

INDUSTRIA ELEKTRONIKAREN ETA
AUTOMATIKAREN INGENIERITZAKO GRADUA
GRADU AMAIERAKO LANA

***IBILGAILU ELEKTRIKO BATEN
PROPULTSIO-SISTEMAREN
DENBORA ERREALEKO
SIMULAZIORAKO GIDA-ZIKLO ETA
BATERIA MODELOAK***

***DOKUMENTUA-MEMORIA, METODOLOGIA,
ALDERDI EKONOMIKOAK ETA ONDORIOAK***

Ikaslea: Rodriguez Elorriaga, Igor

Zuzendaria: Ibarra Basabe, Edorta

Kurtsoa: 2018-2019

Data: 2018ko otsailaren 18a

Laburpena

Azken urteetan nabariagoak egin dira klima aldaketaren ondorio izugarriak, eta gizakia gertakari horren erruduna dela ondorioztatu du zientziak. Alde horretatik, negutegi efektuko gasen emisioa horren eragile garrantzitsuenetakoa da, eta hauen % 14ak garraioen emisio modura du jatorria. Hori dela eta, ibilgailu elektrikoaren garapenari bultzada handia ematen hasi zaio. Konbustio bidezko motorrak dituzten ibilgailuek (ICV) etorkizunean betatzeko legeak ezarri direla da honen adibide argia. Hala ere, ibilgailu elektrikoak (EV) bideragarria izan dadin, prezioa, elikadura-gune kopurua eta autonomia mugapena bezalako faktoreak kontuan izan behar dira. Hain zuzen ere, azken hau da lan honetan landuko dena.

Ibilgailu elektrikoaren autonomiaren kalkulua gida-zikloetan oinarritzen da. Hauek gidatze ohitura tipikoak deskribatzen dituzte, denboraren menpeko abiadura-profil ezberdinez. Gerora, simulazio edota energia absorbitzeko dinamometro-txasis batean aplikatuak izateko.

Proiektu honetan, ibilgailu elektrikoaren autonomia lortzeko simulazio-plataforma bat garatuko da. Honetan, gida-ziklo ezberdinak simulatzeko aukera emango da. Gainera, ibilgailuaren parametro mekanikoak jakinik, bere dinamika simulatuko ahalko da ere. Horrez gain, bateriaren karga egoera lortzeko, ibilgailu elektrikoaren bateria modeloa eratuko da. Guzti hau, Matlab/Simulink plataforman eraikiko da, gerora APERT ikerkuntza-taldean garatu den ibilgailu elektrikoaren propulsiio-sistemaren modeloan implementatzeko. Horrela, gida-zikloen araberako bateriaren kargaren joera aztertzeko aukera eskainiko da denbora errealeko simulazio bidez.

Hitz-gakoak: ICV; Ibilgailu-elektrikoa; Gida-zikloa; bateria; Propulsiio-sistema.

Resumen

En los últimos años, se han vuelto más notables las consecuencias del cambio climático y la ciencia ha constatado el hecho de que los humanos son los principales causantes de ello. En este sentido, la emisión de gases de efecto invernadero es uno de los factores más importantes, donde un 14 % de éstos se da a modo de emisiones de transporte. Por ello, se ha empezado a impulsar el desarrollo de los vehículos eléctricos. Un ejemplo claro de esto son las leyes de veto para futuro que se les está imponiendo a los vehículos de combustión interna (ICV). Aun así, para que los vehículos eléctricos (EV) sean viables se han de tener en cuenta factores como el precio, los puntos de recarga y la limitación de la autonomía. El trabajo de fin de grado se centra en este último punto.

El cálculo de la autonomía de un vehículo eléctrico se basa en los ciclos de conducción. Estos definen distintas costumbres típicas de conducción mediante perfiles de velocidad respecto al tiempo las cuales, a posteriori, se aplicarán a modelos de simulación o a dinamómetros de chasis de absorción de energía.

En este proyecto, se desarrolla una plataforma de simulación para la determinación de autonomía de un vehículo eléctrico, el cual permite simular cualquier ciclo de conducción. Además, conocidos los parámetros mecánicos del vehículo, se podrá simular la dinámica del mismo. También, se construirá un modelo de batería para conocer el estado de carga. Todo ello se creará mediante la herramienta Matlab/Simulink para, a continuación, ser implementado en el modelo de sistema de propulsión desarrollado por el equipo de investigación APERT. De este modo, se ofrecerá una simulación en tiempo real de ciclo de conducción respecto a la cual se calculará el estado de carga de la batería.

Palabras clave: ICV; Vehículo eléctrico; Ciclo de conducción; Batería; Sistema de propulsión.

Abstract

In recent years, the consequences of climate change have become more notable, same as the fact that humans are mainly causing it. Greenhouse gas emissions are one of the most important factors, where 14 % of these gases are generated due to transport emissions. For this reason, the development of electric vehicles is being promoted. A clear example of this is the future prohibition laws that are being imposed on internal combustion vehicles (ICV). For electric vehicles (EV) to be viable, factors such as price, recharging points and limitation of autonomy must be taken into account. This end-of-degree project focuses on the latter.

The calculation of the autonomy of the electric vehicle is based on driving cycles. These define typical driving habits by speed versus time profiles, which subsequently will be applied to simulation models or power-adsorbing chassis dynamometers.

In this project, a simulation platform to determine the electric vehicles autonomy is developed. In this model, the opportunity to simulate any driving cycle will be offered. In addition, knowing the mechanical parameters of the vehicle, it will be able to simulate the dynamics of the same. Apart from that, a battery model will be built to estimate the State-of-Charge. All this will be created with the Matlab / Simulink tool, to then be implemented in the propulsion system model developed by the APERT research team. In this way, a real-time simulation of a driving cycle will be offered, while the state of charge of the battery will be calculated.

Keywords: ICV; Electric vehicle; Driving-cycle; Battery; Propulsion system.

Aurkibidea

Laburpena	2
Resumen.....	3
Abstract	4
Aurkibidea	5
Taulen zerrenda	7
Irudien zerrenda.....	8
Nomenklatura	10
Akronimoen zerrenda	12
1. Sarrera.....	14
2. Testuingurua	17
3. Helburuak eta proiektuaren irismena	18
4. Artearen egoera	19
4.1. Gida-zikloen artearen egoera.....	19
4.1.1. Sarrera	19
4.1.2. Definizioak.....	20
4.1.3. Japoniako gida-ziklo esanguratsuenak.....	20
4.1.4. Estatu Batuetako gida-ziklo esanguratsuenak	24
4.1.5. Europako gida-ziklo esanguratsuenak.....	28
4.1.6. Gida-ziklo internazionalak.....	30
4.1.7. Aztertutako gida-ziklo esanguratsuenen arteko konparaketa	33
4.1.8. Gida-zikloak eta ibilgailu elektrikoei dagozkien berezitasunak.....	34
4.1.9. Ondorioak.....	41
4.2. Ibilgailu elektrikoaren baterien artearen egoera	41
4.2.1. Sarrera	41
4.2.2. Definizioak	42
4.2.3. Ibilgailu elektriko baten Li-Ion bateria paketea	42
4.2.4. Ondorioak.....	43
5. Ibilgailu elektrikoaren simulazio-eredua	44
5.1. Eredu matematikoa.....	44
5.1.1. Ibilgailuaren modeloaren eredu matematikoa	44

5.1.2.	Bateria modeloaren eredu matematikoa.....	45
5.2.	Ereduaren implementazioa Matlab/Simulink-en.....	47
5.2.1.	Gida-ziklo eta ibilgailu modeloaren implementazioa.....	47
5.2.2.	Bateria paketearen modeloa.....	49
6.	Denbora errealeko simulazio-emaitzak	51
6.1.	Sarrera	51
6.2.	Denbora errealeko RT-Lab OP4510 plataforma	51
6.3.	Lortutako emaitzak	52
7.	Lanean jarraitutako metodologia.....	54
7.1.	Eginbehar, fase, ekipamendu eta prozeduren deskribapena	54
7.2.	Gantt-en diagrama	56
8.	Alderdi ekonomikoa	57
9.	Ondorioak.....	58
10.	Bibliografia	59

Taulen zerrenda

4.1 taula. WLTC zikloak ibilgailuaren klasearen arabera [42].	31
5.1 taula. Ibilgailu elektriko baten parametroak [60].	48
5.2 taula. Simulazioan erabilitako bateria pakete osoaren parametroak.....	49
8.1 taula. Barne orduen taula.	57
8.2 taula. Amortizazio taula.	57
8.3 taula. Proiektuaren kostu osoaren taula.....	57

Irudien zerrenda

1.1 irudia. CO2 kontzentrazioa atmosferan (iturria NOAA).	14
1.2 irudia. Munduko CO ₂ emisioak sektoreko (Iturria IPCC 2014).	15
4.1 irudia. Emisio-ziurtagirietan erabilitako gida-zikloen kronograma Europa, Estatu Batuetan eta Japonian [18].	19
4.2 irudia. J4 gida-zikloa [19].	21
4.3 irudia. J10 gida-zikloa [20].	22
4.4 irudia. 11 mode gida-zikloa [21].	22
4.5 irudia. J10-15 gida zikloaren abiadura grafika [18].	23
4.6 irudia. JC08 Gida-zikloa (ICCT, <i>The International Council on Clean transportation</i>).	24
4.7 irudia. California 7 gida-zikloa [18].	25
4.8 irudia. US EPA Urban Dynamometer Driving Schedule (FTP-72) [28].	25
4.9 irudia. US EPA Urban Dynamometer Driving Schedule (FTP-75) [29].	26
4.10 irudia. EPA HFET, Highway Fuel Economy Test Cycle [31].	27
4.11 irudia. SFTP US06 gida-zikloa [33].	27
4.12 irudia. SFTP SC03 gida-zikloa [34].	28
4.13 irudia. ECE-15 (iturria 70/220/EEC - <i>the Council of the European community</i> - zuzentaraua).	29
4.14 irudia. ECE-15 +EUDC / NEDC zikloaren abiadura-grafika [18].	30
4.15 irudia. WLTC 3b klase gida-zikloa [42].	32
4.16 irudia. WLTC 2 klase gida-zikloa [42].	32
4.17 irudia. WLTC 1 klase gida-zikloa [42].	33
4.18 irudia. DUB-01 gida-zikloa [50].	36
4.19 irudia. DUB-02 gida-zikloa [50].	37
4.20 irudia. DUB-03 gida-zikloa [50].	37
4.21 irudia. DUB-04 gida-zikloa [50].	38
4.22 irudia. GUDC-EV gida-zikloa [53].	38
4.23 irudia. Fleet-BEV-Cycle [49].	39
4.24 irudia. Fleet-BEV-Urban-Cycle [49].	40
4.25 irudia. Fleet-BEV-Rural-Cycle [49].	40
4.26 irudia. Bateria paketea eratzeko zelulen arteko konexioa.	42

5.1 irudia. Lizio zelula bat RC sare bakarrarekin.....	46
5.2 irudia. Paraleloan kokaturiko zelula sinplez osaturiko blokea	46
5.3 irudia. Gida-zikloa eta ibilgailu modelo sinplifikatua [60].....	47
5.4 irudia. Matlab/Simulink-en garaturiko ibilgailu-modeloaren eskema osoa.	48
5.5 irudia. Matlab/Simulink-en garaturiko bateria-pilaren modelo.....	49
6.1 irudia. OP4510 gailuaren arkitektura [64].....	51
6.2 irudia. Transmisioaren momentua eta motorraren abiadura.....	52
6.3 irudia. Bateriaren karga egoera eta tentsioa.	53
6.4 irudia. Denbora errealeko simulazioan kalkulu konputazionala.....	53
7.1 irudia. Proiektuko Gantt- diagrama.....	56

Nomenklatura

A_f	Ibilgailuaren zeharkako sekzioa (m^2)
C_d	Arraste-koefizientea
C_t	Bateria pakete osoaren kapazitatea (Ah)
C_{zelula}	Bateria zelula baten kapazitatea (Ah)
F_{Aero}	Erresistentzia aerodinamikoa (N)
$F_{Inertia}$	Inertzia indarra (N)
F_{Roll}	Errodadura erresistentzia (N)
GR	Transmisio erlazioa
M_{car}	Ibilgailuaren masa totala (kg)
M_{rot}	Ibilgailuaren biraketa duten atalen masa baliokidea (%)
OCV_{cell}	Bateria zelularen zirkuitu irekiko tentsioa (V)
OCV_t	Bateria pakete osoaren zirkuitu irekiko tentsioa (V)
P_{Idling}	Ralentiko galerak (W)
R_0	Bateria paketeko erresistentzien baliokidea (Ω)
R_{cell}	Bateria zelularen erresistentzia (Ω)
SOC	Bateriaren karga egoera (%)
SOC_0	Bateriaren hasierako karga egoera (%)
T_{Idling}	Ralentiko momentua (Nm)
T_{trans}	Transmisio momentua (Nm)
T_{wheel}	Gurpilaren momentua (Nm)
a_{car} edo dv/dt	Ibilgailuaren azelerazioa (m/s^2)
a_g	Grabitatea (m/s^2)
i	Bateriak kontsumitu/emandako korronea (A)
r_{wheel}	Gurpilaren erradioa (m)

v_{dc}	Ibilgailuaren abiadura (m/s)
ω_{motor}	Motorraren abiadura (Rad/s)
ω_{wheel}	Gurpilaren abiadura (Rad/s)
μ	Errodadura frikzio koefizientea
μ_{GR}	Transmisio erlazioaren efizientzia (%)
ρ	Airearen dentsitatea (kg/m^3)

Akronimoen zerrenda

APERT	Applied Electronics Research Team
BEV	Battery Electric Vehicles
BMS	Battery Management System
CH ₄	Metanoa
CO ₂	Karbono dioxidoa
CROME	Cross-border Mobility for Electric Vehicles
EEC	The Council of the European Communities
EPA	United States Environmental Protection Agency
EUDC	Extra Urban Driving Cycle
EV	Electric vehicle
FPGA	Field-programmable gate array
FTP	Federal test Procedure
GRPE	Working Party on Pollution and Energy
HEV	Hybrid Electric Vehicles
HFET	Highway Fuel Economy Test
HiL	Hardware in the Loop
ICCT	The International Council on Clean transportation
ICV	Internal combustion vehicle
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MVEG	Motor Vehicle Emissions Group
N ₂ O	Oxido nitrosoa
NEDC	New European Driving Cycle
NiMH	Nickel Metal Hydride
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OCV	Open Circuit Voltage
PEV	Plug-in Electric Vehicles

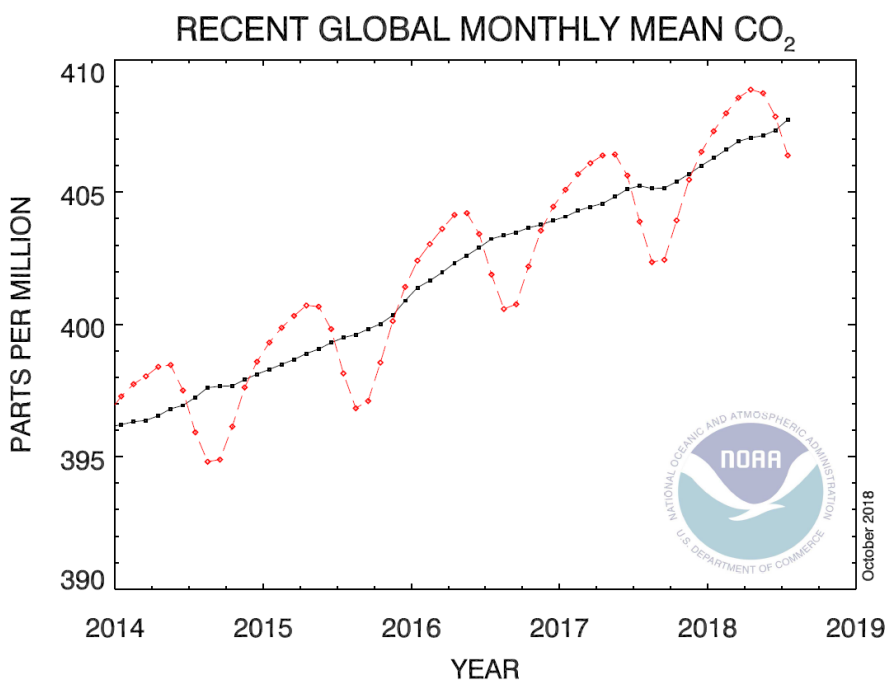
PMR	Power to unladen mass ratio
RCP	Rapid Control Prototyping
SFTP	Supplemental Federal Test Procedure
SoC	System on Chip
SOC	State of Charge
TRIAS	Traffic Safety and Nuisance Research Institute Type Approval Standards
UDC	Urban Driving Cycle
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
WLTC	Worldwide Harmonized Light-duty Vehicles Test Cycle
WLTP	Worldwide Harmonized Light-duty Vehicles Test Procedure

1. Kapitulu

Sarrera

Gaur egun, klima aldaketa errealitate bat da, eta jadanik nabaria da munduaren tenperatura-igoera. NASAren 2016ko datuen arabera, 2016a izan zen 1880tik aurrera jaso den urterik beroena, tenperatura-joera gorakor bati jarraituz. Gainera, azken 138 urteak kontuan hartuta, 10 beroenak 2000tik aurrerakoak izan dira. Joera honek garrantzia handia dauka, izan ere gizakiaren ekintzek azken 50 urteotan planetaren beroketan eragin izanaren probabilitatea % 95ekoa da, klima aldaketari buruzko panel intergubernamentalaren (IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*) bostgarren ebaluaketa txostenaren arabera [1].

Gizakiek sortutako negutegi efektuko gasen emisioa industria aurreko garaitik hasi egin da nabarmen. Hori dela eta, gaur egun atmosferan inoiz baino karbono dioxido (CO₂), metano (CH₄) eta oxido nitroso (N₂O) kontzentrazio altuagoak ditugu. Duela 150 urte 280 ppm-ko (parts per million) CO₂ kontzentrazioa zen atmosferan; gaur egun 406 ppm-taraino igo da. Alde horretatik, 1.1 irudian ikus daiteke NOAAko (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) monitorizazio globaleko dibisioak (*Global Monitoring Division of NOAA/Earth System Research Laboratory*) kalkulaturako balioak. Irudi horretan, hilabetero lorturiko datuen batezbestekoa daukagu gorritz, eta urteroko batezbestekoa beltzez.

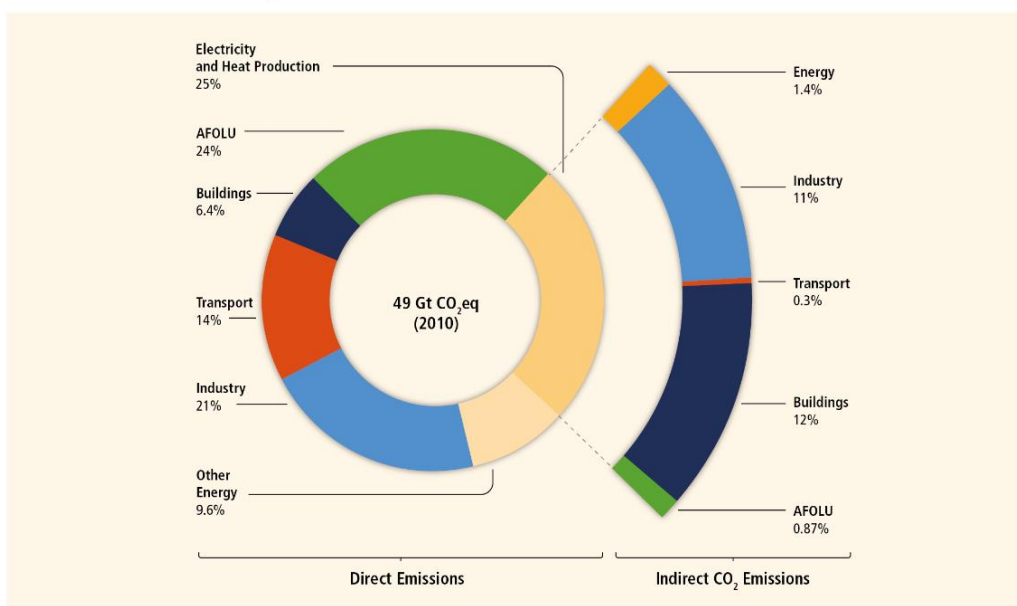


1.1 Irudia. CO₂ kontzentrazioa atmosferan (iturria NOAA).

Etorkizunari begira, RCP8.5 aurreikuspenaren arabera [2] 2100erako 936ppm-tara helduko litzateke CO₂ kontzentrazioa. Ondorioz, planetako batez besteko temperatura 5-8 °C bitartean igoko litzateke. Honek, jadanik jasaten ari garen ondorio larriak areagotuko lituzke, hala nola animalia espezieen desagertzea, poloetan edota glaziarretan dagoen izotzaren urtea, eta azken honek dakarren uraren mailaren igoera [3], hondamendi naturalen areagotzea [4,5,6], migrazio-fluxu handiak sortzea, eta ekosistema-aldaketa eta desertifikazioa areagotzea, besteak beste. Hori dela eta, UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) konbentzioa egin zen [7]. Gerora, 1997an, Kiotoko Protokoloa adostu zen. Bertan, parte hartzaileek emisioak 1990ekoekin konparatuz gutxienez % 18an murriztearen konpromisoa hartu zuten (2013-2020 tartean) [8]. Azkenik, 2015ean Pariseko akordioa eman zen, non planetaren beroketa 2°C baino txikiagoa izateko akzio-plan bat aurkeztu zuten hainbat gobernuak [9].

Aldaketa klimatikoan eragiten duten giza faktoreak asko dira. Alde horretatik, 1.2 irudian munduko negutegi efektuko gasen emisioak (IPCC 2014) azaltzen dira, sortzen dituen sektorearen arabera. Irudi horretan ikus daitekeenez, garraioa emisioen % 14aren arduraduna dela. Hori guztia kontuan hartuta, gero eta hiri gehiagotan hasi dira hirira sartzen diren autoak mugatzen (Diesel autoak bereziki, eta baita gasolinadunak ere). Adibidez, Madrileko udalak 2025etik aurrera 2000 baino lehenagoko gasolinazko kotxeei eta 2006a baino lehenagoko diesel ibilgailuei hirira sarrera mugatuko diete [10]. Erroman, 2024tik aurrera hiriko alde zaharrean diesel ibilgailu pribatuen zirkulazioa debekatuko da [11]. Horrez gain, Londonen ere hirira sartzeko jadanik diesel autoek ordaintzen duten zergen prezioa igotzea pentsatu dute, baina konponbidea Parisen 2020rako planteatu bezala diesel autoen debekua izango litzatekeela uste dute [12].

Greenhouse Gas Emissions by Economic Sectors



1.2 Irudia. Munduko CO₂ emisioak sektoreko (Iturria IPCC 2014).

Hori guztia kontuan izanda, argi geratzen da beharrezkoa dela konbustio bidezko ibilgailuak soluzio ekologikoagoengatik ordezte. Alde horretatik, ibilgailu elektrikoa kontsideratu daiteke aukera bezala. Hala ere, teknologia horrek garapen handia behar du bideragarri izateko. Izan ere, hurrengo faktoreak izan behar dira kontuan [14,15,16]:

- Momentuz prezioak ez dira lehiakorrak diesel edota gasolina ibilgailuekin alderatuz gero.
- Gaur egun ez dago elikadura-gune nahikoak hirietan.
- Autoen elektrikoaren autonomia mugatua da, gaur egun dagoen bateria teknologia dela eta. Gainera, autonomia teorikoak sarritan ez datoz bat errealitatearekin, eta auto elektrikoaren bateria kargatzea erregaidun ibilgailuen errepostia bezain azkarra ez denez, gai horretan sakontzea garrantzitsua izango litzateke.

Beraz, ibilgailu elektriko berriak diseinatzerakoan, garrantzitsua da autonomia erreala zein izango den aurreikustea. Alde horretatik, autonomia hori zehazteko gidatze-ziklo estandarizatuak erabiltzen dira. Hauek abiadura/denbora grafika baten puntu segida bat adierazten dute, eta ibilgailuaren kontsumo- eta emisio-kantitatea era normalizatu batean kalkulatzeko erabili ohi dira. Hori lortzeko, ibilgailuaren portaerak ebaluatu eta konparatu egiten dira, baldintza kontrolatuetan edota laborategi baldintzetan, hala nola simulazio bidez edota energia absortzio dinamometro *txasis* batekin [17]. Pertsona bakoitzaren gidatze ohituren desberdintasuna, gidariaren beharrak, errepidearen ezaugarriak, trafiko-mota eta beste ezaugarri gehiagoren ondorioz; jakina da ezin dela guztiz aurreikusi auto batek izango duen autonomia [17]. Horregatik, baliteke gida-ziklo batek errealitatea guztiz ez adieraztea, eta beste gida ziklo bat edota gidatze baldintza errealean inguruko datu espezifikoak behar izatea.

Proiektu honetan, ibilgailu elektrikoaren autonomia diseinu-prozesuaren hasierako faseetan estimatzeko simulazio-plataforma bat gauzatuko da. Simulazio-plataforma horrek hainbat gida-ziklo ezberdin simulatzeko gaitasuna izango du. Horrez gain, ibilgailuaren dinamika simulatuko du ere; ibilgailuaren parametro mekanikoak ezagutuz, posible izango du ibilgailuaren propulzio-sistema elektrikoan sortuko diren abiadurak eta momentu elektromagnetikoak zehaztea. Azkenik, ibilgailuaren bateria pila baten modelo ere eratuko da, aukeraturiko gida-zikloaren arabera ibilgailuaren bateria karga egoerak duen portaera aztertzeko. Helburu hori betetzeko, literatura zientifikoan dauden gida zikloak aztertuko dira, lehenik eta behin, ondoren horiek Matlab/Simulink ingurunean inplementatzeko. Horrez gain, ibilgailu elektrikoaren ibilgailu-dinamika zehazten duten matematikak aztertuko dira, eta horiek ere modeloan integratuko dira. Gainera, literatura zientifikoko ibilgailu elektrikoaren bateriak aztertu, horietan egokiena aukeratu eta dagokion eredu sinplifikatuaren simulazioa burutuko da.

Propulzio-sistema osoaren simulazioa gauzatzeko beharrezkoa den karga konputazionala oso handia denez, garatutako modeloak OPAL-RTren RT-Lab OP4510 denbora errealerako simulatzaile digitalean integratuko dira. Era horretara, simulazio-denborak murriztu ahal izango dira, eta APERT ikerkuntza-taldeko beste proiektu batean lantzen ari den propulzio-sistemaren denbora errealeko modeloarekin batera simulatu ahal izango da.

2. Kapitulu

Testuingurua

Proiektua APERT (*Applied Electronics Research Team*) EHUko elektronika aplikatuko ikerkuntza taldearekin burutua izan da. Talde hau Bilboko Ingeniaritza Eskolako irakasle, aurre doktore eta doktore ikerlari, zein master eta graduiko ikasleek osatzen dute. APERT taldean buruturiko jarduera nagusiak hauexek dira:

- Administrazio ezberdinek deialdi publiko bidez finantzaturiko ikerkuntza eta garapen (I+G) proiektuetan lankidetzak.
- Ikerkuntza taldearen gaien ildoarekin bat datozen I+D proiektuak, enpresa edo erakundeen kontratu moduan.
- APERT taldearen ikerkuntza ildoekin erlazionaturiko enpresentzako formazioa.
- APERT ikerkuntza taldearekin loturiko teknologia aholkularitza, ikaskuntza teknikoak edota txostenak.
- Doktoretza tesiak, nazioarteko aldizkarietan argitalpenak, kongresuak eta patenteak.

Hau kontuan izanik, taldearen ikerkuntza arloak bi dira. Alde batetik, zirkuitu birkonfiguragarriak eta SoC (*System-on-Chip*) eta, bestetik, energia bihurgailuentzako kontrol-zirkuituak. Zehazki, lan hau potentzia bihurgailuen kontrolerako zirkuituen garapen eta ikerkuntzan kokatzen da.

Momentu honetan, APERTeko potentzia-elektronikaren inguruko ikerkuntza-ildoak ondorengo esparruetan ardazturik daude:

- Ibilgailu elektrikoaren propulzio sistemarentzako elektronika: Atal honetan, ibilgailu elektrikoaren propulzioan erabilitako potentzia inbertsore eta bihurgailuen errendimendu, kontrol eta hozketa-sisteman hobekuntzak garatzen dira.
- Transmisioa eta banaketa korrante zuzenean: Gai honetan, itsas energiaren transmisio eta banaketa sistemak garatzen dira.

Zehazki, gradu amaierako lan honetan lorturikoa, ibilgailu elektrikoaren propulzio-sistamarako denbora errealeko plataforma baten garapen-proiektuan ezarriko da gerora. Horrela, aztertu eta garaturiko gida-ziko zein bateriaren modeloaren menpe, potentzia-sistema hainbat esparrutan aztertzei aukera emango da.

3. Kapitulu

Helburuak eta proiektuaren irismena

Lan honetako **helburu nagusia ibilgailu elektriko baten propulzio-sistemaren denbora errealeko simulaziorako gida-ziklo eta bateria modeloak garatzea eta egiaztatzea**. Honela, gida-ziklo bat martxan ari den bitartean bateriaren karga egoera jakitea lortu ahal izango da. Gauzak horrela, ondorengo helburu espezifikoak burutu beharko dira gradu amaierako lan hau betetzeko:

1. Ibilgailuen gida-zikloen ikerkuntza burutzea, batez ere ibilgailu elektrikoena eta, horrez gain ibilgailu elektrikoetan erabilitako baterien artearen egoera aztertzea. Horretarako, aldizkari zientifikoetan aurkituriko informazioaz baliatuz.
2. Gida-zikloa inplementatuko den ibilgailu-modeloaren eta bateria-modeloaren eredu matematikoa aztertzea eta ulertzea.
3. Eredu matematikoak kontuan izanik, gida-zikloen zein bateria-paketearen simulazio modeloa eratzea Matlab/Simulink erabiliz.
4. Matlab/Simulinkeko bi modelo horien inplementazioa OPAL-RT plataforman.
5. Denbora errealeko simulazioan inplementaturiko modeloen emaitza jasotzea, gida-ziklo zein baterien emaitzak bateratuz.

Beraz, proiektuaren **irismena** da **ikerkuntza taldearentzat denbora errealeko propulzio-sisteman erabili ahalko diren gida-ziklo zein bateria-modelo balioztatuak eskaintzea**. Horrela, etorkizuneko denbora errealeko ibilgailu elektrikoaren propulzio-sistemaren simulazioa burutzean gida-ziklo eta bateria ezberdinak erabiltzeko aukera eskainiko da.

4. Kapitulu

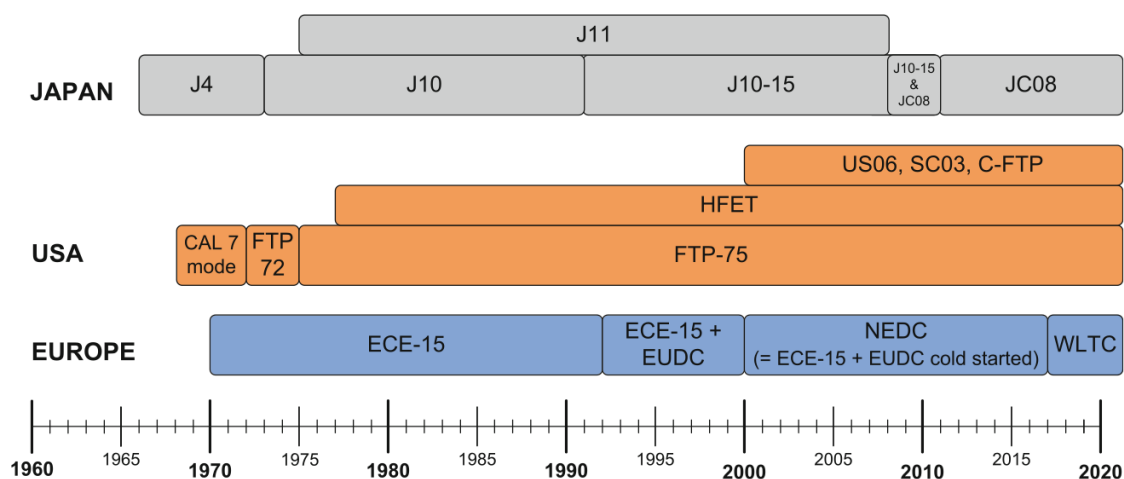
Artearen egoera

4.1. Gida-zikloen artearen egoera

4.1.1. Sarrera

Aurretik azaldu bezala, ibilgailuen emisio-kopuruak eta autonomia kalkulatzeko erremintak dira gida-zikloak. Alde horretatik, ziklo bakoitzak egoera jakin bat definitzen du. Gauzak horrela, badaude alde batetik, ibilgailu pisutsuentzako zikloak eta, bestetik, pisu gutxiko ibilgailuentzako zikloak. Gure modeloa pisu gutxiko ibilgailuen sailean kokatzen denez, mota honetako gida-zikloak aztertuko ditugu. Horrez gain, zikloak eratzen dituen lurraldearen ezaugarrien arabera ere desberdinak izango dira ziklo horiek, hala nola klimaren, temperaturaren, orografiaren, errepideen ezaugarrien eta trafikoaren arabera, besteak beste. Ondorioz, Herralde askok beraien gida-ziklo propioak garatu dituzte.

Guzti hori kontuan hartuta, gida-ziklo askorekin aurkitzen gara, bai dokumentu teknikoetan eta baita literatura zientifikoan ere. Horregatik, ibilgailuen estandarizaziorako erabiliak izan diren ziklo garrantzitsuenak aztertuko ditugu, 4.1 irudian ikus daitezkeen bezala.



4.1 irudia. Emisio-ziurtagirietan erabilitako gida-zikloen kronograma Europa, Estatu Batuetan eta Japonian [18].

Ingurune geografikoaren arabera sailkatu dira gida-zikloak lan honetan. Jarraian, Japoniako, Europako eta Estatu Batuetako ziklo esanguratsuenak aztertzen dira, beraien eboluzio historikoa erakusten da, gida ziklo horien xehetasunak azalduz, eta beraien arteko konparaketa bat eginez.

4.1.2. Definizioak

Atal hau ongi ulertzeko, beharrezkoa da, lehenik eta behin, hurrengo orrialdeetan sarri errepikatuko diren eta gida-zikloekin erlazionatuta dauden kontzeptu garrantzitsuenak definitzea. Alde horretatik, hurrengo kontzeptuak nabarmen daitezke:

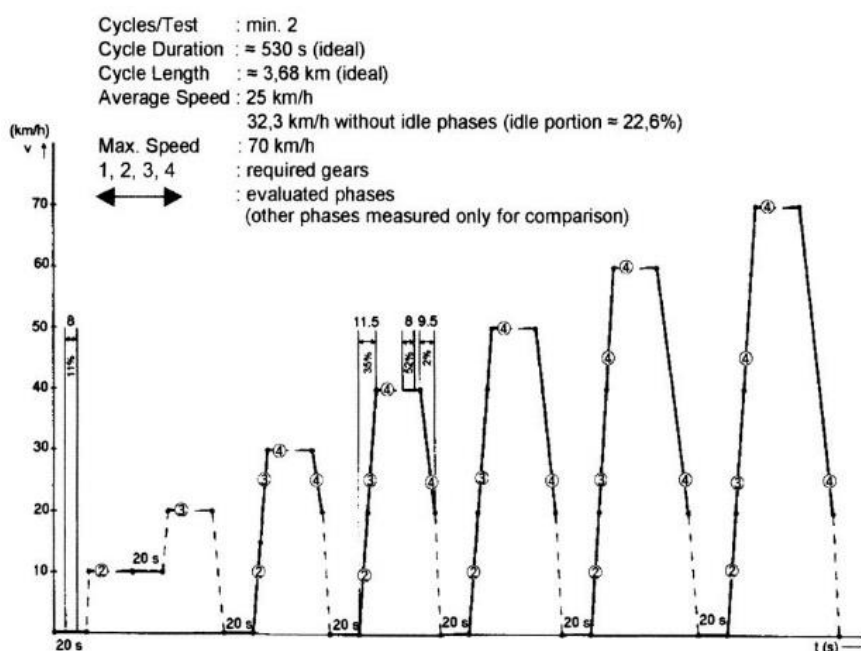
- Itopuntu-egoera ibilgailua martxan egon arren, mugitzen ez deneko denbora tarteari dagokio. Baldintza hau, askotan eman ohi da hiriko trafikoan edota errepide jakin batean auto-ilarak direnean.
- Ziklo (edo fase) hotza eta ziklo beroa, gidatze baldintza ezberdinak kuantifikatzeko metodoak dira. Lehenarekin, temperatura baxuetan gidatzen hasi diren ibilgailuen portaera islatu nahi da, operazio-tenperatura optimoan baino temperatura baxuagoa duen motor bat erabiliz. Bigarrena ezartzeko, ibilgailuak aurre-prestaketa prozesu bat jasaten du, zeinetan temperatura epel batera (20-30 °C) eramaten da motorraren temperatura denbora tarte batez, edota ito-puntuari jartzen da ziklo hasieran. Honela, motorra operazio-tenperatura optimoan funtzionatzen hasten dela bermatzen da.
- Ponderazio terminoa zenbait ziklotan agertuko den hitza da. Honekin, Zikloaren atal bati edo zikloa erabiltzeko modu jakin bati ematen zaion garrantzia adierazten da. Hau da, ziklo batean hasiera hotzeko atala % 75ean ponderaturik badago; ibilgailuaren emisio eta autonomia kalkulatzeko orduan, emaitzaren % 75a atal horrekin lortu da.

4.1.3. Japoniako gida-ziklo esanguratsuenak

Japonian gida-ziklo asko definitu dira azken urteotan, bertan dabilzan ibilgailuen autonomia eta emisioak aztertzeko. Jarraian, Japonian erabilitako gida-ziklo esanguratsuenen profilak azaltzen dira, hots, J4, J10, J11, J10-15 eta JC08 gida-zikloenak.

J4 gida-zikloa.

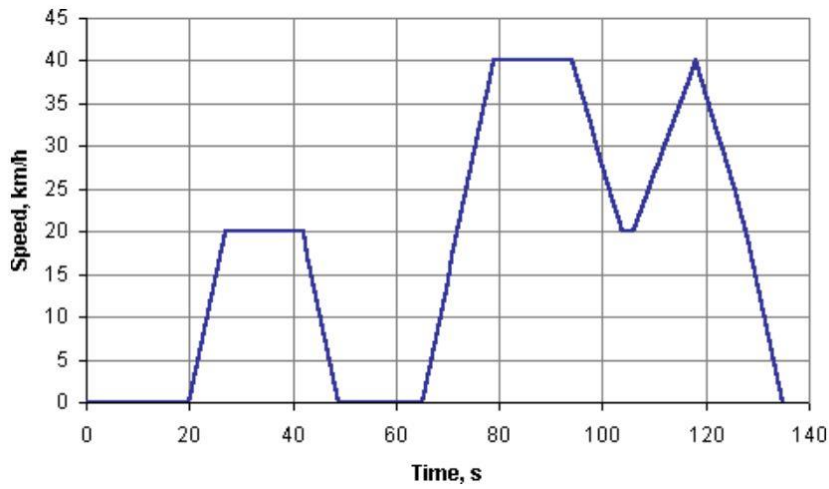
Japonian, TRIAS (*Traffic Safety and Nuisance Research Institute of Automobile Type Approval Standards*) institutuak, Tokioko gidatze-ohiturak aztertu ondoren, J4 gidatze-zikloa garatu zuen, eta 1966an estandarizazio-sekuentzia bezala erabiltzen hasi zen [19]. Zikloa azelerazio, abiadura konstante eta dezelerazio tartetan dago banatuta. Hauek errepikatu egiten dira 20 s-ko itopuntu tarte batekin, eta abiadura konstantea errepikapen bakoitzean 10 km/h handiagoa da, 70 km/h-ko abiadurara heltzen den arte.



4.2 irudia. J4 gida-zikloa [19].

J10 gida-zikloa

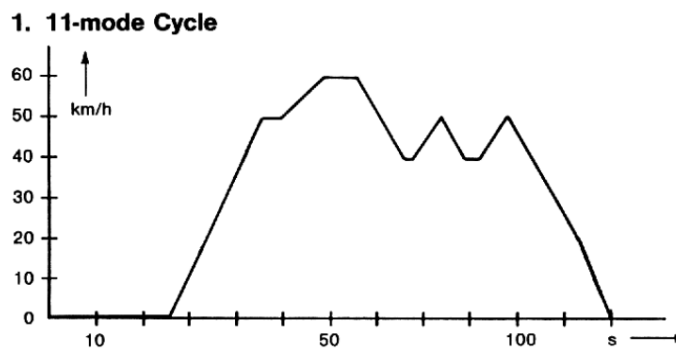
J4 zikloa 10 mode (J10) zikloarekin ordezkaturik izan zen emisio test ofizial bezala 1973an [19]. Hau ere ibilgailu arinen emisio-egiaztapena burutzeko erabili zen, hiriko gidatze-baldintzak simulatuz. Zikloak 40km/h-tan 15 minutuz egindako beroketarekin hasi eta 4.3 irudian ageri den abiadura-profila jarraitzen du, azken hau 6 aldiz errepikatuz [20].



4.3 irudia. J10 gida-zikloa [20].

J11 gida-zikloa

11 mode (J11) zikloa 1975an hasi zen erabiltzen, eta 2008rarte aplikatu zen. Honekin, hasiera hotzarekin abiarazitako ibilgailuek sorturiko emisioak kontuan hartzea lortu nahi zen. Horretarako, 1973an gidatze ohituren inguruan egindako ikerkuntzetan kontuan hartu zen goizean goiz Tokiora bidaiatzen zuten ibilgailuak hasiera hotz bat zutela [18].

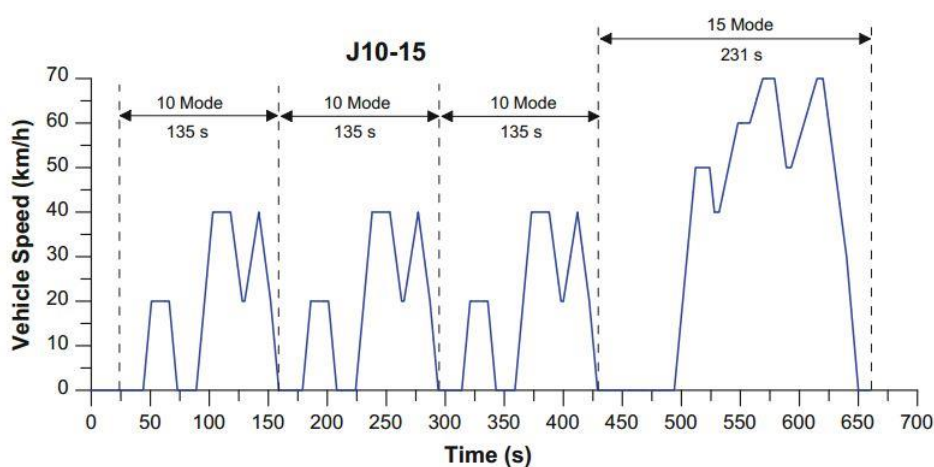


4.4 irudia. 11 mode gida-zikloa [21].

Zikloa 25 s-ko itopuntu tarte batekin hasten da, gero 4 aldiz errepikatua izateko. Ziklo bakoitzaren iraupen-denbora 120 s-koa da, eta 60 km/h-ko abiadura maximora heltzen da [21].

J10-15 gida-zikloa

Gida-ziklo hau 10 mode ziklotik eratorri zen, 15-mode atala gehituz eta 1991tik aurrera 10-15 mode (J10-15) zikloa eratu zen [19]. Ziklo honekin, hiri autobideetako trafiko-baldintzak islatzen dira, zeintzuk Japoniako metropoli ingurunean egindako gidatze errendimendu ikerkuntzetan oinarriturik dauden. Zikloa errepide eta ibilgailuen segurtasun estandarrean (*the Road Transport and Motor Vehicle Safety Standards*, 1951 Ministry of Transport Law 67) ageri da, 31.2 artikuluan [22].

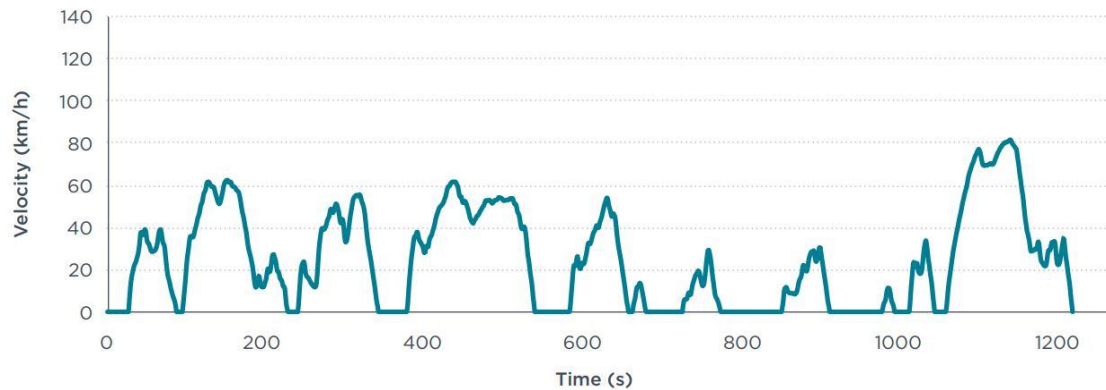


4.5 irudia. J10-15 gida zikloaren abiadura grafika [18].

Gida-zikloa hasiera berokoa da. Horregatik, 15 minutuko aurre beroketa batekin hasten da, eta tarte horretan ibilgailua 60km/h-ko abiaduran mantentzen da. Ondoren, itopuntu test-a dator, eta berriz 60km/h-tara jarriko da, baina, kasu honetan, 5 minututan. Amaitzeko, 15 mode segmentua abiarazten da, eta horrela badago J10-15 zikloa hasteko prest. 4.5 irudian ikus daitekeen bezala, gida zikloa 3 J10 zikloz eta J15 ziklo batez osaturik dago, eta 70km/h-ko abiadura maximora helduko da ibilgailua ziklo estandarizatu honetan [21].

JC08 gida-zikloa

2005eko emisio-arautegi Japoniarrean, gida ziklo berri bat aurkeztu zen, JC08 izenarekin. Test honek hiri Japoniarretan gertatzen diren auto-pilaketekin erlazionatuta dagoen trafikoa adierazten du. Horretarako, itopuntu-tarteak eta sarri ematen diren azelerazio eta balaztatzeak kontuan hartzen dira. Gainera, test-a bi aldiz errepikatzen da, bata hasiera hotzarekin eta bestea beroarekin [23]. Zikloan 1204 segundotan 8.17 km-ko distantzia burutzen da, eta 81.6 km/h abiadura maximora heltzen da [24]. Beraz, esan daiteke ziklo honek gida-baldintza errealagoak adierazten dituela, aurreko zikloekin konparatuz, baldin eta hiriguneetako gida-baldintzak kontuan hartzen badira.



4.6 irudia. JC08 Gida-zikloa (ICCT, The International Council on Clean transportation).

Emisioak era zehatzago batean aztertu ahal izateko, ondorengo ezarri zen Japonian: emisio azterketa metodoan, lehenik 11 mode zikloa hasiera hotzeko JC08 zikloarekin aldatuko zen 2008an, eta J10-15a hasiera beroko JC08arekin 2011n [25]. Ziklo bakoitzaren batezbestekoak garrantzia ezberdina izango luke hurrengo zerrenda ikusi daitekeen bezala [26]:

- 2005.10: 12% J11 hasiera hotza + %88 J10-15 hasiera beroa.
- 2008.10: 25% JC08 hasiera hotza + %75 J10-15 hasiera beroa.
- 2011.10: 25% JC08 hasiera hotza + %75 JC08 hasiera beroa.

Beraz, ziklo ezberdinak konbinatzea hartzen da emisioen eta autonomiaren azterketarako Japonian gaur egun.

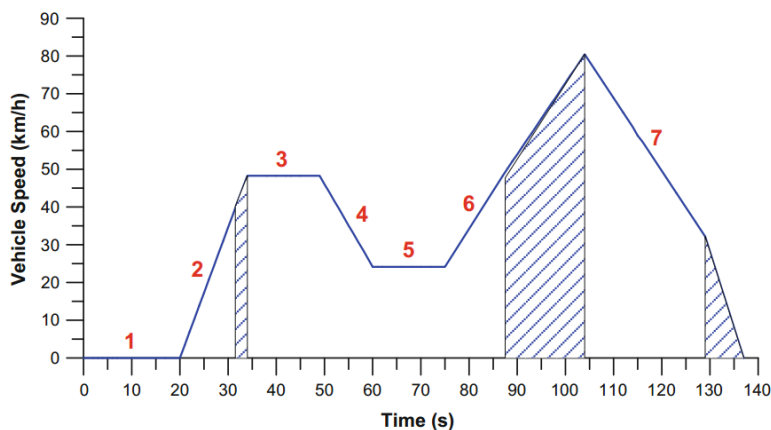
4.1.4. Estatu Batuetako gida-ziklo esanguratsuenak

Estatu batuetako automobilaren sektoreak ere azken urteetan zehar hainbat gida-ziklo garatu ditu. Alde horretatik, Estatu Batuetako gida-estilora hurbiltzen diren zikloak definitu dira, hala nola CAL 7, FTP-72, HFET, US06 eta SC03 gida-zikloak. Jarraian deskribatzen dira gida-ziklo horien xehetasunak, Estatu Batuetan erabilitako zikloen bilakaera historikoa erakutsiz.

CAL 7 gida-zikloa

Estatu batuetan, California 7 mode zikloa izan zen estatu osoan ezarri zen lehen gida-zikloa, eta 1968an EEBB test prozedura federala (1968 U.S. Federal Test Procedure) izena eman zitzaion. Honekin, oso ohikoan zen goizeko lehen orduko trafiko-pilaketa irudikatu nahi zen,

garai hartan, ordu horietako kutsatzaile primarioak *smog* fotokimikoari egindako ekarpenaren garrantzia ulertzen ez zen arren [27].

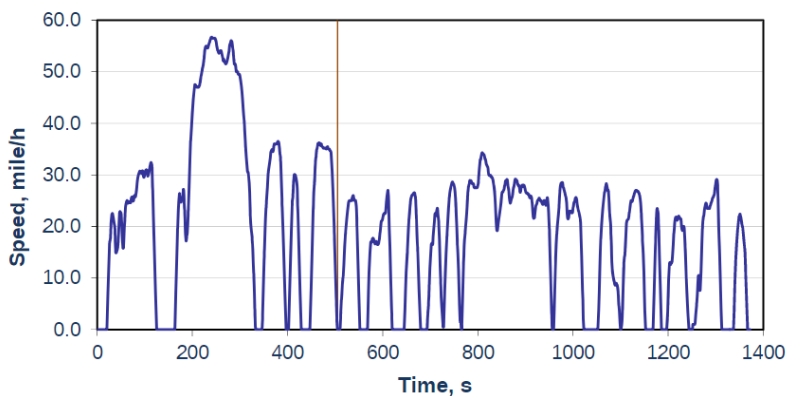


4.7 irudia. California 7 gida-zikloa [18].

Zikloaren iraupena 137 s-takoa da, eta 80 km/h (50 mph) inguruko abiadura maximora heltzen da (4.7 irudia). Gida-ziklo espezifiko honen test-prozedura aplikatzerako orduan, zikloa 7 aldiz errepikatzen zen. Lehenengo laurak ibilaldi hotz bezala kontuan hartzen ziren, % 35ean ponderatua, eta hurrengo 6-7 errepikapenak ziklo bero bezala, % 65ean.

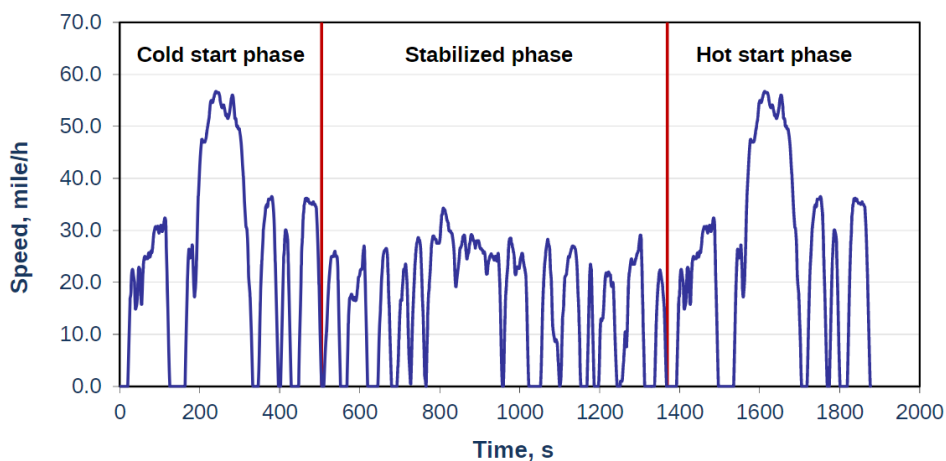
FTP-72 eta FTP-75 gida-zikloak

FTP-72 (*Federal Test Procedure*) zikloa EPAko (*United States Environmental Protection Agency*) *Urban Dynamometer Driving Schedule* edo LA-4 bezala ezagutzen da; bere izenak adierazten duen bezala, 1972an emisioak testatzeko ezarri zen. Zikloa LA-4 ibilbidetik bidaiatzen duen auto baten abiadura-datuetan oinarritzen da, zeinaren ibilbide totala 12 miliatakoa den. Hala ere, Los Angeles hirian ibilgailuek buruturiko batez besteko bidaien luzera 7.5 miliakoa zenez, LA-4 ibilbide horretatik zenbait zati ez ziren kontuan hartu, eta ibilbidea 7.5 miliatara murriztu zen, zikloa hiri handietako baldintzetara partikularizatuz [27].



4.8 irudia. US EPA Urban Dynamometer Driving Schedule (FTP-72) [28].

Hiri ibilbidea simulatzen duen ziklo hau bi zatitan banatzen da (4.8 irudia). Lehena, hasiera hotzarekin hasten da, eta % 43ko ponderazioa dauka. Aldiz, bigarren atalari % 57ko ponderazioa dagokio. Osotasunean, 1372 s-ko zikloa osatzen da guztira, 19.6 mph-ko (31.5 km/h) batez besteko abiadurarekin, eta 56.7 mph-ko (91.25 km/h) abiadura maximoarekin [28].

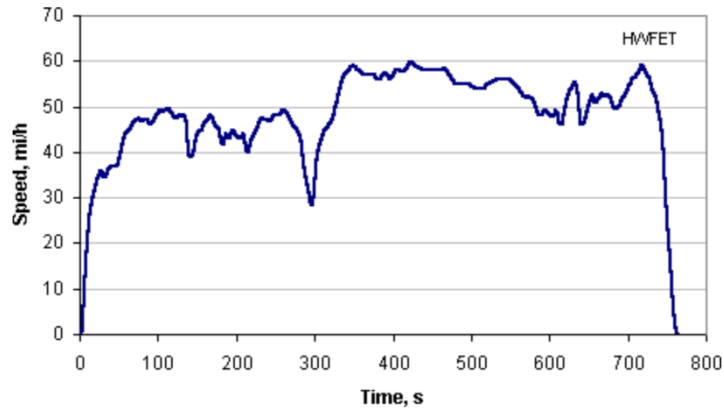


4.9 irudia. US EPA Urban Dynamometer Driving Schedule (FTP-75) [29].

Handik gutxira, FTP-72ak hasiera hotzeko baldintzetan zuen ponderazioa handiegia zela ondorioztatu zen. Gerora, 1975an, zikloaren berrikusketan egin zen, eta FTP-75a ezarri zen FTP-72aren ordez. Ziklo hori FTP-72a bezala hasten zen, baina beste zati bat gehitu zitzaion [27]. Ziklo honetan, lehengo bi atalen ostean, 540-660 segundo bitarteko egonaldi beroa egin behar zen eta, ondoren, hasierako 505 s-ko atala hasiera beroarekin errepikatu. Horrez gain, ibilgailu hibridoetan fase egonkorra (*stabilized phase*, 4.9 irudia) beste behin pasaratzen da, hasiera beroaren ostean [23].

HFET gida zikloa

HFET (*Highway Fuel Economy Test*) edo HWFET bezala ezagututako gida zikloa, 1974an EPA erakunde Estatu Batuarrek garatu zuen. Pertsonen gidatze-esperientziak era osatuago batean lortzeko agentziak autobide-portaera (*Highway*) islatu zuen ziklo honetan [30].

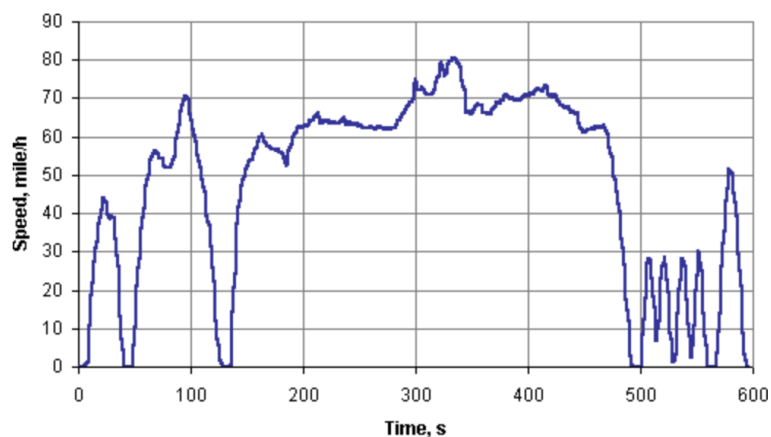


4.10 irudia. EPA HFET, Higway Fuel Economy Test Cycle [31].

Test-a bi aldiz abiarazten da, bien arteko gehieneko 17 s-ko tartearekin. Lehenengo testa aurre-prestaketarako sekuentzia da, eta bigarrena emisioen neurrak bera izango da. Bere iraupena 765 segundotakoa da, 16.45 km-ko (10,26 mila) ibilbide-distantziarekin, eta 77.7 km/h-ko (48.3 mi/h) batez besteko abiadurarekin (4.10 irudia) [31]. Ziklo urbanoekin konparatuta, ibilgailuaren funtzionamendu-dinamika askoz ere egonkorragoa da, aldaketa leunagoekin eta abiadura altuagoekin, autobideetan gertatu ohi den bezala.

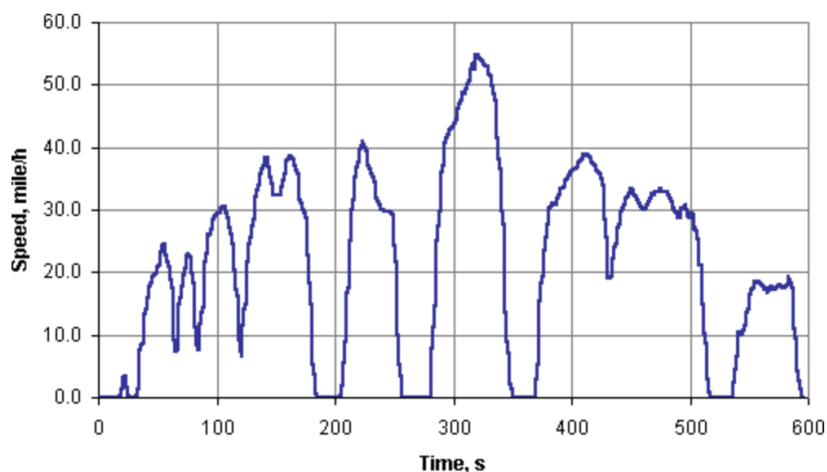
US06, SC03 eta C-FTP

1990erako, FTP-75 eta HFET zikloak momentuko gidatze moduen adierazgarri ez zirela antzemanaz, EPAk beste ziklo osagarri batzuk garatu zituen, 1990an lorturiko datuetan oinarrituta. Horien artean US06, SC03 eta C-FTP gida-zikloak definitu ziren. Lehenarekin, autobideko gidatze-modu oldarkorrak simulatzen ziren; bigarrenarekin, hiri barruko zirkulazioa, aire egokitua piztuta izanik eta, azkenarekin, tenperatura baxuko gidatzea [32].



4.11 irudia. SFTP US06 gida-zikloa [33].

Aipatu den bezala, US06 Test prozedura federal osagarria (SFTP, *Supplemental Federal Test Procedure*) gidatze oldarkorraren adierazle da, 4.11 irudiko abiadura-profilak erakusten duen bezala. Hori dela eta, abiadura handiak, azelerazio handiak eta abiadura gorabehera azkarrak agertuko dira ziklo honetan. Guztira, 12.8 km-ko (8.01 mila) ibilbide bat adierazten du zikloak, 596 segundotan burutuko dena. Ibilbide honetan, 77.9 km/h-ko (48.4 mi/h) batez besteko abiadura izango dugu, eta 129.2 km/h-ko abiadura maximoa [33].



4.12 irudia. SFTP SC03 gida-zikloa [34].

SC03 test prozedura federal osagarria FTP-75 testarekin ziurtaturiko ibilgailuetan erabilia izan ohi da. Hiri barneko zirkulazioa adierazten du test horrek, 5.8 km-ko (3.6 miliako) ibilbide bat adierazten duena, hain zuzen ere. Batez besteko abiadura 34.8 km/h-koa da, eta 88.2 km/h-ko abiadura maximoa lortzen da 596 segundoko ziklo honetan [34].

Horretaz aparte, C-FTPa, FTP-75aren abiadura/denbora grafikaren itxura bera duen zikloa da. Honetan desberdina dena da testa burutzen den gunearen tenperatura. Izan ere, C-FTP zikloan -7 °C inguruko tenperaturan burutzen da prozedura [32].

Azkenik, datu aipagarri bezala, EPAk 2005-2006an test prozedura eta kalkuluak berriz aztertu zituen. Ondorioz, erregai ekonomia balioak, aipaturiko azken 5 ziklo hauen (FTP-75, HFET, SC03, US06 eta C-FTP) konbinazio eta ponderazio zehatz bidez kalkulatzeko *5-cycle* prozedura eratu zen [32].

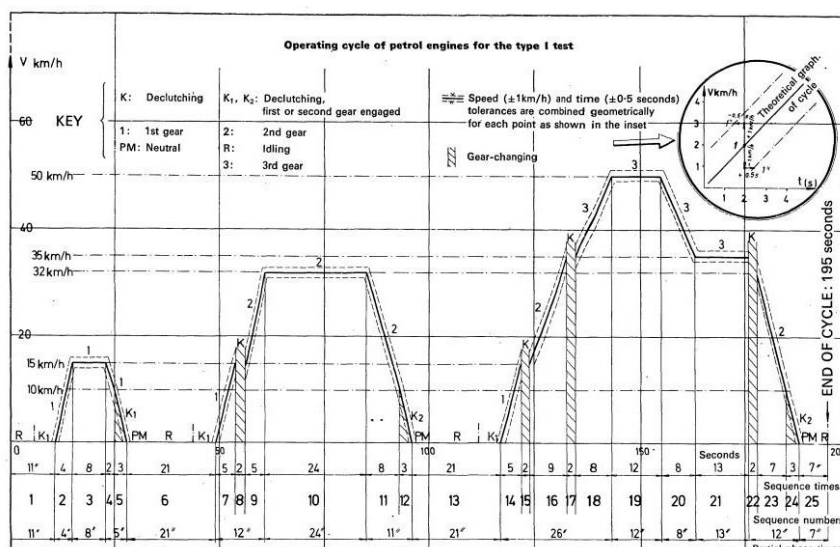
4.1.5. Europako gida-ziklo esanguratsuenak

Azkenik, gure gida baldintzetatik hurbilena den markoa, hori da, europarra, aztertuko da jarraian. Alde horretatik, ECE-15, NEDC eta WLTP/WLTC zikloak deskribatuko dira jarraian.

ECE-15 gida-zikloa

ECE-15 zikloa hiriko gida-ziklo bat da, eta UDC (*Urban Driving Cycle*) izenaz ere ezagutzen da. Ohikoa denez, hiriko gidatze-baldintzak adierazteko sortu zen, adibidez Erroma edo Paris bezalako hirietan gertatzen direnak. Ziklo honen ezaugarri bereizgarriak motorraren karga, ihes-hodiko gasen temperatura eta ibilgailuaren abiadura baxuak (50km/h gehienez) izatea dira [35].

Alde horretatik, 4.13 irudian ikusi daitekeen bezala, hiru bidaia txiki burutzen dira ziklo honetan, eta hirurak itopuntu-egoeran hasten dira. Ondoren, azelerazio konstanteak jarraitzen ditu ibilgailuak, abiadura jakin batetara iritsi arte. Tarte batean lortutako abiadura hori finko mantentzen da denbora jakin batean zehar, eta balaztate konstante batez bukatzen dira. Zikloa 4 aldiz errepikatzen da, 780 s-ko iraupenarekin, guztira 4045 m-tako distantzia eginez. Hau guztia 70/220/EEC (*The Council of the European Communities*) kontseiluko zuzentarauan finkatu zuen [36].

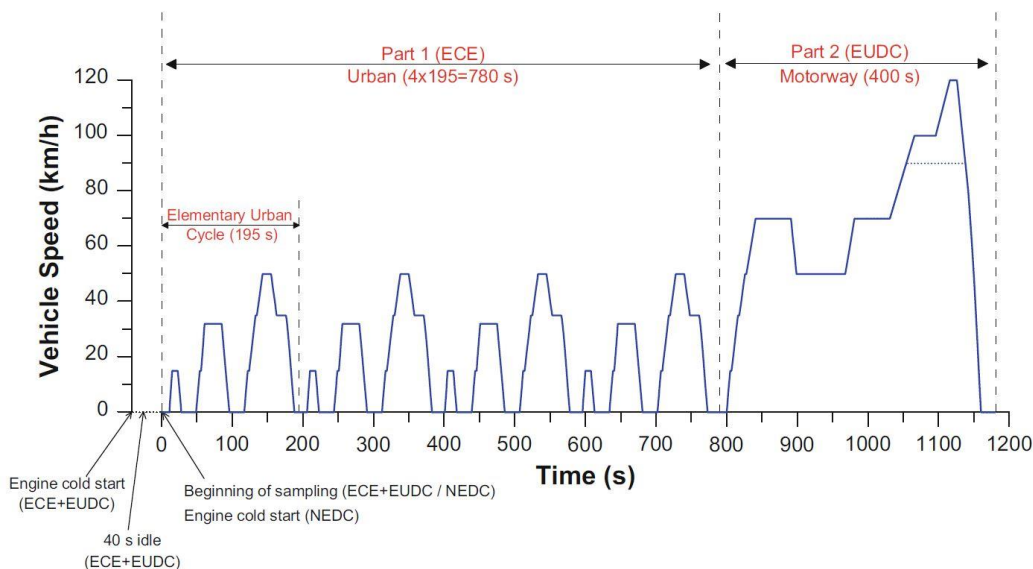


4.13 irudia. ECE-15 (iturria 70/220/EEC - the Council of the European community - zuzentaraua).

ECE15+EUDC/NEDC gida-zikloa

91/441/EEC kontseiluko zuzentarauan ziklo konposatu berria definitu zen [37], MVEG-A zikloa (*Motor Vehicle Emissions Group*) izenaz ere ezagutzen dena. Bertan, aurretik aurkezturiko ECE-15 eta EUDC (*Extra Urban Driving Cycle*) zikloa erabiltzen dira. Azken honekin, bere izenak adierazten duen bezala, hiriz kanpoko gidatze prozesua gida-zikloari gehitzea lortu nahi zen. Horretarako, ziklo oldarkor berri horretan 120km/h-ko abiaduraraino heltzen den abiadura-profila ezartzen da. Kasu honetan, ez dago itopuntu-egoerarik ziklo erdian, soilik hasiera eta bukaeran. Abiadura konstanteak denbora luzeagoz mantentzen dira, eta iraupena 400s-takoa

da (4.14 irudia, EUDC zatia). Ziklo osoa 4 ECE-15 zikloz eta EUDC ziklo batez eratzen da. Gainera, testa burutu baino lehen, motorra 20-30 °C-tara uzten da sei orduz gutxienez, eta ondoren zikloa 40s-ko itopuntu batekin hasten da beheko irudian ikusi daitekeen bezala [35].



4.14 irudia. ECE-15 +EUDC / NEDC zikloaren abiadura-grafika [18].

1998an, ziklo berri bat sortu zen, 98/69/EC zuzentarauan (*Directive 98/69/EC of the European Parliament and of the council*) eman ziren ECE+EUDC zikloaren aldaketan ondorioz [38]. Garrantzitsuena, ziklo hasierako 40 itopuntuko segundoak ezabatzea izan zen. Abiarazte hotzerako moldaturiko prozesu honi NEDC (*New European Driving Cycle*) edo MVEG-B (*Motor Vehicle Emissions Group*) deritzo [35].

4.1.6. Gida-ziklo internazionalak

Nahiz eta momentuz European bakarrik aplikatzen den gida-zikloa izan, WLTP/WLTC zikloak internazionalizatu egiten ditu gida profilak, Asiako gidatzeari dagozkion ezaugarri partikularrak baititu, profil internazionalagoa sortuz. Jarraian, ziklo hau aztertzen da, zertan datzan deskribatuz.

WLTP/WLTC gida-zikloa

Mundu osoan bateraturiko pisu gutxiko ibilgailuen test prozedura, WLTP (*Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure*), 2019aren irailerako European aplikatzen izango da [39]. Prozedura hau UNECEko (*United Nations Economic Commission for Europe*) 15. erregulazio-tekniko bezala argitaratu zen. Prozedura honetan, GRPE (*Working Party on Pollution and Energy*) taldeak garaturiko WLTC-a aurkeztu zen [40]. Gida-zikloa, munduko herrialde ezberdinetan (EU, India, Japonia, Korea, EEBB) lorturiko gidatze-datu errealez osatua

dago. Honela, auto-kategoriak, errepide-motak (hiria, hiriz kanpo, autobidea) eta gidatze-baldintza ezberdinak kontuan hartzen dira [41]. Gainera, WLTC zikloa beste zenbait azpi-ziklotan banatzen da, ibilgailuaren PMRaren (*Power to unladen mass ratio*) arabera (4.1 taula). Azken parametro hori ibilgailuaren potentzia nominal (W) / ibilgailuaren masa hutsean (kg) bezala definitzen da [42].

4.1 taula. WLTC zikloak ibilgailuaren klasearen arabera [42].

Ziklo mota	PMR, W/kg	v_max, Km/h	Abiadura fase sekuentzia
3b. klasea	PMR > 34	$v_{max} \geq 120$	Low 3 + Medium 3-2 + High 3-2 + Extra High 3
3a. klasea		$v_{max} < 120$	Low 3 + Medium 3-1 + High 3-1 + Extra High 3
2. klasea	$34 \geq PMR > 22$	-	Low 2 + Medium 2 + High 2 + Extra High 2
1. klasea	$PMR \leq 22$	-	Low 1 + Medium 1 + Low 1

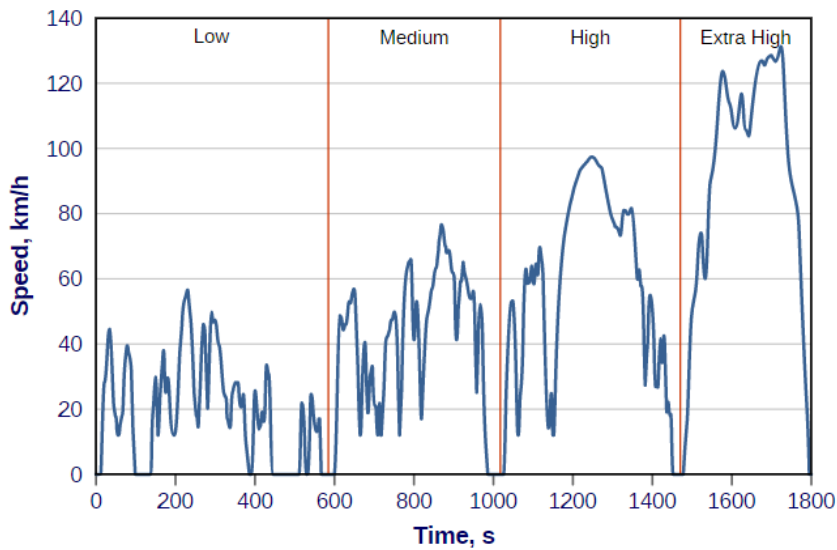
Era horretara, 3 klase bereizten dira, ibilgailuaren ezaugarrien arabera. Jarraian, klase horien araberako ziklo partikularrak deskribatzen dira.

- **3. klasea**

PMR altuenarekin, 3 klasea Japoniako eta Europako gidarien eredua da. Klase hau bi mailatan banatzen da:

- **3b klasea**, 120 km/h-ko abiadura maximoa gainditzen duten ibilgailuentzat.
- **3a klasea**, 120 km/h-ko abiadura maximoa gainditzen ez duten ibilgailuentzat (abiadura hori fabrikatzaileak ezarritako muga litzateke).

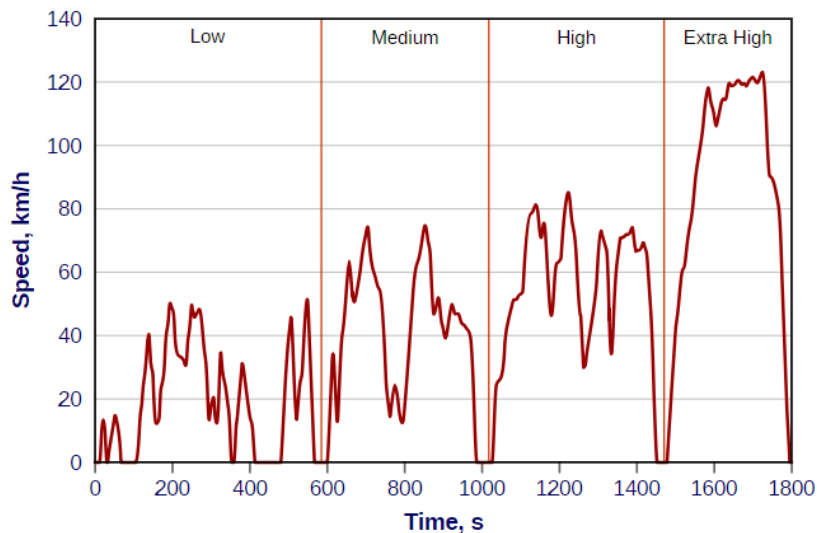
Alde horretatik, 4.15 irudian soilik 3b gida-zikloa erakusten den arren, 3a klasearen abiadura-profila honen antzerakoa izango litzateke, baina baxuagoa. Irudiak erakusten duen profilean lorturiko abiadura maximoa 131.3 km/h-koa da, eta zikloaren iraupena 1800 segundotakoa da [42].



4.15 irudia. WLTC 3b klase gida-zikloa [42].

- 2. Klasea

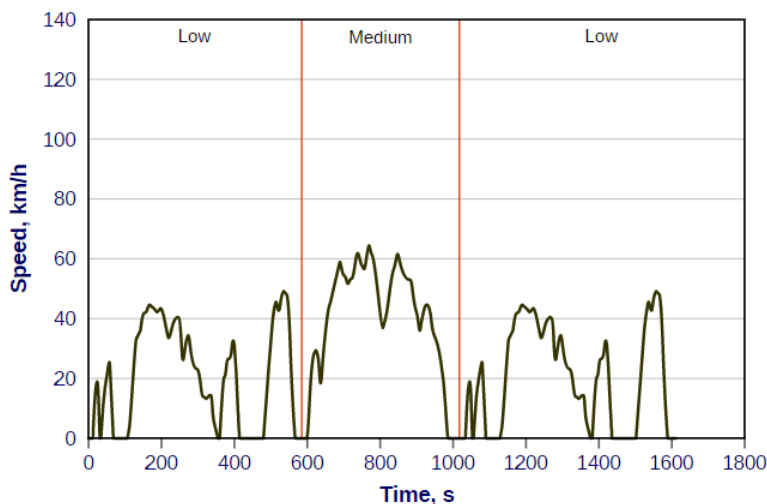
Klase hau Indiako ibilgailuen eta Japonia zein Europako potentzia baxuko ibilgailuen adierazlea da. Klase honetan, abiadura maximoa 123.1 km/h-koa izango litzateke, eta zikloaren iraupena aurreko klasean bezalakoa, hori da 1800 segundotakoa [42].



4.16 irudia. WLTC 2 klase gida-zikloa [42].

• 1. Klasea

PMR parametroari dagokion balio txikienekin, Klase honetan Indian gidaturiko ibilgailuen errepresentazioa daukagu. Ziklo hau 3 klaseetako laburrena izango litzateke, 1611 segundotako iraupenarekin, eta lorturiko abiadura maximoa 49.1 km/h-koa da bakarrik [42].



4.17 irudia. WLTC 1 klase gida-zikloa [42].

Guzti honetaz gain, WLTPak neurri bereziak ditu HEV (*Hybrid electric vehicles*) eta PEV-entzat (*Plug-in electric vehicles*). Hauek 3. klasean sailkatzen dira, bai 3a edo 3b-an, eta kargaxahuketa, zein karga-mantentze moduetan frogatzen dira [42].

4.1.7. Aztertutako gida-ziklo esanguratsuenen arteko konparaketa

Estandarizatutako gida-ziklo aipagarrienak ikusi ondoren, herrialde bakoitzean martxan izan diren azkenengo zikloak konparatu dira, hurrengo ondorioak lortuz:

- Zikloen abiadura-datuei dagokionez, desberdintasun nabarmenak ikus daitezke NEDC eta beste zikloen artean (JC08, WLTP, FTP-75, HFET, C-FTP, US06, SC03). Lehen ziklo modal bat dela hauteman daiteke, azelerazio eta abiadura konstantez eraturik baitago. Bestalde, beste ziklo guztiak errepideko datu errealez osaturiko ziklo iragankorrak dira. Hori dela eta, errealitateari gehiago hurbiltzen zaizkion abiadura-aldaketez eraten dira [43].
- Abiadura maximoari erreparatuz, WLTP zikloa da balio altuena lortzen duena (131.3 km/h); jarraian US06 eta NEDC zikloak aurkituko lirateke. Bestalde, abiadura

baxuena JC08 zikloak dauka, zeinetan azelerazio oldarkorrak ematen diren arren, abiadura maximo baxua lortzen da [24].

- Ziklo bat hasiera hotzarekin abiarazteak motorraren kargak, erregai kontsumoa eta CO₂ emisioak handiagoak izatea eragiten du. Zikloen arteko konparaketa bat eginez gero, hasiera hotzeko efektuan NEDC zikloan da nabariena. Izan ere, gidatze-distantzia laburra du, gidatzerakoan beroketa-denbora luzea du eta hasiera hotzaren ponderazioa % 100ekoa du. Honekin alderatuz, WLTCa % 50 inguruan luzeagoa da, eta azkarrago berotzen du motorra. FTP-75ak hasiera hotza soilik % 43an ponderatzen du. Ezaugarri honek sailkapenaren aurkako mugari dagokionez, JC08aren test hotza % 25ean dago bakarrik ponderatuta [24].
- Ibilgailuaren modeloaren pisuari dagokionez, NEDC zikloan ibilgailu pisuari 100 kg gehitzen zaizkio arauz, emaitza errealagoak lortzeko. Berriz, WLTP zikloan 100 kg horiez gain, ibilgailuaren karga maximoaren % 15 a kontuan hartzen da. Literatura zientifikoaren arabera, emisioei dagozkien balio errealagoak lortzen dira WLTP zikloa erabiltzen denean [44].
- NEDC gida-zikloa ez zen erregai kontsumoa edota CO₂ isurketak neurtzeko garatu. Hori dela eta, honekin lorturiko balioak errealitatekoekin konparatuz % 49 batean desbideratzen dira [45]. Baina, WLTP zikloaren sarrerarekin ehuneko hau % 23 ingurura murriztea espero da. Hala ere, tartea handia izaten jarraitzen du, izan ere, WLTP-ak NEDC-aren zenbait huts ez ditu ebatzen. Adibidez, test bitartean ibilgailuaren laguntza-ekipoa maneiatzeko modua. Horrez gain, espero da WLTP zikloak beste hutsegite berriak barneratzea, bere inplementazio praktikorarte guztiz ulertuko ez direnak. Honekin, 2025. urterako espero da dibergentzia % 31erarte heltzea [45].

4.1.8. Gida-zikloak eta ibilgailu elektrikoiei dagozkien berezitasunak

Ibilgailu elektrikoek zenbait desberdintasun dituzte konbustio bidezko motordun ibilgailuekiko; hori dela eta, gida-ziklo ezberdinak behar dira hauen gidatze-prozesua era egokian definitzeko. Ondoren, zerrendaturik ageri dira bi ibilgailu-mota hauen arteko desberdintasun nabarmenenak:

- Ibilgailu elektrikoek, konbustiokoek ez bezala, motorra balazta bezala erabiltzeko aukera dute bateria birkargatzeko. Konbustioko ibilgailuetan, berriz, energia hori galdu egiten da, balaztatzean marruskadura-beroketa bidez galtzen delako. Motor elektrikoekin emandako berrelikatze honi *regenerative braking* (balaztatze erregeneratiboa) deitzen zaio, eta balaztatze-potentzia jakin batzuen artean soilik eman daiteke [46].

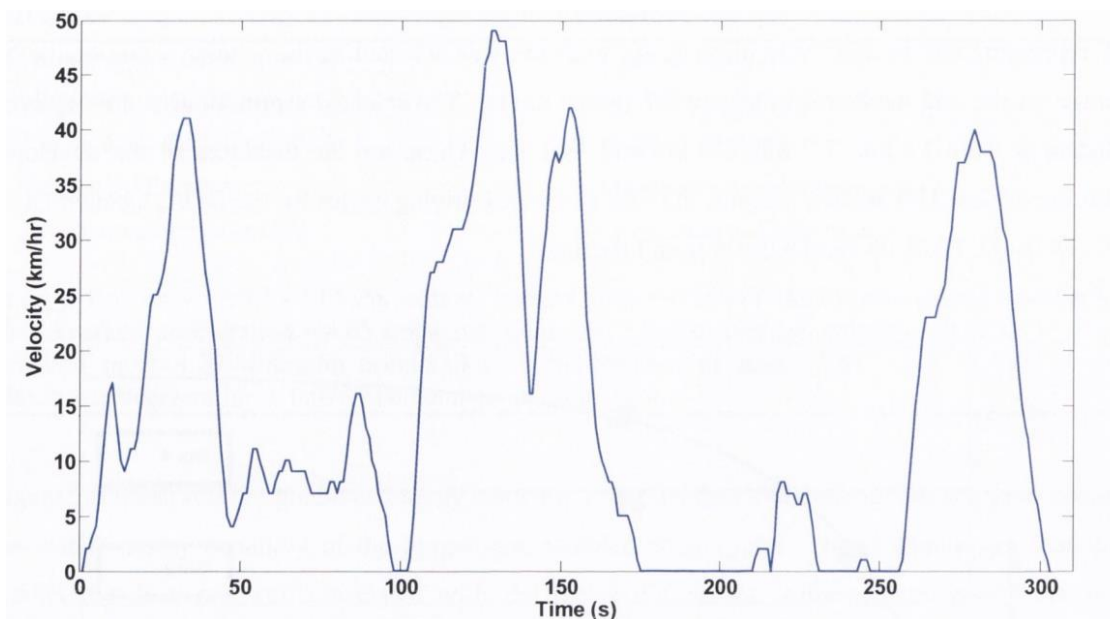
- Autonomia ezaugarri garrantzitsu bat da bi ibilgailu mota hauek kontuan hartzean. Diesel zein Gasolinadun ibilgailuek elektrikoek baino autonomia handiagoak eskaintzen dituzte, azken hauen baterien mugak direla eta [46]. Horrez gain, ibilgailu elektrikoak bateriak berriz kargatzeko dituen guneak oso mugatuak dira, gaur egun, konbustioekin alderatuz. Guzti honek, *range anxiety* (autonomia larritasuna) deritzon terminoaren sorrera dakar, zeinek, bere izenak dioen bezala, ibilgailuaren autonomiaz kezkatutako gidatze-portaera definitzen duen [47]. Hori dela eta, gidarien portaera nahikoa ezberdina izango litzateke ibilgailua elektrikoa edo konbustio bidezkoa denean. Hala ere, kontuan izan behar da ibilgailu elektrikoak garatu ahala *range anxiety*-aren efektua murrizten joango dela [48].
- Barne konbustio motorraren karga eta abiadura askoz eragin handiagoa du honen eraginkortasunean motor elektrikoarengan baino. Oro har, motor elektrikoek oso eraginkortasun altua dute, motorraren abiadura eta karga guztietan, konbustioekin konparatuz. Horretaz gain, motor elektrikoaren beste abantaila bat motorraren lehen abiadaren ostean, eskaturiko momentua segituan emateko gaitasuna. Hori dela eta, motor elektrikoak, konbustioekin ez bezala, martxa bakarra erabili dezake, honela transmisio konplexutasuna murriztuz [46].
- Konbustio bidezko motorrak aztertzerakoan, ziklo hotzak eta ziklo beroak izaten dira kontuan. Ibilgailu elektrikoaren kasuan, aurreberoketa-prozesu bat gauzatzen da ibilgailua piztean, hori da, motorra eta potentzia-elektronika errefrigeratzen dituen likidoa operazio-tenperatura jakin batetara aurreberotzen da. Hala ere, esan beharra dago operazio-tenperaturak bai duela eragina motorraren funtzionamenduan, motorraren zenbait parametro elektriko nagusiek (hala nola induktantziak, erresistentziak edota iman iraunkorren fluxua) temperaturarekiko dependentzia dutelako. Ibilgailu elektrikoaren propulsió-sistemaren portaera termikoa ongi zehazten duten modeloak erabiltzen direnean egokia da zikloaren bidez portaera termiko horrek daukan eragina aztertzea.

Guzti hau kontuan izanik, argi dago ibilgailu elektrikoaren gidatze-portaera konbustioekin alderatuz ezberdina izango dela. Ondorioz, esan daiteke, gida-ziklo propioak behar dituztela gidatze-ohiturak era egokian definitu ahal izateko, eta kalkulaturiko autonomia errealitatek asko ez desbideratzeko. Hain zuzen ere, jadanik egiaztapenerako erabiltzen ez diren hainbat gida-ziklo sortu izan dira ibilgailu elektrikoetarako [49-52]. Momentuz aipagarrienak direnak ondoren aurki daitezke.

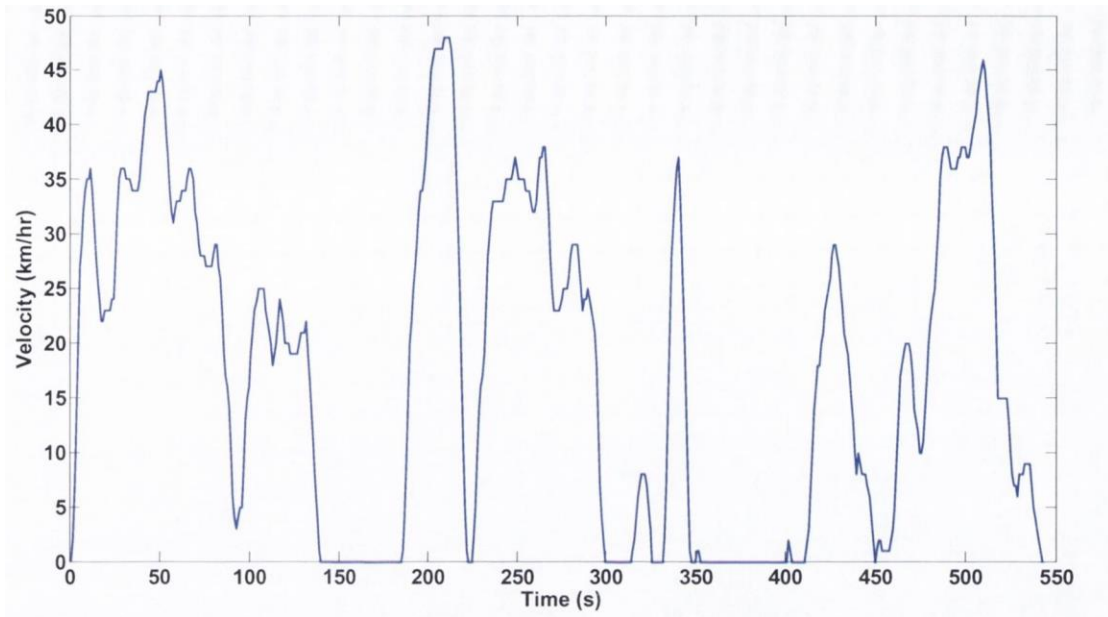
Dublineko gida zikloa

Gida-ziklo hau ibilgailu elektrikoen datu errealetatik osatua izan zen. Datu hauek, Dublin inguruan jasoak ziren, bertan erabilitako zenbait ibilgailu elektrikotan lortutako informaziotik. Horiekin, metodo estatistikoez baliatuz eta zenbait prozedura jarraituz, 4 ziklo ezberdin sortu ziren [50]:

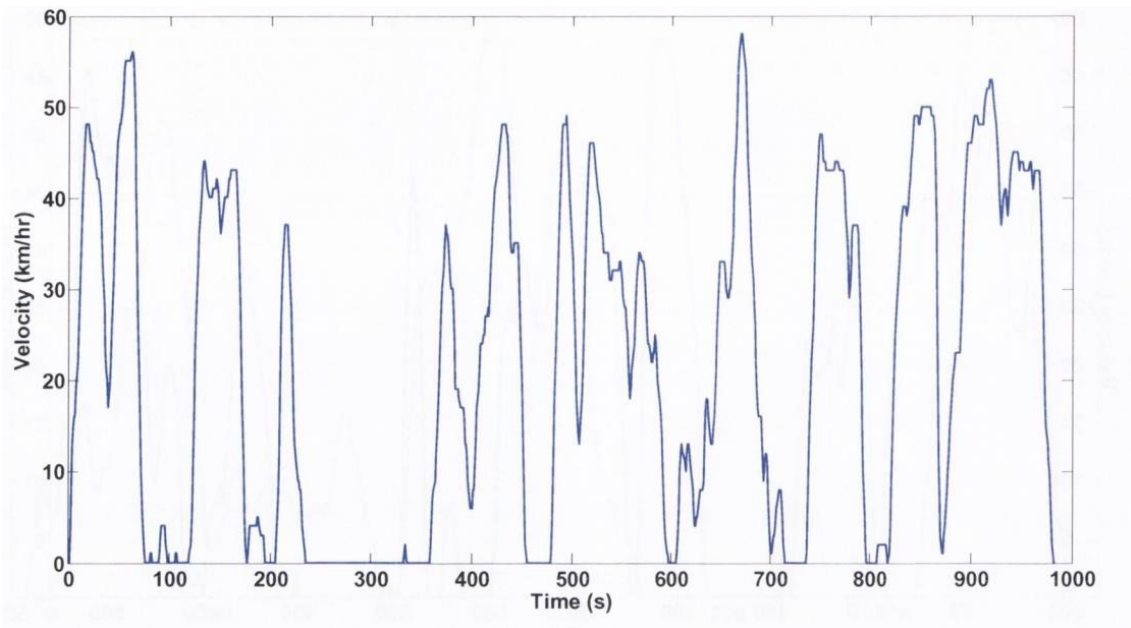
- **DUB-01** gida-zikloa, 300 s inguruko iraupenarekin, 1.2 km-ko luzera du eta ia 50 km/h abiadura maximora heltzen dena.
- **DUB-02** gida-zikloa. 550 s baino pixka bat gutxiago irauten du ziklo honek, 2.67 km-ko distantzia betetzen da eta, aurrekoan bezala, ez da 50 km/h-ko abiadura maximoa gainditzen.
- **DUB-03** gida-zikloa. Honetan, 990 s inguruko iraupena daukagu, distantzia 5.9 km-raino luzatzen da eta abiadura maximoa 60 km/h-tik gertu dago.
- **DUB-04** gida-zikloa. Hau denetan luzeena da, 1650 s-ko iraupena du, 14.1 km distantziarekin. Gainera, abiadura maximo altuena lortzen da honetan, 80 km/h-ak gaindituz.



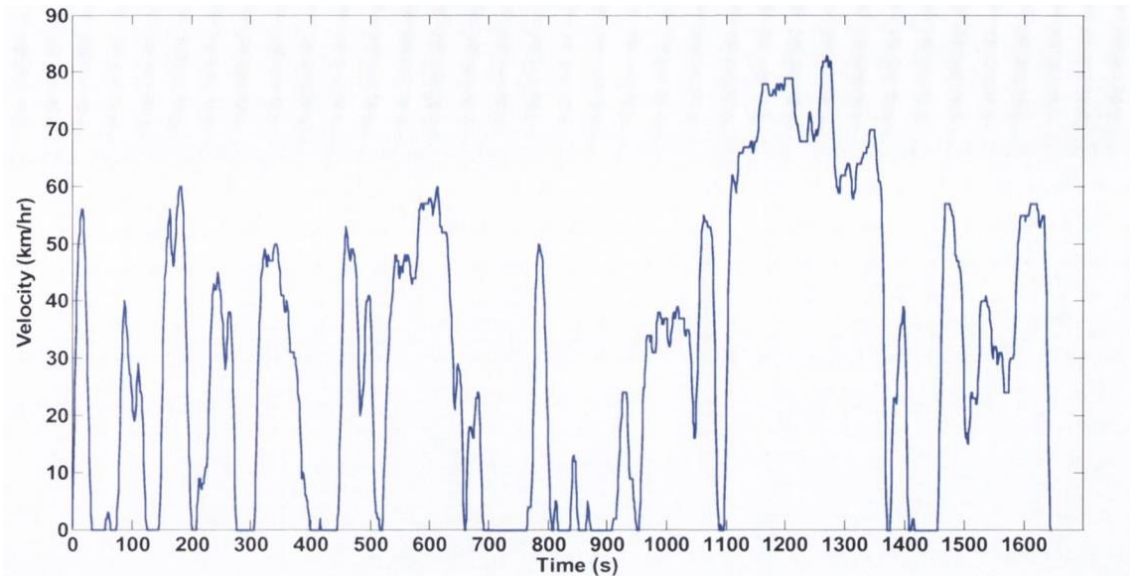
4.18 irudia. DUB-01 gida-zikloa [50].



4.19 irudia. DUB-02 gida-zikloa [50].



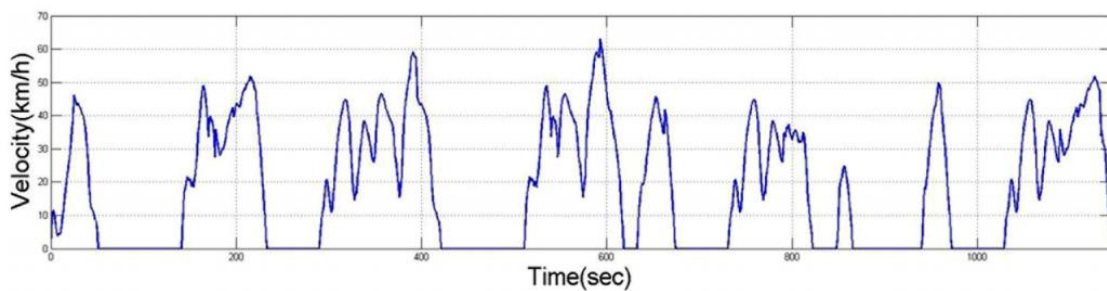
4.20 irudia. DUB-03 gida-zikloa [50].



4.21 irudia. DUB-04 gida-zikloa [50].

Gwacheon-city Urban Driving Cycle

GUDC-EV (*Electric vehicle*) gida-zikloa, bere izenak esan bezala, Gwacheon, Hego Koreako hiri honetan jasotako gidatze errealaren datuekin osatua izan zen. Hain zuzen ere, bertako polizia-auto baten patruila-ibilbidea aukeratu zuten gidatze-frogako gunee bezala. Honen ondoren eta analisi estatistikoaren bidez, datuak sintetizatu eta gida-zikloaren abiadura profila izango zena lortu zen [52].



4.22 irudia. GUDC-EV gida-zikloa [53].

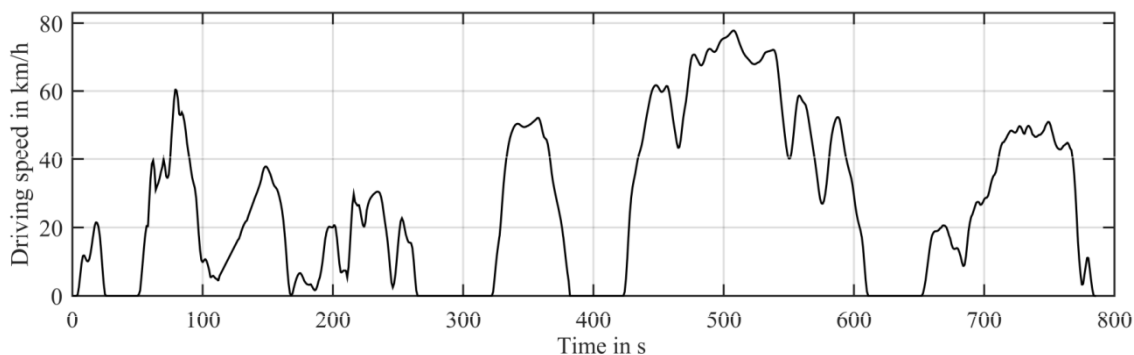
Gida ziklo honetan 5.78 km-ko distantzia betetzen da, 1144 segundoko tartean, eta 62.99 km/h-ko abiadura maximora heltzen da [52].

Fleet-BEV-Cycles

Fleet-BEV gida-zikloak, CROME (*Cross-border Mobility for Electric Vehicles*) proiektuan lorturiko datuekin eratu ziren. Horretarako, 6 mota ezberdinetako 100 BEV (*Battery Electric Vehicle*) erabili ziren, bai Frantzia eta baita ere Alemanian. 3 urte pasa ondoren, lortutako datu-multzotik bidaia jakin batzuk aukeratu ziren, gida zikloa osatzeko. Oro har, datuetan hiri-bidaiek % 74 ko proportzioa zuten eta hiriz kanpokoek gainontzeko % 26a. Hiriz kanpoko bidaietan, 70 km/h-ak behin gainditzen ziren eta, gutxienez, bidai iraupenaren % 20an zehar 60 km/h baino abiadura handiagoa mantentzen zen [49].

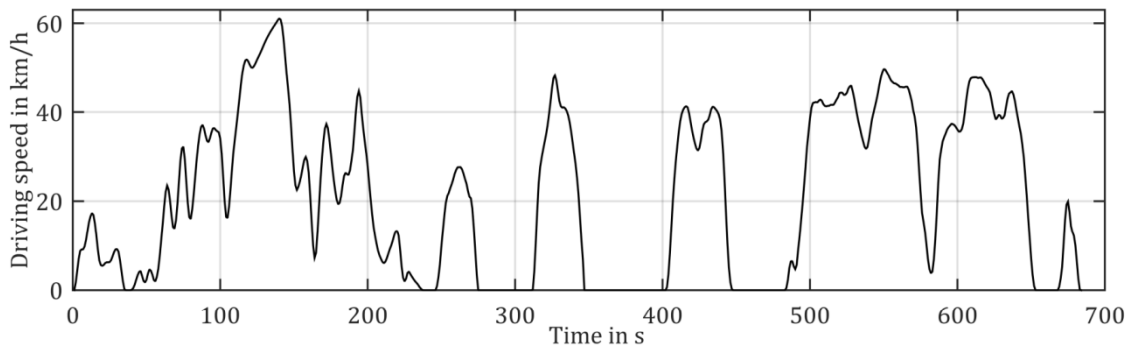
Gida-ziklo hauen garapenaren helburua eremu ezberdinean erabilitako ibilgailuetan gidatze-prozesuaren adierazpen hoberena lortzea izan zen. Aukeraturiko eremu ezberdinak hiri barnekoa, hiriz kanpoko eta datuetan lortu bezalako proportzioan nahasturiko hiri barneko eta kanpoko gida-zikloak izan ziren. Datu estatistikoez baliatuz eta prozedura jakin bat jarraituz, ondorengo 3 gida-zikloak lortu zituzten [49]:

- **Fleet-BEV-Cycle**, gida ziklo hau hiri barneko eta kanpoko konbinazioa izango litzateke. Ibiliko distantzia 5.8 km-takoa da eta 783 segundoko denbora irauten du. Abiadura maximoa 78 km/h-koa da ziklo honetan.



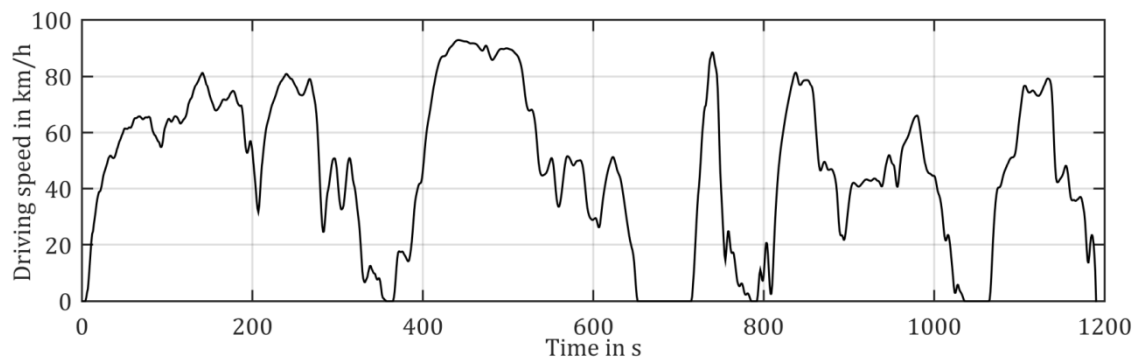
4.23 irudia. Fleet-BEV-Cycle [49].

- **Fleet-BEV-Urban-Cycle.** Bere izenak adierazi bezala, erabat hiri barnekoa den gidatze-prozesua definitzen du ziklo honek. Zikloa 684 segundokoa da, 61 km/h-ko abiadura maximoa du, eta 4 km-ko distantzia burutzen da denbora-tarte horretan.



4.24 irudia. Fleet-BEV-Urban-Cycle [49].

- Fleet-BEV-Rural-Cycle.** Ziklo hau hiruretan luzeena da, 1190 segundoko iraupenarekin, eta 15.4 km-ko ibilbide luzerarekin. Gainera, abiadura maximo handiena du ere, 92.9 km/h-takoa, hain zuzen ere.



4.25 irudia. Fleet-BEV-Rural-Cycle [49].

Hala ere, hauek ez dira gida-ziklo estandarizatuak (ikerkuntza-mailan aztertu dira bakarrik). Urte gehiago pasatu ahala eta ibilgailu elektrikoaren gidatzearen inguruko informazio gehiago jaso ahala izango dira gidatze-ziklo horiek zehatzagoak, estandar bat gauzatu ahal izateko.

Gauzak horrela, gaur egun ibilgailu elektrikoari dagokienez ez dugu hauen gidatze ohitura era erreal batean definitzen duen zertifikazio gida-ziklorik. Hala ere, hutsune hori bete bitartean, literatura zientifikoan hainbat lan aurki daitezke, zeintzuk konbustiozko ibilgailuetarako diseinatuta dauden gida zikloak erabiltzen dituztenak beraien analisiak egiteko [54].

4.1.9. Ondorioak

Gida-ziklo guzti hauen konparaketaren ostean, WLTPa, konbustio motor eta ibilgailu funtzionamenduaren estaldura trinko eta zabal bezala identifikatu daiteke. Izan ere, honek, askogatik eskaintzen du ohiko gidatze-aktibitatearen adierazpen osatuena, ziklo bakar batez emana [43]. Bestalde, eremu ezberdinak adierazten dituzten zikloak batzen badira, estatu batuetan erabilitako 5 zikloen prozedura ere egokia dela esan daiteke. Horretaz gain, NEDC-a bezalako zikloak guztiz zaharkiturik daudela frogatu izan da.

Hala ere, ibilgailu elektrikoari dagokionez, hauen etengabeko garapena eta errepideko portaeraren datu falta dela eta, oraindik ez dago ziurtapen ziklorik. Hori kontuan izanda, aurretik aurkezturiko Fleet-BEV-zikloa erabiliko dugu hurrengo ataletan, burutuko diren denbora errealeko simulazioetan.

4.2. Ibilgailu elektrikoaren baterien artearen egoera

4.2.1. Sarrera

Ibilgailu elektrikoaren garapena hasi zenetik, konbustiozko ibilgailuei autonomiari dagokionez aurre egin ahal dion bateria eratzea izan da kezka nagusia. Hori dela eta, etengabeko hobekuntzan jarraitzen du industriak eta komunitate zientifikoak gaur egun.

2000. urtearen hasieran, *Nickel Metal Hydride* (NiMH) motako bateriak ordurarte ibilgailu hibrido eta elektrikoetan erabilitako teknologiarik aurreratuenak bihurtu ziren. Garai hartan erabilitako Ni-Cd eta *Lead-Acid* (Berun-azido) bateriek ez bezala, NiMHaren teknologiak automozio-industriaren beharrak betetzen zituen., hori da energia dentsitate eta potentzia altuak, balaztatze erregeneratiboarako erabiltzeko aukera, ezaugarri termiko egokiak (tenperatura operatiboa -30 °C eta 70 °C bitartekoa), baterien karga eta deskarga prozesuan zeharreko segurtasuna, etab [55]. Hala ere, BEVen energia metatzeko oinarritzko iturri bezala, NiMHan oinarritutako teknologia zaharkiturik geratu dela esan daiteke. Horren arrazoi nagusiak dira bateria kargatzerakoan lortzen den eraginkortasuna, eta bere burua asko deskargatzeko joera (2 egunetan eta 20 °C ko tenperaturarekin, %25 inguruko deskarga) [56].

Hori guztia kontuan izanik, eta Lition loi (*Li-Ion*) bateria teknologiak berriki izandako aurrerakuntzak direla eta, ibilgailu elektrikoentzako oinarritzko bateria-teknologia bezala aukeratu izan da, nagusiki, azken urteotan [55, 56]. Horregatik, proiektu honetan mota honetako bateria baten parametroak erabiliko dira simulazioak gauzatzeko.

4.2.2. Definizioak

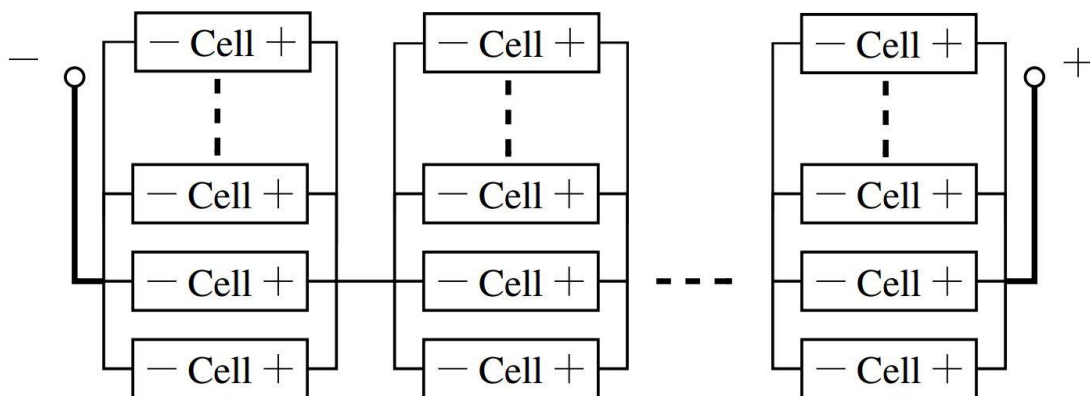
Garrantzitsua da baterien inguruko kontzeptuei dagozkien definizio laburrak gauzatzea:

- Kapazitatea, deskarga-denbora tarte batean bateriak eman dezakeen korrontekantitatea adierazten du. Bere ikurra, C da, eta anpere/ordu (Ah) du unitatea.
- SOC (*State of charge*), edo karga egoerak, izenak adierazi bezala, bateriaren karga-egoera adierazten du. Bateriak duen izendaturiko kargaren menpekoa da.
- OCV (*Open Circuit Voltage*) edo euskaraz, zirkuitu irekiko tentsioa, bateriaren oreka tentsioa da. OCVa SOCaren menpekoa da, eta menpekotasun hori ez-lineala da, bateriaren kimikaren menpekoa.

4.2.3. Ibilgailu elektriko baten Li-Ion bateria paketea

Li-Ion bateriek 100 Wh/kg inguruko energia espezifikoak dute, eta 300 W/kg-ko potentzia espezifikoak. Deskargaren aurkako erresistentzia altua da eta, NiMH-arekin alderatuz, oso eraginkortasun ona dute [57].

Hauekin, ibilgailu elektriko batek beharrekoa duen kapazitatea eta potentzia duen bateria paketea eratzeko, seriean eta paraleloan konektaturik dauden zelulak erabiltzen dira (4.26 irudia). Konfigurazio honek segurtasun, fidagarritasun eta uniformetasun arazoak dakartza. Baina hauek, bateria-kudeaketa sistema (BMS, *battery management system*) baten bidez kontrolatu daitezke, funtzionamendu egoki bat bermatuz [58].



4.26 irudia. Bateria paketea eratzeko zelulen arteko konexioa.

Zelulen antolamendua hiru era ezberdinetan eratu daiteke. Lehen, zelulak seriean jarriz, horrela kapazitatea handitzen da. Beste bi aukeretan, bai OCV-a eta baita bateriaren kapazitatea handitzeko, seriean jarritako zelulen paralelo multzoez osatuz edota paraleloan eratutako multzoak seriean lotuz eraikitzen dira.

4.2.4. Ondorioak

Aurkezturiko bateria motak kontuan izanik, *Li-Ion* bateria simulazio modelorako aukeratzea egokia dela baieztatu daiteke, horrek ibilgailu elektrikoaren industrian duen zabalkundea kontuan hartuta. Hala ere, kontuan izan behar da badaudela garapenean beste energia-pilaketarako metodo batzuk [59], eta baliteke urte batzuk barru ibilgailu elektrikoetan beste bateria mota batzuk inplementatzea.

Bateria paketeari dagokionez, zelula artean egon daitezkeen desorekak baztertu egingo dira proiektu honetan, sinpletasunagatik, eta zelula guztiek portaera berdina dutela kontsideratuko da. Izan ere, proiektu honen helburua ez da BMS bat sortzea, baizik eta autonomia estimatzeko erabil daitezkeen simulazio-modeloa gauzatzea.

5. Kapitulu

Ibilgailu elektrikoaren simulazio-eredua

5.1. Eredu matematikoa

5.1.1. Ibilgailuaren modeloaren eredu matematikoa

Behin gida-ziklo bat izanda eta ibilgailu elektrikoaren modelo mekanikoaz baliatuz, ibilgailuaren motor elektrikoak gida-zikloa betetzeko zenbateko momentu elektromagnetikoa sortu behar duen kalkulatzeko erabiliko da jarraian azalduko den eredu matematikoa. Modelo hau bi atal nagusitan banatu da [60]:

- **Ibilgailuaren mekanikaren modelo:** gurpilean aldioro sortu beharreko momentua eta abiadura lortzen ditu, dagokion ibilgailu klaserako.
- **Transmisio modelo:** atal honetan, aurretik kalkulaturiko momentua eta abiadura ibilgailuak duen eraginkortasunaren eta transmisio-erlazioaren arabera moldatzen da. Aukeraturiko gida-zikloa betetzeko makina elektrikoak aplikatzen duena da transmisio-momentua.

Alde horretatik, gida-zikloaren arabera gurpilean aplikatu beharreko abiadura eta momentua ondorengo eran adieraz daitezke:

$$\omega_{wheel} = \frac{v_{dc}}{r_{wheel}}, \quad (1)$$

$$T_{wheel} = r_{wheel}(F_{Roll} + F_{Aero} + F_{Inertia}), \quad (2)$$

non, r_{wheel} gurpilaren erradioa den, v_{dc} gida zikloak definituriko abiadura; eta F_{Roll} , F_{Aero} eta $F_{Inertia}$ errodadura erresistentzia, erresistentzia aerodinamikoa eta inertzia indarrak diren, hurrenez hurren. Azken hiru hauek horrela defini daitezke [60]:

$$F_{Roll} = \mu a_g M_{car}, \quad (3)$$

$$F_{Aero} = \frac{\rho v_{dc}^2 C_d A_f}{2}, \quad (4)$$

$$F_{Inertia} = \{M_{car}(1 + M_{rot})\}a_{car}, \quad (5)$$

non μ errodadura marruskadura-koefizientea, a_g grabitatearen azelerazioa, M_{car} ibilgailuaren masa totala, ρ airearen dentsitatea, C_d arraste-koefizientea, A_f ibilgailuaren zeharkako sekzioa, M_{rot} ibilgailuan biraketa daukaten atalen masa baliokidea (% ehunekotan adierazia), eta a_{car} ibilgailuaren azelerazioa (dv/dt) diren.

Ibilgailu-modelo sinplifikatu honetan, ezartzen den indar-maila kontuan hartzen da. Jarraian, beharreko transmisio-momentua (6) eta (7) formuletatik lortzen da, transmisio erlazioa ondoren bezala kontuan izanik [60]:

$$T_{trans} = \frac{T_{Idling} + T_{wheel}}{\mu_{GR} * GR}, \quad (6)$$

non, GR transmisio erlazioa den, μ_{GR} honen efizientzia den eta T_{Idling} ralentiko momentuari dagokion, non[60]:

$$T_{Idling} = \frac{P_{Idling}}{\omega_{wheel}}, \quad (7)$$

non, P_{Idling} ralentiko galerak adierazten dituen. Azkenik, motorraren abiadura hurrengo formula bidez lortzen da:

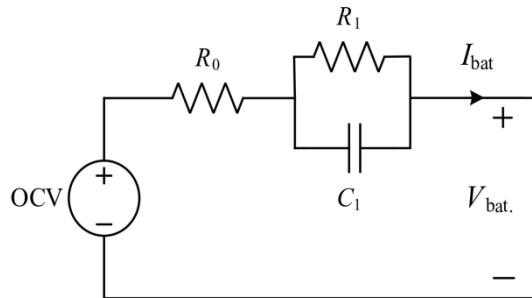
$$\omega_{motor} = \omega_{wheel} * GR; \quad (8)$$

Modeloaren parametroei dagokienez, guztiz elektrikoa den ibilgailu baten parametroak erabiliko dira. Gainera, simulazioan balaztatzea %100an elektrikoa izango balitz bezala kontuan hartu da.

5.1.2. Bateria modeloaren eredu matematikoa

Li-Ion bateria paketearen modeloa eratzeko, lehenengo bateria zelula modelatu beharra dago. Eta honetarako, erabiltzen diren zirkuitu ohikoenak hauek dira [61-63]:

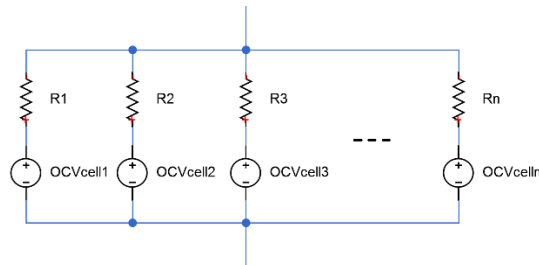
- Alde batetik, bateriaren modelo sinplea tentsio iturri ideal batez eta seriean kokaturiko erresistentziak osatzen duten zirkuitua. Eredu honekin ezin daiteke bateriaren portaera dinamikoa definitu.
- Bestetik, aurreko zirkuituari RC sare bat edo gehiago gehitu dakioke portaera dinamikoa deskribatzeko (5.1 irudia). Kasu hauetan, bateriaren prozesu elektrokimikoak simulatzea lortzen da.



5.1 irudia. Litio zelula bat RC sare bakarrarekin.

Gauzak horrela, aurrerago ikusiko diren baldintzak betetzen dituen bateria paketea osatu behar izan da. Horretarako kontuan izanik, modelo konplexu bat aukeratzeak kalkulu konputazionala eta memoria beharra asko handitzen dutela. Ondorioz, denbora errealeko sistema batean inplementatzeko ez dira praktikoak. Gainera, bateria paketearen eredua lortzeko, zelula sinple bat erabiliz errazagoa da zirkuitu baliokidea lortzea.

Kasu honetan, tentsio iturri eta erresistentzia batez eraturiko zirkuitua erabili izan da. Erabilitako topologia lehen aipaturikoa izango da (5.2 irudiko blokea seriean errepikatuz) izan ere energia dentsitate nahiko ona eskaintzen du. Zelula bateria horien zirkuitu baliokidea ondorengo formulen bidez kalkulatu da:



5.2 irudia. Paraleloan kokaturiko zelula sinplez osaturiko blokea.

Hasteko, paraleloan lotutako zelulak sinplifikatuko dira, Millman-en printzipioaz baliatuz:

$$OCV_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{OCV_{cellj}}{R_{cellj}}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{R_{cellj}}} = OCV_{cell}, \quad (9)$$

Non, OCV_{cell} eta R_j zelula bakoitzeko zirkuitu irekiko tentsioa eta erresistentzia diren hurrenez hurren eta n paraleloan dauden zelula kopurua. Ondoren, bateria pakete osoaren OCV_t zirkuitu irekiko tentsioa lortzeko, OCV_i tentsio iturriak batu egiten dira seriean baitaude.

$$OCV_t = \sum_{i=1}^m OCV_i = OCV_i * m, \quad (10)$$

Jarraian, C_t bateria paketearen kapazitatea lortzeko, paraleloan kokaturiko zelula blokeko kapazitatea kalkulatu behar da, hau osoaren berdina baita. Horretarako, C_{zelula} paraleloan konektaturiko zelulen kapazitatea, n paraleloan dagoen zelula kopuruaz biderkatuko da. Bateriako parametroen kalkuluekin bukatzeko, R_0 kalkulatu da, thevenin-en R_{th} baliokidea lortuz, zeinetarako kontuan izan behar den erresistentzia guztiek balio bera dutela.

Honetaz aparte, zirkuitu baten modeloa eraikitzeko, zirkuitu baliokidez gain, SOC bateriaren karga egoera lortzea beharrezkoa da. Horretarako, ondorengo adierazpena erabiltzen da [57]:

$$SOC = SOC_0 + \frac{1}{C_t} \int i dt ; \quad (11)$$

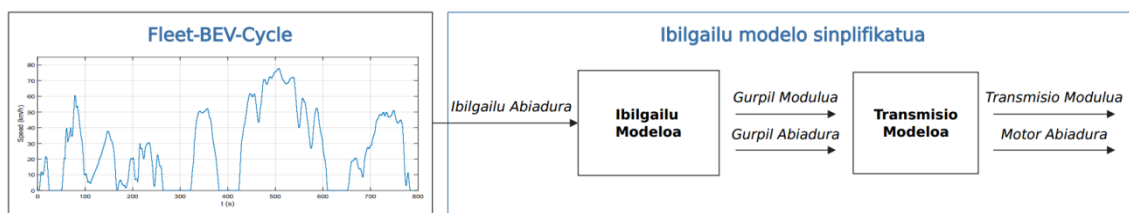
Non, SOC_0 hasierako karga egoera eta i bateriak kontsumitu/emandako korrrontea den. Bukatzeko, aipatu beharra dago nola kasu honetan SOC -aren egoeraren menpeko OCV_{cell} balio taula bat erabili egingo den. Izan ere, taula balio esperimentaletatik lortua izan da eta bateriaren ezaugarriak errealaok izatea ahalbidetzen du.

5.2. Ereduaren implementazioa Matlab/Simulink-en

Aurretik ikusitako matematikak erabiliz atal honetan gida-ziklo eta ibilgailuaren modeloa, zein bateriaren modeloa implementatu izan dira Matlab programako Simulink erreminta erabiliz.

5.2.1. Gida-ziklo eta ibilgailu modeloaren implementazioa

Simulazio zati honetan, motor abiadura eta transmisio momentua lortzen dira (5.3 irudia). Horretarako, aztertu nahi den gida-zikloaren datu taulatik hasiz. Hau, laginketa denboraren araberakoa izango da. Adibidez, kasu honetan erabilitako gida zikloa 1 Hz-ko eskuratzetasarekin emanda dago [49].



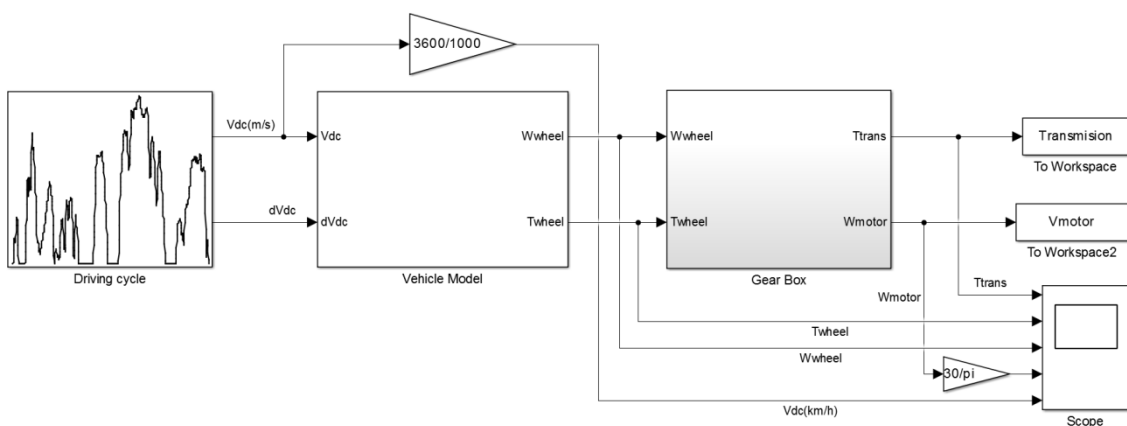
5.3 irudia. Gida-zikloa eta ibilgailu modelo sinplifikatua [60].

Gida-ziklotik, ibilgailuaren abiadura lortu eta aukeraturiko ibilgailu parametroekin (5.1 taula) batera gurpilaren momentua zein gurpil abiadura kalkulatu dira. Ondoren, transmisio modeloaren blokean, transmisio momentua eta motorraren abiadura lortzen dira, aurreko blokean bezala, eredu matematikoan ageritakoaz baliatuz.

5.1 taula. Ibilgailu elektriko baten parametroak [60].

Parametroak	Ikurra	Balioa	Unitateak
<i>Ibilgailu modeloaren parametroak</i>			
Ibilgailu masa totala	M_{car}	1030	kg
Masa birakaria	M_{rot}	5	%
Zeharkako ibilgailu sekzioa	A_f	2.42	m ²
Gurpil erradioa	r_{wheel}	0.29	m
Grabitate azelerazioa	a_g	9.81	m/s ²
Errodadura frikzio koef.	μ	0.008	-
Aire dentsitatea	ρ	1.225	kg/m ³
Arrastre-koef.	C_d	0.367	-
<i>Transmisio modeloaren parametroak</i>			
Transmisio erlazioa	GR	6.2	-
Efizientzia	η_{GR}	97	%
Ralentiko galerak	P_{Idling}	300	W

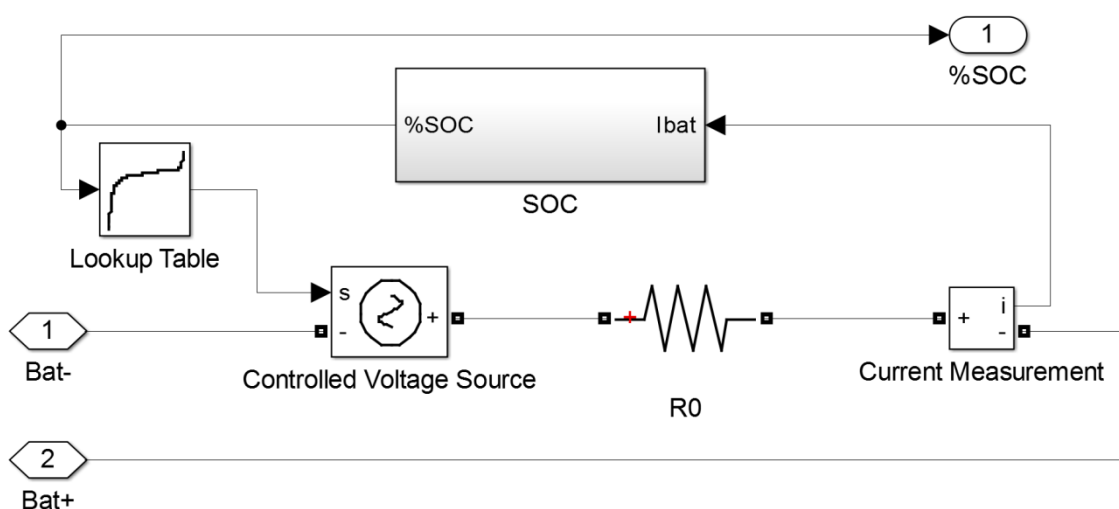
Bukatzeko, bi array lortzen ditugu nahi dugun informazioarekin. Batean, transmisio momentua eta bestean motorraren abiadura (5.4 irudia). Jadanik, OP4510 denbora errealeko plataforman simulatzeko prest dago modeloa, bertan erabiliko diren datuak transmisio-momentua eta motorraren abiadura izanik.



5.4 irudia. Matlab/Simulink-en garaturiko ibilgailu-modeloaren eskema osoa.

5.2.2. Bateria paketearen modeloa

Bateriaren simulazioa egiterako orduan, inbertsoretik jasotako i korrontearen balioa kontuan izan behar da bateriaren karga/deskarga zehazteko. Izan ere, honen zeinuaren arabera bateria kargatu edo deskargatu egiten da. Bateria paketea adierazteko, tentsio-sorgailua eta R_0 erresistentzia erabiltzen dira, eredu matematikoan adierazi den bezala, 5.2. taulako datuak erabiliz. Horretaz gain, SOC blokean bateriako korrontearen bitartez bateriaren karga-egoera zehaztea lortzen da. Jarraian, honen menpekua den OCV tentsioa kalkulatzeko.



5.5 irudia. Matlab/Simulink-en garaturiko bateria-pilaren modeloa.

5.2 taula. Simulazioan erabilitako bateria pakete osoaren parametroak.

Parametroak	Ikurra	Balioa	Unitateak
<i>Bateria modeloaren parametroak</i>			
Bateria zelula kapazitatea	C_{zelula}	2.3	Ah
Laginketa denbora	T_s	0.1	s
Hasierako karga egoera	SOC_0	60	%
Bateria zelulak paraleloan	n	29	-
Zelula blokeak seriean	m	109	-
Erresistentzia baliokidea	R_0	$0.01 * m/n$	Ω
Bateria osoaren kapazitatea	C_t	$C_{zelula} * n$	Ah
OCV karga egoeraren arabera	OCV_t	$OCV_{cell} * m$	V

Amaitzeko, aipatu beharra dago parametroen taulako balioak ibilgailu elektrikoarentzat aukeraturiko bateriaren ezaugarri espezifikoak dituela. Kasu honetan, 360 V-eko OCV_t tentsioa izan behar du karga-egoera % 50ekoa denean, eta bateriak eman beharreko potentzia 24 KWh-

takoa izan behar du. Horren arabera, serie eta paraleloan kokaturiko zelula-kopurua zehaztu da, eta baita bateria pakete osoaren R_0 erresistentzia baliokidea ere.

6. Kapitulu

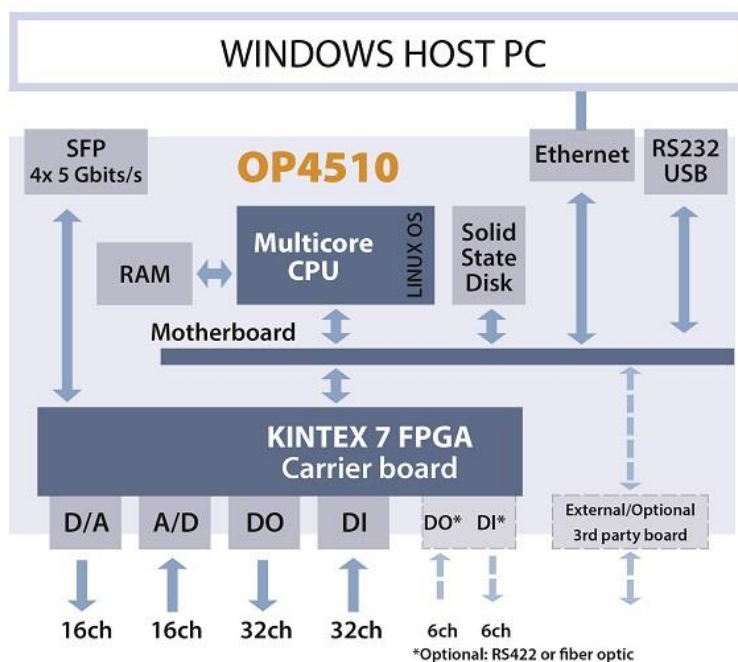
Denbora errealeko simulazio-emaitzak

6.1. Sarrera

Atal honetan, denbora errealeko RT-Lab OP4510 plataforma labur deskribatuko da. Bestalde, aurreko atalean deskribatutako modeloak plataforma horretan integratuz, lortutako denbora errealeko simulazio-emaitzak erakutsiko dira. Aurretik, APERT ikerketa-taldeak garatutako ibilgailu elektriko baten propulzio-sistemaren zenbait atal zituen RT-Lab-eko implementazioak (kontrola, motor elektriko eta potentzia-elektronika). Lan honetan garatutako modeloekin osatu egin da modelo hori, gida-zikloak, ibilgailuaren mekanika eta bateriaren autonomia simulatzea ahalbideratuz.

6.2. Denbora errealeko RT-Lab OP4510 plataforma

RT-Lab OP4510, OPAL-RT fabrikatzailearen prestazio eta tresnak bateratzen dituen denbora errealeko simulatzaile digital konpaktua da. Gainera, kontrolagailuen prototipatze azkarreko kontrolerako (RCP, *Rapid Control Prototyping*) inguruneen garapena errazten du, eta HiL (*Hardware-in-the-Loop*) diseinuko inguruneak eratzeko aukera ematen du [64].



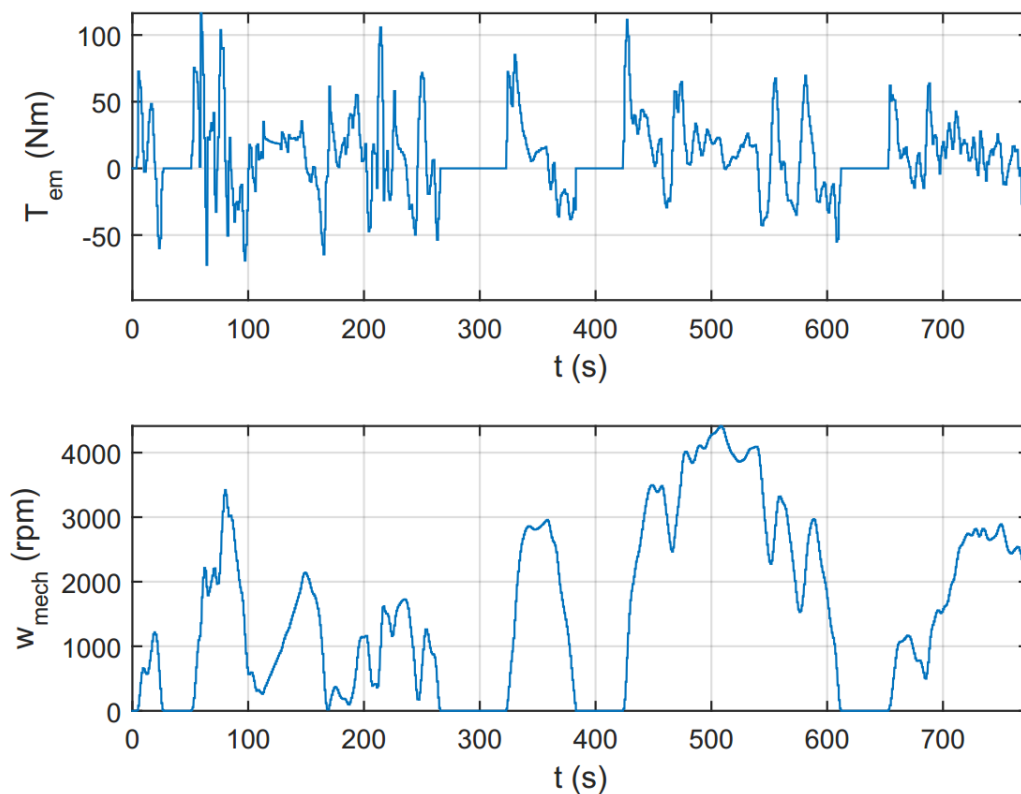
6.1 irudia. OP4510 gailuaren arkitektura [64].

Gailua lau nukleodun Intel Xeon prozesadoreaz eta Xilinx Kinex 7 FPGA batez horniturik dago (6.1 irudia). Hori dela eta, potentzia-sistemen denbora errealeko ahalbideratzen du [64].

Lan honetan gauzatutako modeloak Intel Xeon prozesadorearen nukleo batean exekutatzen dira, kontrolagailuaren modeloarekin batera; bitartean, makina elektrikoaren modelo eta motorraren modelo FPGA-n exekutatzen dira denbora errealeko simulazioa gauzatu ahal izateko.

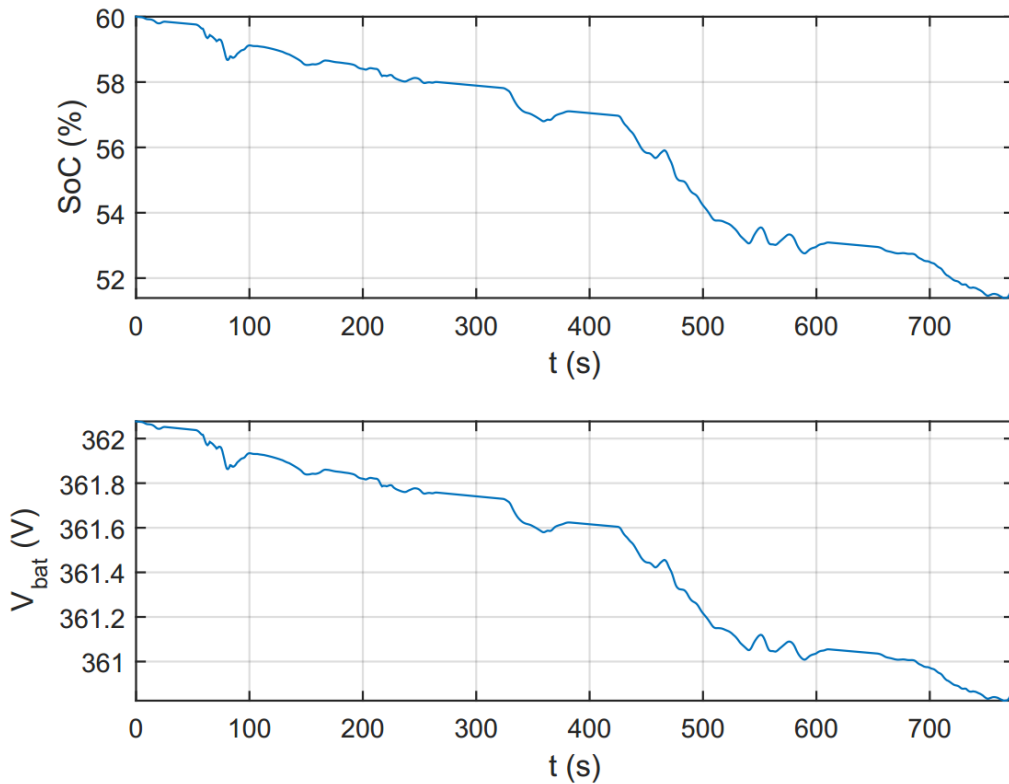
6.3. Lortutako emaitzak

Aukeraturiko gida-zikloa Fleet-BEV-Cycle izan da. Ziklo hori denbora errealeko ibilgailu elektrikoaren modeloa ibilarazi ondoren, hurrengo datuak eskuratu dira: Transmisioaren momentua, motorraren abiadura, bateriaren karga-egoera eta bateriaren tentsioa.



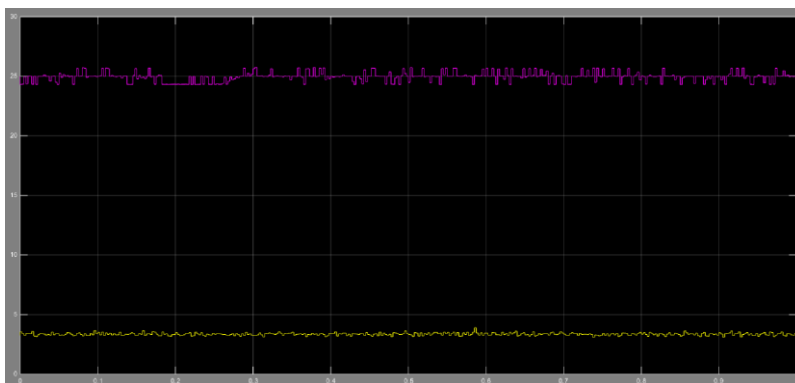
6.2 irudia. Transmisioaren momentua eta motorraren abiadura.

Transmisioaren momentua eta motorraren abiadura gida-zikloa eta ibilgailuaren mekanika konbinatzen dituen modelotik lortu dira (6.2 irudia). Motorraren abiadura-profila gida-zikloarenaren proportzionala da, eta ez du motorraren espezifikazioetako 8000 rpm abiadura maximoa gainditzen. Beraz, simulazio-atal hau era egokian betetzen dela ondorioztatu daiteke, lortu diren emaitzak bat datozelako motorraren dimentsionamenduarekin eta esperagarri den funtzionamenduarekin.



6.3 irudia. Bateriaren karga egoera eta tentsioa.

Bateriari dagokionez, 6.3 irudian zikloan zehar gertatzen den bateriaren erakusten da. Horretaz gain, balaztatze erregeneratiboa era egokian aplikatzen dela ikusi daiteke ere, motorraren abiadura moteltzen den bakoitzean karga apur bat berreskuratzen baita. Gainera, ikusi daiteke nola bateriaren tentsioa, karga egoeraren menpekoa dela agerian dagoela, tendentzia bera baitute.



6.4 irudia. Denbora errealeko simulazioan kalkulu konputazionala.

Bukatzeko, simulazioa egiterakoan modeloa dagoen konputazio-nodoaren exekuzio-denbora (horiz) eta denbora errealeko pausoa (morez) erakusten du irudian. Bertan ikusten den bezala, modeloak ez dauka problemarik beharrezkoak diren kalkulu guztiak denbora errealean egiteko.

7. Kapitulu

Lanean jarraitutako metodologia

7.1. Eginbehar, fase, ekipamendu eta prozeduren deskribapena

Jarraian, lan honetako helburu espezifiko zein nagusiak betetzeko eman beharreko pausuak azaltzen dira.

1. Ataza: Espezifikazio eta betebeharren definizioa

- Deskribapena: Ataza honetan ibilgailu elektrikoaren modeloak izango dituen mugak eta bateriak bete behar dituen baldintzak finkatuko dira.
- Betebarra: Proiektuaren baldintza funtzionalak ulertzea.
- Entregagarria: Espezifikazio dokumentua (Proiektu zuzendariak eratua).

2. Ataza: Artearen egoera

- Deskribapena: Gida-zikloak estandarizatuak azertu behar dira, eta ibilgailu elektrikoentzako egokiak izan daitezkeen zikloak aukeratu. Horretaz gain, ibilgailu elektrikoaren bateria-motak eta hauek modelizatzeko erabiltzen diren modeloak aztertuko dira. Horretarako, bibliografia zientifikoa erabiliko da, batez ere, unibertsitatearen IEEEExplore eta Scopus-era dituen harpidetzak baliatuz.
- Betebarra: Ibilgailu elektrikoaren adierazgarri den gida-zikloa eta bateria egokia aukeratu.
- Entregagarria: Lan honetan aurkitzen den artearen egoera atala.

3. Ataza: Formazioa

- Deskribapena: Proiektua burutzeko beharrezkoa erabiliko diren simulazio-plataformak ezagutzea. Alde batetik, Matlab/Simulink erreminta, zeinekin modeloen garapena burutuko den eta, bestetik, OPAL-RT-ren OP4510 simulazio-tresna.
- Betebarra: Matlab/Simulink, ezagutza sakona eta OP4510 simuladorearen oinarrizko ezagutza eskuratzea
- Entregagarria: Ez dago.

4. Ataza: Modeloaren garapena

- Deskribapena: Zeregin honetan eta artearen egoeran lortutako informazioa aztertuz, garatu beharreko ereduak aukeratu dira eta Simulink plataforman garatu dira.
- Betebeharra: Gida-ziklo eta ibilgailu zein bateria modeloak Simulinken garatu.
- Entregagarria: Erabilitako eredu matematikoak eta lorturiko modeloak.

5. Ataza: Simulazio eta egiaztapena

- Deskribapena: Matlan/Simulink-en buruturiko simulazioetan egiaztatuko da, lehenik eta behin, modeloa. Ondoren, OP4510 plataforman inplementatu, simulatu eta egiaztatuko. Errorerik ez dutela eta emaitzak zentzuzkoak direla ziurtatu behar da.
- Betebeharra: Modeloen funtzionamenduaren azterketa, lehenik Simulink-en, eta gero OP4510 simuladorean.
- Entregagarria: Simulazio-modeloak eta hauekin lorturiko emaitzak.

6. Ataza: Emaitza azterketa eta ondorioak

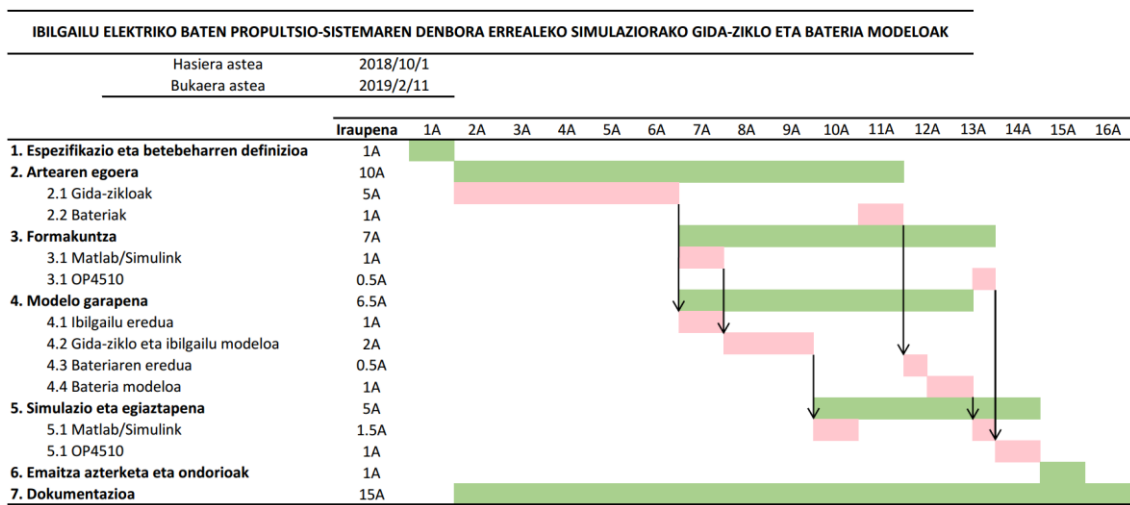
- Deskribapena: Zeregin honetan, emaitzak aztertuko dira eta horiei dagozkien ondorioak aterako dira. Horretaz gain, 1. Atazan finkaturiko baldintzak betetzen diren egiaztatuko da.
- Betebeharra: Aurretik ezarritako baldintzak betetzen diren egiaztatu.
- Entregagarria: Ondorioei buruzko atala.

7. Ataza: Dokumentazioa

- Deskribapena: Ataza hau gradu amaierako lanaren dokumentazioa betetzean datza. Beraz, aurreko betebeharrak burutu ahala osatuko da.
- Betebeharra: Gradu amaierako lanaren dokumentazioa burutzea.
- Entregagarria: Gradu amaierako lana.

7.2. Gantt-en diagrama

7.1 irudian proiektuaren Gantt-diagrama aurkezten da. Honetan, aurretik zerrendaturiko zereginak ageri dira, eta denboraren menpe hauek nola betetzen joan diren ikusi daiteke. Betebehar horiek planifikatu bezala burutzea lortu denez, planifikazioa egokia izan dela kontuan hartzen da.



7.1 irudia. Proiektuko Gantt- diagrama.

8. Kapituluak

Alderdi ekonomikoa

Jarraian, proiektuaren aurrekontua aurkezten da.

- Barne orduak

8.1 taula. Barne orduen taula.

Langileak	Ordu tasa (€/h)	Orduak (h)	Kostua
Ingeniari Teknikoa	32	320	10.240,00 €
Proiektu zuzendaria	64	50	3.200,00 €
Guztira			13.440,00 €

- Inbertsioa. Erabilitako materialen amortizazioa

8.2 taula. Amortizazio taula.

Inbert./Akt. Finkoa	Hasierako kostua (€)	Bizitza erabilgarria (urte)	Erabiltze denb. (aste)	Amortizazioa
Ordenagailua	800	4	16	61,54 €
Word	115	1	15	33,17 €
Matlab/Simulink	1980	3	6,5	82,50 €
OP4510	28500	4	1	137,02 €
Guztira				314,23 €

- Proiektuaren kostu totala

8.3 taula. Proiektuaren kostu osoaren taula.

Kontzeptua	Kostua
Eskulana	13.440,00 €
Gastu suntsikor	0,00 €
Amortizazioak	314,23 €
Guztira	13.754,23 €

9. Kapituluak

Ondorioak

Gradu amaierako lan honetan bi gai nagusi aztertu dira, gida-zikloen eta baterien modelaketa. Horretarako, sakonki ikertu da literatura zientifikoan eskuragarri den artearen egoera.

Gida-zikloei dagokionez, ICVentzako informazio ugari lortu da, eta gidatze ohiturak era egokian definitzen dituzten aukera ezberdinak daudela baieztatu da. Hala ere, ibilgailu elektrikoaren merkatua duela urte gutxi batzuk hasi zen handitzen, eta hauentzako espezifikoak diren gida-ziklo estandarizatuek ez dute errealitatea ondo definitzen. Hala ere, badira garatutako gida-ziklo gutxiren batzuk, ibilgailu elektrikoaren gidatze ohiturak era egokiagoan adieraztea lortu dutenak, jasotako datu esperimentalei esker. Horien artean lan honetan simulaturikoa dago (Fleet-BEV zikloa).

Bestalde, bateriaren artearen egoeran aipatu bezala, berrikuntza jarraian dirauen esparru bat da, eta azken aldian baterien autonomiak izugarri hobetu dira. Ondorioz, ibilgailu elektrikoaren gidatze-baldintzak aldatzen dira. Gainera, etorkizunera begira bateria birkargatzeko eskaintza aukerak izugarri hobetu behar dute, eta honek ere gida-zikloan eragina izango luke. Hori dela eta, baliteke aurrerantzean lan honetarako aukeraturiko gida-zikloa erabilgarria ez izatea. Hala ere, gida-ziklo hori egokiagoa litzatekeen beste gida-ziklo batekin ordezkatzea oso erraza da, nahikoa delako sarrerako datu-tauletan abiadura-profil berriak sartzea.

Bateria modeloari erreparatu, zelula bakarraren modelizazioari buruz informazio ugari aurkitzen da literatura zientifikoan. Hala ere, bateria-paketeari dagokionez ezer gutxi dago. Hori dela eta, lan honetan ibilgailu elektriko baten bateria osoaren modelo lortzeko eredu sinplifikatu bat erabili da. Ondorioz, zelula arteko desorekak arbuizatu eta irteeran guttiz zehatza izango ez den emaitza bat lortuz. Hala ere, modelo sinplifikatu hori egokia da, modeloaren karga konputazionala txikia mantendu nahi baita denbora errealeko simulazioa ez oztopatuzko.

Bestalde, etorkizunean kontuan izan behar dira energia biltegitatzeko sortzen ari diren metodo ezberdinak eta horien garapena, zuzenean baitu eragina bere modelizazio zirkuitu baliokidean.

Hau alde batera utzita, proiektu honetan eratutako eta gerora simulaturiko modeloei buruz esan daiteke helburu nagusia bete dela, emaitzen atalean erakusten den bezala, simulazio-emaitza egokiak lortu direlako. Gainera, kontuan izan behar da modelo APERT ikerkuntza taldearen propulzio-sistema osatzeko erabilia izango dela. Horregatik, edozein gida-ziklo simulatzeko aukera eskaintzen da garatutako modelon, eta bateriari dagokionez ere parametroak aldatzea besterik ez da behar beste espezifikazio batzuk dituen bateria baten baldintzak bete ditzan.

Etorkizunerako lanari dagokionez, etorkizunera begira interesgarria izango litzateke eratutako bateria modelon gehiago sakontzea eta ibilgailu elektriko baten bateria paketearen modelo osatuago bat lortzea.

10. Kapituluia

Bibliografia

- [1] IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) Fifth Assessment Report 2014. Azken bisita: 2018/10/8. Url:<https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>
- [2] Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N. eta Rafaj, P. (2011). RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, (109), 33-57, doi:[10.1007/s10584-011-0149-y](https://doi.org/10.1007/s10584-011-0149-y).
- [3] Church, J.A. eta White, N.J. (2011). Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century. *Surveys in Geophysics*, (32), 585-602, doi:[10.1007/s10712-011-9119-1](https://doi.org/10.1007/s10712-011-9119-1).
- [4] Diffenbaugh, N. S., Scherer, M. eta Trapp, R. J. (2013). Robust increases in severe thunderstorm environments in response to greenhouse forcing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, (110), 16361-16366, doi:[10.1073/pnas.1307758110](https://doi.org/10.1073/pnas.1307758110).
- [5] Elsner, J. B., Kossin, J. P. eta Jagger, T. H. (2008). The increasing intensity of the strongest tropical cyclones. *Nature*, (455), 92-95, doi:[10.1038/nature07234](https://doi.org/10.1038/nature07234).
- [6] Emanuel, K. A. (2013). Downscaling CMIP5 climate models shows increased tropical cyclone activity over the 21st century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, (110), 12219–12224, doi:[10.1073/pnas.1301293110](https://doi.org/10.1073/pnas.1301293110).
- [7] UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) sites and platforms. Azken bisita: 2018/10/11. Url:<https://unfccc.int/>
- [8] The Kyoto Protocol, UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) sites and platforms. Azken bisita: 2018/10/11. Url:<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/what-is-the-kyoto-protocol>
- [9] The Paris Agreement, UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) sites and platforms. Azken bisita: 2018/10/11. Url:<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- [10] Belver, M. (2017/3/13). Madrid prohibirá circular a los vehículos antiguos a partir de 2025. *El Mundo*. Url:<http://www.elmundo.es/madrid/2017/03/13/58c66525ca47419f498b45f6.html>
- [11] Raggi, V. (2018/2/27). Rome has decided to ban the use of private diesel vehicles from its historical centre from 2024. Url:<https://www.facebook.com/virginia.raggi.m5sroma/videos/929739267208523/>
- [12] Graham, G. (2014/12/8). London will follow Paris and ban diesel cars, campaigners warn. *The Telegraph*. Url:<https://www.telegraph.co.uk/news/earth/environment/11280067/London-will-follow-Paris-and-ban-diesel-cars-campaigners-warn.html>

- [13] AR5 Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. IPCC (*Intergovernmental panel on climate change*). Azken bisita: 2018/10/11. Url: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>
- [14] ¿Cuanto tiempo tarda en cargarse un coche electrico?. *Wallboxok*. Azken bisita: 2018/10/12. url: <https://www.wallboxok.com/es/cuanto-tiempo-tarda-en-cargarse-un-coche-electrico/>
- [15] Amadoz, S. (2017/2/18). La odisea del coche eléctrico: pocos puntos de recarga y mal repartidos. *El Motor*. Url: <https://motor.elpais.com/electricos/puntos-de-recarga-coches-electricos/>
- [16] Nicholas, M. eta Hall, D. (2018). Lessons learned on early electric vehicle fast-charging deployments. ICCT (The International Council on Clean Transportation). Url: <https://www.theicct.org/publications/fast-charging-lessons-learned> (2018/10/16)
- [17] Berzi, L., Delogu, M. eta Perini, M. (2016). Development of driving cycles for electric vehicles in the context of the city of Florence. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, (47), 299-322, doi: [10.1016/j.trd.2016.05.010](https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.05.010)
- [18] Giakoumis, E. G. (2017). Light-Duty Vehicles. *Driving and Engine Cycles*, 65-166, doi: [10.1007/978-3-319-49034-2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-49034-2)
- [19] Berg W. (2003) Legislation for the Reduction of Exhaust Gas Emissions. *Traffic and Environment*, (3T),175-253, doi: [10.1007/b10463](https://doi.org/10.1007/b10463)
- [20] Japanese 10 Mode. *DieselNet*. Azken bisita: 2018/10/19. Url: https://www.dieselnets.com/standards/cycles/jp_10mode.php
- [21] Vehicle Emission Standards-Japan. MECA World Regulations. Azken bisita: 2018/10/24. Url: http://www.meca.org/galleries/files/Asian_Regs-Japan.pdf
- [22] Kimura, T. (2003). General resources energy investigation committee, Energy savings standards section, Automobile standards judging subcommittee, LPG car fuel efficiency standards evaluation group, Final Report. Azken bisita: 2018/10/24. Url: https://www.eccj.or.jp/top_runner/pdf/tr_lpg_passenger.pdf
- [23] Kühlwein, J., German, J. eta Bandivadekar, A. (2014). Development of test cycle conversion factors among worldwide light-duty vehicle CO₂ emissions standards. ICCT (*The International Council on Clean Transportation*). Azken bisita: 2018/10/25. Url: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LDV-test-cycle-conversion-factors_sept2014.pdf
- [24] Kühlwein, J., German, J. eta Bandivadekar, A. (2014). Development of the cycle conversion factors among Worldwide Light-duty vehicle CO₂ emissions standards. ICCT (*The International Council on Clean Transportation*). Url: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LDV-test-cycle-conversion-factors_sept2014.pdf

- [25] Final Report of Joint Meeting between the Automobile Evaluation Standards Subcommittee, Energy Efficiency Standards Subcommittee of the Advisory Committee for Natural Resources and Energy, and the Automobile Fuel Efficiency Standards Subcommittee, Automobile Transport Section, Land Transport Division of the Council for Transport Policy (2007). Azken bisita: 2018/10/25
 url:https://www.eccj.or.jp/top_runner/pdf/tr_passenger&freight_vehicles_gasoline&diesel_mar2007.pdf
- [26] Japanese JC08 Cycle. *DieselNet*. Azken bisita: 2018/10/25
 Url:https://www.dieselnet.com/standards/cycles/jp_jc08.php
- [27] Watson, H. C. (1978). Vehicle Driving Patterns and Measurement Methods for Energy and Emissions Assessment, *Bureau of Transport Economics*.
 Url:https://bitre.gov.au/publications/1978/files/op_030.pdf
- [28] FTP-72 (UDDS). *DieselNet*. Azken bisita: 2018/10/29.
 Url:<https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp72.php>
- [29] FTP-75. *DieselNet*. Azken bisita: 2018/10/29.
 Url:<https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp75.php>
- [30] Kruse, R. E. eta Paulsell, C. D. (1974). Development of a Highway Driving Cycle for Fuel Economy Measurements. EPA (*Environmental Protection Agency*).
 Url:<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/9101XOPB.TXT>
- [31] EPA Highway Fuel Economy Test Cycle (HWFET). *DieselNet*. Azken bisita: 2018/10/31.
 Url:<https://www.dieselnet.com/standards/cycles/hwfet.php>
- [32] Berry, I. M. (2010). The Effects of Driving Style and Vehicle Performance on the Real-World Fuel Consumption of U.S. Light-Duty Vehicles. [MSc Thesis] Virginia Polytechnic Institute and State University. Url: http://web.mit.edu/sloan-auto-lab/research/beforeh2/files/IreneBerry_Thesis_February2010.pdf
- [33] SFTP-US06. *DieselNet*. Azken bisita: 2018/11/1.
 Url:https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp_us06.php
- [34] SFTP-SC03. *DieselNet*. Azken bisita: 2018/11/1.
 Url:https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp_sc03.php
- [35] ECE 15 + EUDC/NEDC. *DieselNet*. Azken bisita: 2018/10/17.
 Url:https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php
- [36] Council Directive 70/220/EEC of 20 March 1970 on the approximation of the laws of the Member States relating to measures to be taken against air pollution by gases from positive-ignition engines of motor vehicles. Url: <http://data.europa.eu/eli/dir/1970/220/oj>
- [37] Council Directive 91/441/EEC of 26 June 1991 amending Directive 70/220/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to measures to be taken against air

pollution by emissions from motor vehicles. Url:<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0441&from=ES>

[38] Directive 98/69/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 1998 relating to measures to be taken against air pollution by emissions from motor vehicles and amending Council Directive 70/220/EEC. Url:https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9ee5d16b-1a4a-4a72-ac90-5e3a0bb1d745.0008.02/DOC_1&format=PDF

[39] WLTP Facts. Azken bisita: 2018/11/5. Url:<http://wltpfacts.eu/when-will-wltp-changes-take-place/>

[40] Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure. Addendum 15: Global technical regulation No. 15
url:https://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29glob_registry.html

[41] Tutuinan, M., Marotta, A., Steven, H., Ericsson, E., Haniu, T., Ichikawa, N. eta Ishii, H. (2013). Development of a World-wide Worldwide harmonized Light duty driving Test Cycle (WLTC). UN/ECE/WP29/GRPE/WLTP-IG DHC subgroup.
Url:<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2014/wp29grpe/GRPE-68-03e.pdf>

[42] Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WTLC). *DieselNet*. Azken bisita: 2018/11/5. Url:<https://www.dieselnets.com/standards/cycles/wltp.php>

[43] Giakoumis, E. G. eta Zachiotis, A. T. (2018). Comparative evaluation of eight legislated driving schedules in terms of cycle metrics and emissions from a diesel-powered turbocharged van. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, (58), 139-154, doi:[10.1016/j.trd.2017.11.002](https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.11.002)

[44] Mock, P., Kühlwein, J., Tietge, U., Franco, V., Bandivadekar, A. eta German, J. (2014). The WLTP: How a new test procedure for cars will affect fuel consumption values in the EU. ICCT (*The International Council on Clean Transportation*).
Url:https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_WLTP_EffectEU_20141029.pdf

[45] Tietge, U., Zacharof, N., Mock, P., Franco, V., German, J. eta Bandivadekar, A. (2015). A 2015 update of official and “Real-World” fuel consumption and CO₂ values for passenger cars in Europe. *From laboratory to road*. ICCT (*The International Council on Clean Transportation*).
Url:https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LaboratoryToRoad_2015_Report_English.pdf

[46] Gustafsson, T. eta Johansson, A. (2015). Comparison between Battery Electric Vehicles and Internal Combustion Engine Vehicles fueled by Electrofuels [Tesia]. Chalmers University of Technology. Url:<https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/218621/218621.pdf>

[47] Sandén, B. eta Wallgren, P. (2017). Systems perspectives on Electromobility. Chalmers University of Technology. Url:<http://www.chalmers.se/en/areas-of>

[advance/energy/publications-media/systems-perspectives/Pages/Systems-Perspectives-on-Electromobility.aspx](#)

[48] Pasaoglu, G., Fiorello, D., Martino, A., Zani, L., Zubaryeya, A. eta Thiel, C. (2014). Travel patterns and the potential use of electric cars – Results from a direct survey in six European counties. *Technological Forecasting and Social Change*, (87), 51-59, doi:[10.1016/j.techfore.2013.10.018](#)

[49] Pfriem, M. eta Gauterin, F. (2016). Development of real-world Driving Cycles for Battery Electric Vehicles.

[50] Brady, J. (2013). The Modelling Of Electric Vehicle Driving Cycles, Usage Patterns And An Investigation of The Environmental And Economic Impacts of Electric Vehicles [Tesia]. Trinity College. Url:<http://www.tara.tcd.ie/handle/2262/78821>

[51] Milligan, R. (2017). Drive cycles for battery electric vehicles and their fleet management. *Electric Vehicles: Prospects and Challenges*, 489-555, doi:[10.1016/B978-0-12-803021-9.00013-6](#)

[52] Jeong, N. T., Yang, S. M., Kim, K. S., Wang, M. S., Kim, H. S. eta Suh, M. W. (2016). Urban Driving Cycle for performance evaluation of electric vehicles. *International Journal of Automotive Technology*, (17), 145-151, doi:[10.1007/s12239-016-0014-0](#)

[53] Jeong, N. T., Yang, S. M., Kim, K. S., Choi, S. B., Wang, M., You, S., Kim, H. eta Suh, M. W. (2016). Development of Urban Driving Cycle for Performance Evaluation of Electric Vehicles Part II: Verification of Driving Cycle. *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, (23), 161-168, doi:[10.7467/KSAE.2015.23.2.161](#)

[54] Trancho, E., Ibarra, E., Arias, A., Kortabarria, I., Jürgens, J., Marengo, L., Fricassè, A. eta Gragger, J.V. (2018). PM-Assisted Synchronous Reluctance Machine Flux Weakening Control for EV and HEV Applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, (65), 2986-2995, doi:[10.1109/TIE.2017.2748047](#)

[55] Iclodean, C., Varga, B., Burnete, N., Cimerdean, D. eta Jurchiş, B. (2017). Comparison of Different Battery Types for Electric Vehicles. *IOP Conference Series: Materials Science and engineering*, (252). Doi:[10.1088/1757-899X/252/1/012058](#)

[56] Mok, B. (2017). Types of Batteries Used for Electric Vehicles. Stanford University. Azken bisita: 2018/12/12. Url: <http://large.stanford.edu/courses/2016/ph240/mok2/>

[57] Castaño, S. P. (2014). Modelado y caracterización funcional en régimen dinámico de sistemas electroquímicos de almacenamiento de energía, Aplicación a supercondensadores y baterías de iones de litio [Tesia]. Universidad Carlos III de Madrid. Url:<http://hdl.handle.net/10016/19281>

[58] Zhang, L., Peng, H., Ning, Z., Mu, Z. eta Sun, C. (2017). Comparative Research on RC Equivalent Circuit Models for Lithium-Ion Batteries of Electric Vehicles. *Applied Sciences*, (7), 1002, doi:[10.3390/app7101002](#)

- [59] Kane, M. (2018). Ultra Capacitor Tech Again Touted As EV Game-Changer. *InsideEVs*. Azken bisita: 2018/12/12. Url:<https://insideevs.com/ultra-capacitor-tech-again-touted-as-ev-game-changer/>
- [60] Trancho, E., Ibarra, E., Arias, A., Kortabarria, I., Prieto, P., Martínez de Alegría, I., Andreu, J. eta López, I. (2018). Sensorless control strategy for light-duty EVs and efficiency loss evaluation of high frequency injection under standardized urban driving cycles. Doi:[10.1016/j.apenergy.2018.05.019](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.019)
- [61] Shafiei, A., Momeni, A. eta Williamson, S. S. (2011). Battery Modeling Approaches and Management Techniques for Plug-in Hybrid Electric Vehicles. *2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, doi:[10.1109/VPPC.2011.6043191](https://doi.org/10.1109/VPPC.2011.6043191)
- [62] Chan, H. L. (2000). A New Battery Model for use with Battery Energy Storage Systems and Electric Vehicles Power Systems. *2000 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings*, doi:[10.1109/PESW.2000.850009](https://doi.org/10.1109/PESW.2000.850009)
- [63] He, H., Xiong, R., Guo, H. eta Li, S. (2012). Comparison study on the battery models used for the energy management of batteries in electric vehicles. *Energy Conversion and Management*, (64), 113-121, doi:[10.1016/j.enconman.2012.04.014](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.04.014)
- [64] OPAL-RT Technologies. Azken bisita: 2019/1/16. Url:<https://www.opal-rt.com/simulator-platform-op4510/>