=2448>. [2018ko maiatzaren 21ean kontsultatua].
- [36] Dell, R. eta Rand, D.A. “Energy storage — a key technology for global energy sustainability,” *J. Power Sources*, 100. bol., 1–2. zenb., 2–17. or., 2001eko azaroa.
- [37] Corson, D.W. “High power battery systems for hybrid vehicles,” *J. Power Sources*, 105. bol., 2. zenb., 110–113. or., 2002ko martxoa.
- [38] Kepros, M. eta van Schalkwijk, W. “Back to the future? Return of the hybrid,” *electrochemical Soc. Interface*, 34–37. or., 2002.
- [39] Cao, J. eta Emadi, A. “A new battery/ultracapacitor hybrid energy storage system for electric, hybrid, and plug-in hybrid electric vehicles,” *IEEE Trans. Power Electron.*, 27. bol., 1. zenb., 122–132. or., 2012.
- [40] Aharon, I. eta Kuperman, A. “Design of semi-active battery-ultracapacitor hybrids,” *2010 IEEE 26th Conv. Electr. Electron. Eng. Isr. IEEEI 2010*, 593–597. or., 2010.
- [41] Kuperman, A. eta Aharon, I. “Battery-ultracapacitor hybrids for pulsed current loads: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 15. bol., 2. zenb., 981–992. or., 2011.
- [42] Sarwar, W., Engstrom, T., Marinescu, M., Green, N., Taylor, N. eta Offer, G.J. “Experimental analysis of Hybridised Energy Storage Systems for automotive applications,” *J. Power Sources*, 324. bol., 388–401. or., 2016ko abuztua.
- [43] Michalczuk, M., Grzesiak, L.M. eta Ufnalski, B. “Hybridization of the lithium energy storage for an urban electric vehicle,” *Bull. Polish Acad. Sci. Tech. Sci.*, 61. bol., 2. zenb., 325–333. or., 2013.
- [44] Ehsani, E., Yimin, G. eta Miller, J.M. “Hybrid Electric Vehicles: Architecture and Motor Drives,” *Proc. IEEE*, 95. bol., 4. zenb., 719–728. or., 2007.
- [45] Dougal, R.A., Liu, S. eta White, R.E. “Power and Life Extension of Battery – Ultracapacitor Hybrids,” *IEEE Trans. Components Packag. Technol.*, 25. bol., 1. zenb., 120–131. or., 2002.
- [46] G Sikha, G. eta Popov, B.N. “Performance optimization of a battery-capacitor hybrid system,” *J. Power Sources*, 134. bol., 1. zenb., 130–138. or., 2004.

- [47] Kuperman, A., Aharon, I., Malki, S. eta Kara, A. "Design of a semiactive battery-ultracapacitor hybrid energy source," *IEEE Trans. Power Electron.*, 28. bol., 2. zenb., 806–815. or., 2013.
- [48] Di Napoli, A., Crescimbeni, F., Solero, L., Caricchi, F. eta Capponi, F.G. "Multiple-input DC-DC power converter for power-flow management in hybrid vehicles," *Conf. Rec. 2002 IEEE Ind. Appl. Conf. 37th IAS Annu. Meet. (Cat. No.02CH37344)*, 3. bol., 1578–1585. or., 2002.
- [49] L, J.A., Herrera, V., Milo, A. eta Gazta, H. "Energy Management improvement based on Fleet Learning for Hybrid Electric Buses," 2018.
- [50] Sarasketa-Zabala, E., Gandiaga, I., Rodriguez-Martinez, L.M. eta Villarreal, I. "Calendar ageing analysis of a LiFePO<sub>4</sub>/graphite cell with dynamic model validations: Towards realistic lifetime predictions," *J. Power Sources*, 272. bol., 45–57. or., 2014ko abendua.
- [51] Sarasketa-Zabala, E., Martinez-Laserna, E., Berecibar, M., Gandiaga, I., Rodriguez-Martinez, L.M. eta Villarreal, I. "Realistic lifetime prediction approach for Li-ion batteries," *Appl. Energy*, 162. bol., 839–852. or., 2016ko urtarrila.
- [52] Ecker, M. *et al.*, "Development of a lifetime prediction model for lithium-ion batteries based on extended accelerated aging test data," *J. Power Sources*, 215. bol., 248–257. or., 2012ko urria.
- [53] Bockemühl, F. "Techno-Economic Impact of Li-Ion Battery Ageing Modeling on Energy Storage System Sizing in Renewable Energy Applications." 89. or., 2017.
- [54] "¿Dónde acaban los buses de la EMT su vida útil?" [Online]. Hemen eskuragarri: <http://blog.emtmadrid.es/2017/04/21/donde-acaban-los-buses-de-la-emt-su-vida-util/>. [2018ko ekainaren 12an kontsultatua].
- [55] "Los trabajadores de AUZSA denuncian que 9 autobuses cuya vida útil finaliza hoy sigan en circulación." [Online]. Hemen eskuragarri: [http://www.elperiodicodearagon.com/noticias/aragon/trabajadores-auzsa-denuncian-9-autobuses-cuya-vida-util-finaliza-hoy-sigan-circulacion\\_1138061.html](http://www.elperiodicodearagon.com/noticias/aragon/trabajadores-auzsa-denuncian-9-autobuses-cuya-vida-util-finaliza-hoy-sigan-circulacion_1138061.html). [2018ko ekainaren 12an kontsultatua].
- [56] "El Ayuntamiento acepta prolongar más de 17 años la vida útil de los autobuses." [Online]. Hemen eskuragarri: <http://www.sattra.org/2017/07/Ayuntamiento-acepta-prolongar-incumple-pliego-condiciones.html>. [2018ko ekainaren 12an kontsultatua].
- [57] "U-Charge® XP for 12V, 24V, 36V, 48V up to 1kV Battery." [Online]. Hemen eskuragarri: <https://lithiumwerks.com/products/standard-modules/xp-module/>. [2018ko ekainaren 12an kontsultatua].
- [58] "Product Specification LSUC." [Online]. Hemen eskuragarri: [https://www.ultracapacitor.co.kr:8001/sub/product/LSUC/LSUC002R8\\_0350F\\_0400F\\_0450F\\_Snap-in.pdf](https://www.ultracapacitor.co.kr:8001/sub/product/LSUC/LSUC002R8_0350F_0400F_0450F_Snap-in.pdf). [2018ko ekainaren 12an kontsultatua].
- [59] "Arduino Due." [Online]. Hemen eskuragarri: <https://store.arduino.cc/arduino-due>. [2018ko ekainaren 20an kontsultatua].
- [60] "Ultracapacitor & Supercapacitor - Tecate Group." [Online]. Hemen eskuragarri: <https://www.tecategroup.com/ultracapacitors-supercapacitors/ultracapacitor->

FAQ.php. [2018ko ekainaren 11n kontsultatua].

- [61] “Cool-Power<sup>®</sup> ZVS Switching Regulators.” [Online]. Hemen eskuragarri: [https://www.mouser.es/datasheet/2/685/Vicor\\_02272017\\_PI3740-00-LGIZ-1217204.pdf](https://www.mouser.es/datasheet/2/685/Vicor_02272017_PI3740-00-LGIZ-1217204.pdf). [2018ko ekainaren 13an kontsultatua].
- [62] “PI3740-00-EVAL1, -EVAL2 Cool-Power<sup>®</sup> ZVS Switching Regulators Buck-Boost Evaluation Board User Guide.” [Online]. Hemen eskuragarri: <https://goo.gl/8KXZKM>. [2018ko ekainaren 15ean kontsultatua].