

Ibilgailu elektrikoak eta hibridoak: efizientzia energetikoa hobetzeko aukera

Jokin Altzibar, Edorta Ibarra, Jon Andreu, Jose Ignacio Garate,
Iñigo Kortabarría*

Teknologia Elektronikoa Saila, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)
Bilboko Ingeniaritza Goi Eskola Teknikoa

* jokinaltzibar@gmail.com

Jasoa: 2014-05-07

Onartua: 2014-07-05

Laburpena: Gaur egun, aurrezte energetikoa eta ingurumen-arrazoiak direla eta, ibilgailu elektriko eta hibridoaren arrakasta areagotuz doa. Artikulu honetan ibilgailu elektriko eta hibridoaren teknologiaren azterketa egin da. Hasteko, ibilgailu motak aztertuko dira, ondoren, xehetasunez azalduko dira baterietara konektatutako ibilgailu elektrikoaren teknologia eta osagaiak, eta azkenik, funtzionamendua argituko da.

Hitz gakoak: HEV, BEV, potentzia-elektronika.

Abstract: Nowadays, the popularity of electric and hybrid vehicles has considerably increased, mainly due to environmental and energy saving reasons. In this article, the state of this technology in vehicles is explained. The article begins with the analysis of the different vehicular topologies, followed by the explanation of the technology, the components and the functioning/operation of the electric vehicle battery-connected.

Keywords: HEV, BEV, power electronics.

1. SARRERA

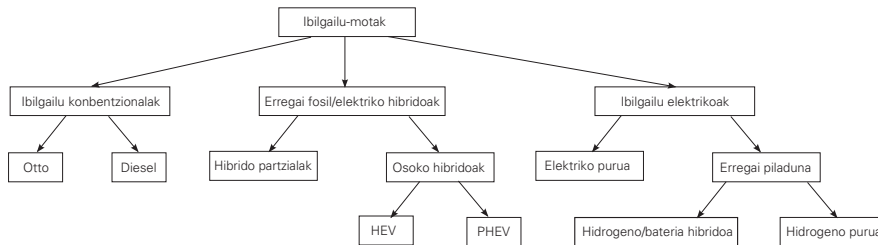
Energia-kontsumoaren mailak gizartearen bilakaera eta ongizatea neurtzea ahalbidetzen du. Nazioarteko Energia Agentziaren [1] arabera, munduko energiaren kontsumoa % 56 haziko da 2010-2040 tartean. Energia-iturri tradizionalak mugatuak dira, eta beraz, eskari hori ezin izango da inoiz ase. Hori gogoan hartuta, Ibilgailu Elektrikoak (IE) etorkizuneko irtenbide gisa irudikatzen dira, haien efizientzia energetiko altuaz gain, berotegi-efektuko gas eta beste kutsatzaileen igorpena gutxitu egiten dutelako. Betiere, ibilgailu horiek propulstatzeko erabiltzen den

1. taula. Ibilgailuen propulzio-sistemaren efizientzia (%).

Etapa	Ibilgailu mota		
	Konbentzionala	Hibridoa	Elektrikoa
Hobitik andelera (η_1)	80	80	37
Andeletik gurpilera (η_2)	16	24	80
Guztira ($\eta_1 \times \eta_2$)	13	19	30

elektrizitatea energia-iturri berriztagarrietatik baldin badator [2]. Hori dela eta, 1. taulan azaltzen da ibilgailu ezberdinen propulzio-sistemaren eraginkortasuna [3].

Hainbat ibilgailu-mota bereiz badaitezke ere (1. irudia), automobilaren historian ibilgailu elektrikoa izan zen garatu zen aurrenetako bat (1832-1839). Egia esan, ibilgailu elektrikoa, gauzatua zen jadanik Dieselek (Diesel motorra, 1893) eta Benzek (Otto motorra, 1885) gaur egungo lau aldiko motorra garatu aurretik. Bestalde, xx. mendean zehar Barne Errekuntzako Motorrak (BEM) nagusi izan dira, baina ibilgailuen elektrifikazioa errealitate bat da gure egunotan. Adibidez, 2012ko bukaeran mundu osoko ibilgailu elektrikoen guztizko stocka 180.000 unitatetik gorakoa zen (20 modelo) [2]. 2020rako, kopuru hori 20 milioira handitzea aurreiskusten da, eta urteko salmentak 5,9 milioira iristea [2].



1. irudia. Ibilgailu-moten eskema orokorra.

Teknologia honen garrantzia dela eta, artikuluan honetan ibilgailu elektrikoaren egoera teknologikoa azalduko da. Hasteko, ibilgailu elektrikoaren historia eta bilakaeraren berriskupen labur bat egingo da. Ondoren, gaur egun diren ibilgailu-motak aztertuko dira. Horren ostean, ibilgailu elektrikoaren azterketa sakonago bat egingo da, funtzionamendua eta osagai garrantzitsuenak azalduz.

2. IBILGAILU MOTAK ETA HAIEN KONFIGURAZIOAK

Egungo ibilgailuen merkatuan, ibilgailu konbentzionala da nagusi. Baina kutsadura eta erregai fosilekiko menpekotasuna dela eta, fabrikatzaile gehienak ibilgailu elektrikoak ikerketa eta garapenean hasiak dira. BEMa nagusia da oraindik, baina hasiak dira ibilgailu elektrikoak agertzen.

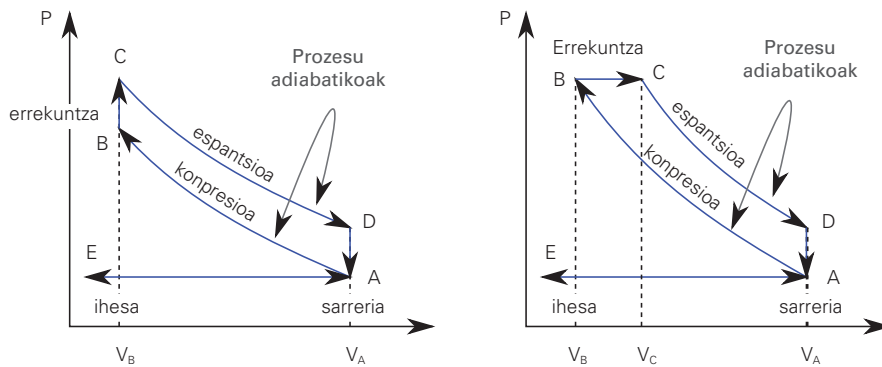
Ibilgailu elektrikoak merkatuan hainbat ibilgailu mota daude (1. irudia): ibilgailu hibrido partzialak, osoko hibridoak¹ edota elektriko puruak. Ondoren, ibilgailuen sailkapen bat egingo da, propulsiarako elementu elektrikoak arabera.

2.1. Ibilgailu konbentzionala

Joan den mendean zehar, errepideko garraioaren sektorea BEMean oinarritu da. Hain zuzen, 2. irudian agertzen den bezala, bi aukera daude BEM ibilgailuetan [4]:

- Txinpart bidezko ignizioa edo Otto ziklo termodinamikoa, petrolotik eratorritako gasolina likidoz funtzionatzen duena.
- Konpresio bidezko ignizioa edo Diesel ziklo termodinamikoa, petrolotik eratorritako gasolio likidoz funtzionatzen duena.

Bi zikloak aldi berean hobetuz joan dira baina, Diesel zikloa efizientea goa izan da betidanik. Aurreko honen arrazoia ziklo termodinamikoan dago (2. irudia). Diesel zikloan presio konstantean gertatzen da errektuntza; Otto



2. irudia. Otto zikloa ezkerrean eta Diesel zikloa eskuinean.

¹ Osoko hibridoetan, ibilgailua propulsaizteko erabiltzen da motor elektrikoak. Aldiz, hibrido partzialek erregaia aurreratzeko baliagarriak diren zenbait funtzio osagarri (*start-stop* sistemak edota balaztatze birsortzailea) gauzatzeko erabiltzen dute motorra.

zikloan, aldiz, bolumen konstantean [6]. Zikloen efizientziak muga teoriko bat du (Carnoten limitea) [5]. Badira, halaber, BEM modernoan efizientziari eragiten dioten bestelako faktoreak: esaterako, kargaren berriztapenean gertatzen diren galerak (sarrera eta iheseke faseetan), marruskadura bidezko galerak, hozte-sistema, etab. Arrazoi horiek direla eta, BEMen batez besteko efizientzia % 25ekoa da Otto ziklodunen artean, eta % 30ekoa, Diesel ziklodunetan, efizientzia horiek puntu optimokoak direla kontuan izanik.

2.2. Baterietara konektatutako ibilgailu hibridoak

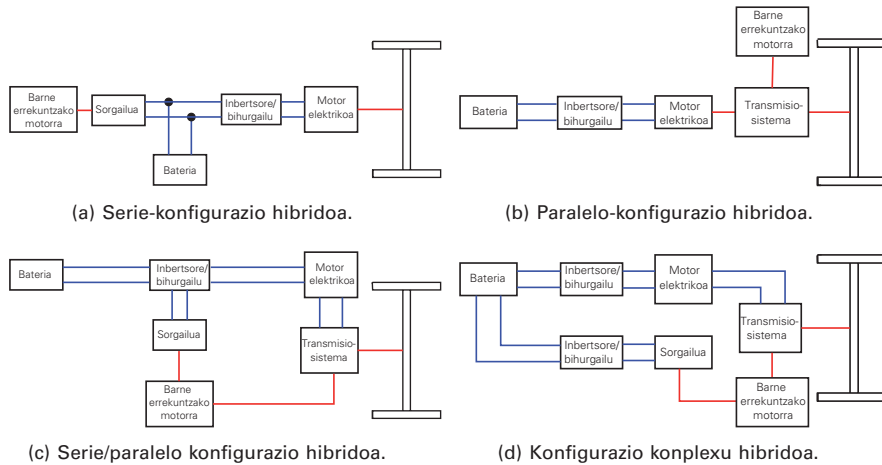
Trakzio hibridoan motor termikoaren ezaugarriak eta trakzio elektrikoaren abantailak etekina atera nahi diete: hurrenez hurren, autonomia eta potentzia-dentsitatea batetik eta bestetik eraginkortasuna eta motorren indar-momentua abiadura txikietan. BEMa duen hibrido batek helburu nagusi modura du BEMari efizientzia maximoko puntutik hurbil ahal den denbora tarte luzeenean lan eginaraztea [7]. Bi ibilgailu hibrido mota bereiz daitezke: ezin entxufa daitezkeen ibilgailu hibridoak (HEV) eta entxufa daitezkeenak (PHEV) [3].

2.2.1. Ezin entxufa daitezkeen ibilgailu hibridoak (*Hybrid Electric Vehicle*)

Ibilgailu honek BEMa eta motor elektrikoa ditu bere propulsiio-sisteman. Motor elektrikoa karga daitezkeen gailu baten bidez elikatzen da (adibidez, bateria baten bitartez), eta gailu hori besteak beste BEMaren bitartez kargatzen da. Mota horietakoak izan ziren HEV-en lehen unitateak, esaterako Mercedes-Benzen S 400 blackHYBRIDa edota Toyotaren Prius Plusa. Azken hau, 136 ZP-ra irits daiteke guztira.

2.2.2. Entxufa daitezkeen ibilgailu elektrikoa (*PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicle*)

PHEV-a bateriak kargatzeko sarera konekta daitezkeen ibilgailu elektriko bat da. Honen bidez, ibilgailuaren autonomia luzatu nahi da [7]. Aurreko motako HEV-en ez bezala, PHEV-tan propulsiotzeko erabiltzen den motorra elektrikoa da. Ibilgailu horien baterien ahalmena dela eta, 50 km egitera irits daitezke modu elektrikoan hutsean. Ibilgailu horietan BEMa txikiagoa da, eta elektrizitatea sortzeko erabiltzen da. Hortaz, esan daiteke PHEV-ak ibilgailu konbentzionalaren eta elektrikoaren abantailak batzen dituela. Egungo merkatuan era horretako hainbat modelo daude. Adibidez, Toyota Prius Plug-Ina izenekoak: BEMa eta motor elektrikoa konbinatuta 136 ZP-ko potentzia du, eta gai da modu elektrikoan 25 km egiteko. Edota Volkswagen Golf GTEa gai da 204 ZP emateko, eta 50 km-ko autonomia du modu elektrikoan.



3. irudia. Ibilgailu hibridoen konfigurazioak.

Egun, entxufa daitezkeen ibilgailu hibridoetarako 3. irudian ageri diren konfigurazioak aurki daitezke [8]:

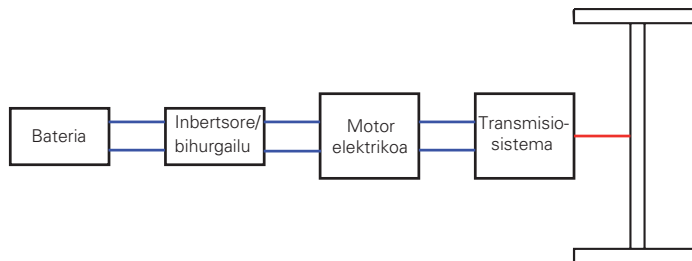
- *Serie-konfigurazioa*. Serie-konfigurazioak BEM bat erabiltzen du motor elektrikoa elikatzen duten bateriak kargatzeko (3(a). irudia). Sistema honetan, motor elektrikoa da ibilgailua mugitzen duena. Konfigurazio honekin, sinpletasun handiagoa lortzen da ibilgailuaren mekanikan (ez du abiadura-kaxarik behar, ez eta BEMa gidatzeko gainerako osagai mekanikorik ere). Nahiz eta konfigurazio oso eraginkorra izan (ibilgailua beti modu elektrikoan dabil), behar adina ahalmen duen bateria baten beharrak zaildu egiten du sistema hau erabiltzea [3]. Gaur egun hainbat ibilgailu fabrikatzen dira konfigurazio honekin, eta hori darabilten autoei Extender Range Electric Vehicle deritze (EREV). Adibidez, Opel Ampera eta Chevrolet Volt modeloek (150 ZP-koak) 500 km-ko autonomia konbinatua dute, eta modu elektrikoan, aldiz, 60/70 km-koa.
- *Paralelo-konfigurazioa*. Konfigurazio mota hau izan zen lehena merkaturatzen. Funtsean, trakzio elektrikoa erabiltzen da bertan, BEMaren efizientzia energetikoa hobetzeko. BEMa efizientzia altuko biraketa-abiaduran lan eginaraziz lortzen da hori. Trakzio elektrikoa, oro har, gidatze-kondizioak aldatzean erabiltzen da, batetik, mugimendua hasteko, eta bestetik, balaztatzean, energia biltzeko [3]. Toyota Priusa da mota horretako hibridoen adibide garbia. Beraren 98 ZP-ko BEMa eta motor elektrikoa konbinatuta, gutxira 136 ZP-ra iristen da, 1.150 km-ko autonomiarekin. Aldi be-

rean, 88 ZP-ko BEMa duen Honda Insighta 98 ZP-ra iristen da horiek konbinatuta, eta 900 km-ko autonomia lortzen da. Bi motorrak (BEMa eta motor elektrikoa) ibilgailuaren diferentzialarekin akoplatuta daude (3(b). irudia); beraz, biek propulsa dezakete ibilgailua modu askean.

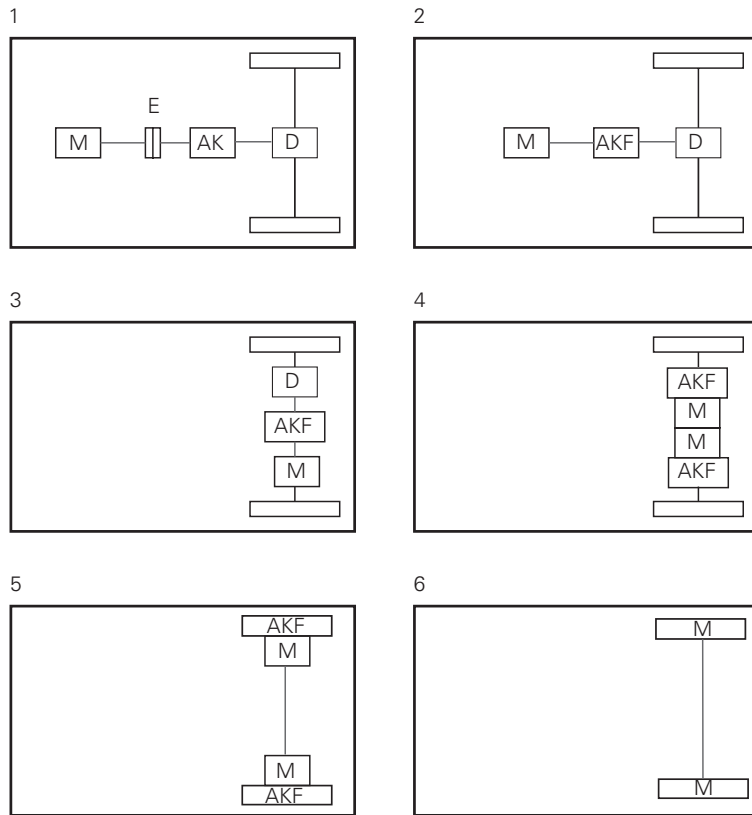
- *Serie/paralelo konfigurazioa*. Konfigurazio hau serie eta paralelo-konfigurazioen konbinaziotik lortzen da (3(c). irudia). Serie eta paralelo-konfigurazioen abantailak bildu arren, arkitektura hau nahiko konplexu eta garestia da. Bestalde, fabrikazioko teknologia eta kontrolko aurrerakuntzei esker, HEV moderno batzuek nahiago dute sistema hau [8]. Teknologia honen adibide garbia, BYD F3DMa da: 68 ZP-ko BEMa dauka eta 170 zaldira iristen da motor biak konbinatuta. Ezaugarri horiei esker, 100 km-ko autonomia dauka modu elektrikoan, eta guztira, 430 km-koa.
- *Konfigurazio konplexua*. Izenak adierazten duen moduan, sistema honek konfigurazio konplexua du (3(d). irudia). Hibrido konplexuaren makina elektrikoak sorgailu zein motor gisa funtziona dezakeenez, serie/paralelo motako hibridoaren antza du. Baina motor elektrikoaren energia-fluxua da ezberdintasun handiena: konfigurazio konplexuan fluxu hori bi noranzkoa da, eta serie/paraleloan, noranzko bakarrekoa. Energia-fluxu horrek funtzionamendu aldakorra ahalbidetzen du; beraz, serie/paralelo motako arkitekturan ezin lor daitezkeen hiru propulsiio moduak lor daitezke (BEMa eta bi motor elektrikoak direla eta) [8].

2.3. Baterietara konektatutako ibilgailu elektrikoa (BEV)

Ibilgailu hau karga daitezkeen bateria batekin elikatzen den trakzio elektrikoduna da. Motor elektriko baten bidez propulsatzen da (4. irudia). Propulsatzeko energia-iturria baterian metatzen den elektrizitatea da, eta bateriaren karga sarearen bidez egiten da [3]. Gauzak horrela, 5. irudian ikus



4. irudia. Baterietara konektatutako ibilgailu elektrikoaren konfigurazio generikoa.



E: Enbraguea D: Diferentziala AK: Abiadura-Kaxa M: Motor elektrikoak
AKF: Abiadura-Kaxa Finkoa (desmultiplikazio erlazio bakarra)

5. irudia. Baterietara konektatutako ibilgailu elektrikoaren konfigurazioak.

daiteke BEVaren hainbat konfigurazio daudela, egun erabiltzen diren propulsiotxo moten aldaeretan oinarrituta:

- *Lehenengo konfigurazioa.* Motor elektriko, enbrage, abiadura-kaxa eta diferentzial batez osatzen da. Hain zuzen, enbragea motor elektrikoarekin gurpiletara konektatu eta deskonktatzeko erabiltzen da. Abiadura-kaxak momentu/abiadura erlazio egokia hautatzen ahalbidetzen du. Diferentziala gailu mekaniko berezia da. normalean, engranaje planetarioen multzo bat, bihurtzeko bi aldeetako gurpilek abiadura ezberdinez biratzea uzten duena.

- *Bigarren konfigurazioa*. Aurreko konfigurazioa erraztea du helburu. Motor elektrikoa tarte zabal batean potentzia konstantea emateko gai denez, abiadura-kaxaren ordeztu, engranaje finko bat jar daiteke; horrela, ez dago enbragearen beharrik.
- *Hirugarren konfigurazioa*. Posible da propulzio-sistema are gehiago erraztea, motor elektrikoa, engranaje finkoa eta diferentziala palierretara atxikita doan ardatzean ezarritik gero.
- *Laugarren konfigurazioa*. Konfigurazio honetan, gurrpil bakoitzeko motor bat izanik, baztertu egiten da diferentzial mekanikoa.
- *Bosgarren konfigurazioa*. Motorrak gurpiletan jar daitezke. Horretarako, beharrezkoa da abiadura moteldu eta momentua handituko duen engranaje bat jartzea, motorraren eta gurpilaren artean.
- *Seigarren konfigurazioa*. Posible da abiadura baxuko motor elektriko baten errotorea gurpil eragilerazuzenean konektatzea. Horretarako, momentu handiko motor elektrikoa behar da, ibilgailua abian jarri eta azeleratu ahal izateko.

2.4. Erregai-piladun ibilgailua

Esan bezala, ibilgailuaren industria irtenbide berrien bila dabil, garraio jasangarri bat lortzeko. Irtenbide horietako bat erregai-piladun ibilgailu elektrikoa da. Propulzio-sistema horren muina erregai-pila da. Oxidatzaile baten pean, erregai baten energia kimikoa energia elektriko bihurtzen dute gailu elektrokimiko horiek.

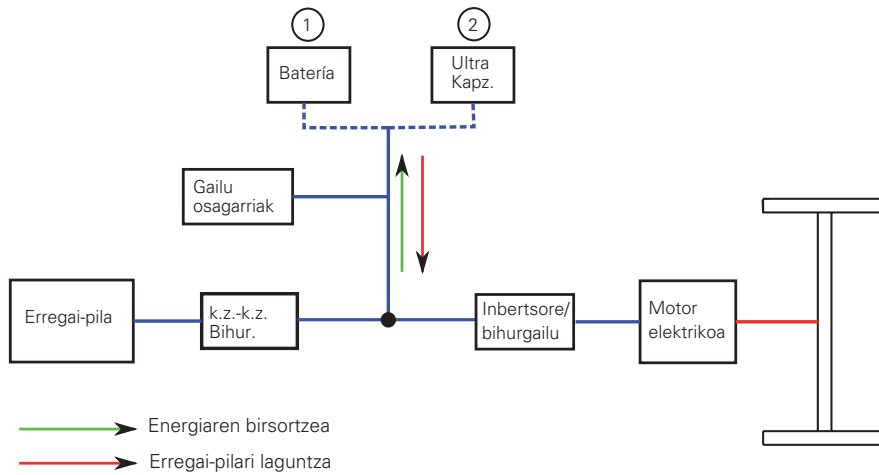
Ibilgailuetan bi modu orokor daude erregai-pila erabiltzeko: bata, erregai-pila soilik erabiltzea; bestea, modu hibridoan erabiltzea [5, 9].

2.4.1. Erregai piladun ibilgailu elektriko purua

Erregai-pila erabiltzen da energia-iturri gisa. Gehienez ere, ultrakondentsadore multzo bat izango du, energiaren erregulazio eraginkorragoa lortzeko biltegitratze bidez (6. irudia, ②). Hori guztia ulertzen da erregai-pila gai delako energia-kantitate handia modu konstantean emateko; aldiz, ez da ondo egokitzen berehalako gailurreko potentzia-eskarietara. Honda FCX edota Daimler Chrysler bezalako ibilgailuek erabiltzen dute metodo hau, eta horrela, nabari da fabrikatzaile horiek espero dutela erregai-pila ekonomikoki bideragarria izatea.

2.4.2. Erregai piladun ibilgailu hibridoa

Kasu honetan, erregai-pilak bateria-kargagailu gisa jokatzen du, eta bateriak potentzia-gailurrak jasan eta funtzionamendu egokiagoa ahalbidetzen dio erregai-pilari (6. irudia, ①). Era horretara funtzionatzen dute Toyotaren prototipoek eta Honda FCX *Clarity*ak. Erabiltzaile gehienek eguneko



6. irudia. Erregai-piladun ibilgailuaren konfigurazioak.

30 km baino gutxiago egiten dituzte, hau da, bateriaren autonomia adina. Beraz, ibilgailu mota hau eguneroko garraio gisa erabil daiteke, eta horixe da abantaila nagusia hidrogenoz kargatu bidaia luzeagoetarako.

3. BATERIETARA KONEKTATUTAKO IBILGAILU ELEKTRIKOAREN TEKNOLOGIA

Lehenago aipatutako 1. taulako efizientziak kontuan hartuz, esan dezakegu trakzio elektrikoak duela eraginkortasunik onena; hala ere, hobi-tik andelerako eraginkortasuna baxua da. Horretaz gain, badira baterietara konektatutako ibilgailu elektrikoak eskaintzen dituen bestelako abantailak, hala nola berotegi-efektuko gas-isuri txikiak, elementuen murriztea edota *vehicle to grid* teknologia (azken honek beharrezkoa denean sarera energia bueltatzea ahalbideratzen du).

Ondoren, zehatz azalduko dira ibilgailu elektriko puruaren teknologia eta funtzionamendua.

3.1. Ibilgailu elektrikoaren osagaiak

Ibilgailu elektriko ororen propulsio-sistema hiru azpisisematan banatzen da (7. irudia): propulsio-sistema elektriko, energia-iturria eta sistema osagarriak.

Azeleragailua eta balazta dira sistemaren sarrerak (7. irudia): gidariak kontrolerako gailu batera bidaltzen ditu seinaleak pedalen bidez, eta sei-

nale horiek potentzia-bihurgailu elektronikoari agintzen diote; bihurgailuak baterietatik datorren motor elektrikoaren elikadura erregulatzen du. Energia-iturri osagarriak behar adina energia eskaintzen du sistema osagarriak hornitzeko, tentsio-maila ezberdinekin (hala nola direkzio laguntzailearen kontroleko unitatea) [7].

Trakzio elektrikoa ondorengo elementuetan oinarritzen da funtsean:

3.1.1. *Goi tentsioko bateria*

Energia elektrikoa biltzen duen elementu hau da ibilgailu elektrikoaren garapenaren eragozpen nagusia. Ibilgailu elektrikoetan erabiltzen diren baterietan, energiaren bihurtetan parte hartzen duten erreazio kimikoak itzulgarriak izan daitezke, modu horretan bateriak birkargatzea posible izanik. Sistema hauek hainbat karga eta deskarga-ziklo jasan ditzakete [10].

Egun, hainbat bateria mota daude: beruna-azidoa, nikela-metal hidruroa, nikela-kadmioa, litio-ioia, etab. Nahiz eta baterien bilakaera aurrera doan, litio-iozkoa da ibilgailu elektrikoaren fabrikatzaileek gehien erabiltzen duten bateria; izan ere, beraren energia-dentsitate handia, pisu txikia eta memoria-efektua gailendu egiten zaizkie desabantailei (prezio altua eta lehertzerara arte berotzeko arriskua) [11].

3.1.2. *Potentzia-bihurgailua*

Ibilgailu elektrikoetako sistema elektronikoak tentsio eta korronteen forma eta ezaugarriak aldatu beharri erantzuten dio, goi tentsioko baterian eta motor elektrikoan. Oro har, korronte alferno trifasikoz elikatutako iman iraunkorreko motor sinkronoak erabiltzen dira horretarako. Inbertsorea erabiliko da hain zuzen, motorrak une bakoitzean eskatzen duen korronte zuzena korronte trifasiko alferno bihurtzeko [9].

3.1.3. *Motor elektrikoa*

Bi motor mota erabiltzen dira nagusiki, hornikuntzaren arabera bereizita: korronte zuzeneko motorrak eta korronte alfernoko motorrak [12]. Bi motorrek antzekotasunak dituzte (harilkatua eta errotorea, adibidez). Biek dituzte abantailak eta desa-bantailak (2. taula), baina korronte alfernoaren ezaugarriak direla eta, AC motakoek ez dute DC motakoaren etengailu magnetikorik behar.

2. taula. Korrante alternoko (AC) eta korrante zuzeneko (DC) motorren abantailak eta desabantailak.

AC motorra	DC motorra
Transmisio-erlazio bakarra	Beharrezkoa da abiadura-kaxa
Pisu txikia	Potentzia berdinerako, korrante alternokoa baino pixu handiagokoa
Merkeagoa	Garestiagoa
% 95eko efizientzia karga betean	% 85-95eko efizientzia karga betean
Kontrolagailu konplexu eta garestia	Kontrolagailu sinplea
Potentzia-elektronikako sistema konplexu eta garestiagoa	Ez du inbertsorarik behar

3.1.4. Kontrol-sistema

Ibilgailu elektrikoaren kontrol-sistema hainbat kontrol-unitatez osatuta dago. Motorrera hainbat erreferentzia-seinale iristen dira, abiadura eta momentua, kasurako. Seinale horiek ibilgailuaren kontrolerik datoz: azeleragailua, balazta eta abiadura-palankatik. Kontrol-sistemarekin balazta mekanikoak zein balazta birsortzailea kontrola daitezke, eta sistemak erabakitzen du une bakoitzean zein balazta erabili. Motorraen abiadura eta momentua azeleragailu bidez kontrolatzen dira, uneko abiaduratik nahi dugun abiadurara igaro ahal izateko. Sistema honen erregulazioa egiteko, espazio-bektoreetan oinarritutako ereduak erabiltzen dira. Kontrol-sistema erabilienak hauexek dira [12]:

- Eremura orientatuko kontrola. Sistema hau zuzeneko edota zeharkako kontrolaren modukoa da, inbertsorea korrante-iturri edo tentsio-iturri gisa kontrolatua egonez gero.
- Momentuaren kontrol zuzena.
- Zenbait sentsoreren erabilera saihesten da.

3.2. Ibilgailu elektrikoaren ezaugarriak eta prestazioak

Goiko taulan agertzen dira zenbait ibilgailu elektrikoaren (BEV, PHEV, HEV, EREV) ezaugarriak eta prestazioak. Bertako datuei begiratu, hainbat ondorio atera daitezke. Adibidez, baterien teknologia aztertzen bada, zihurtasun osoz esan daiteke litioioizkoa dela nagusi gaur egun, eta hala ikusten da 3.1.1 atalean. Bateriek ematen duten tentsioari erreparatu, argi ikusten da 300-400 V bitartean dabilzala, HE-Vak izan ezik. Azken hauek, beren autonomia txikia dela eta, ez dute horrenbesteko potentzia behar; beraz,

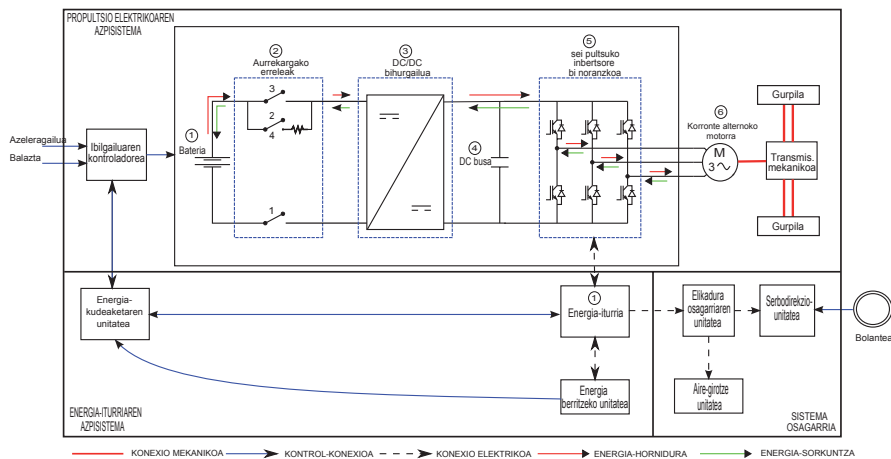
3. taula. Ibilgailuen ezaugarri teknologikoak.

	Potentzia max. (ZP)	Ezaugarri teknikoak Autonomia (km)	Kontsumoa (Wh/km)	Teknologia	Bateria Potentzia (kWh)	Tentsioa (V)
BMW i3 (BEV)	170	190	129	litio ioia	18.8	360
TESLA Model S (BEV)	306	375	162	litio ioia	60	400
NISSAN Leaf (BEV)	108	175	173	litio ioia	24	360
RENAULT Kangoo Z.E. (BEV)	60	160	155	litio ioia	22	400
VOLKSWAGEN e-Golf (BEV)	115	190	127	litio ioia	24.2	323
RENAULT Fluence Z.E. (BEV)	95	185	140	litio ioia	20	400
TOYOTA Prius (PHEV)	136	22 (EV)	2.1 l/100 km (EV)	litio ioia	5.2	345
MITSUBISHI Outlander (PHEV)	163	52 (EV)	1.5 l/100 km (EV)	litio ioia	12	300
PORSCHE Panamera (PHEV)	416	36 (EV)	3.1 l/100 km (EV)	litio ioia	9.4	384
TOYOTA Yaris HSD (PHEV)	101	2 (EV)	3.5 l/100 km	nikel-metal hidruro	1	144
BMW ActiveHybrid 7 (HEV)	355	4 (EV)	6.8 l/100 km	litio ioia	0.675	120
HONDA Insight (HEV)	98	4 (EV)	4.3 l/100 km	nikel-metal hidruro	0.65	100
CHEVROLET Volt (EREV)	150	70 (EV); 500 (EREV)	133	litio ioia	16	360
OPEL Ampera (EREV)	150	70 (EV); 500 (EREV)	133	litio ioia	16	370

tentsio-maila txikiagoaz funtzionatzen dute. Kontsumoa eta autonomiaren inguruan, aldiz, datu horiek gidatze-zikloetatik ateratzen direla esan beharra dago. Ziklo horiek teorikoak dira, hau da, azelerazio eta abiadura konstantean oinarritutako profil ezberdinek osatzen dituzte. Isuri kutsagarriak eta ibilgailuaren autonomia homologatzeko ziklo ofiziala NEDC izenokoa da Europan. Zikloak 1.180 segundo irauten du eta 120 km/h-ko abiadura maximora iristen da. Ziklo honen aurrean ibilgailu hibridoak erantzun hobea eskaintzen du ibilgailu elektrikoak edo konbentzionalak baino.

3.3. Baterietara konektatutako ibilgailu elektrikoaren funtzionamendua

Ibilgailu elektriko bat abian jartzeko, lehenengo eta behin, bateria kargatu behar da (7. irudia, ①). Gaur egun, bateriak osorik kargatzeko behar den denbora 4 eta 8 ordu tartekoa da, betiere baterien kapazitatearen arabera eta etxeko sarearen ezaugarriak dituen energia-iturri batera konektatuz gero. Hala ere, sareak eskaintzen duen korrante elektrikoaren forma dela eta (monofasiko alternoa), energia hori ezin gorde daiteke zuzenean baterietan, beharrezkoa baita aurretik prozesatzea. Etapa horretan agertzen da potentzia-elektronikako lehen elementua: AC/DC artezgailua. Gailu honek korrante alternoa korrante zuzen bihurtzen du, eta horri esker energia baterietan gorde daiteke.



7. irudia. Ibilgailu elektrikoaren propulzio-sistema.

Behin bateriak beharrezko energia maila lortzen duenean, energia-iturria deskonektatu eta motorra abian jartzera bideratzen da. Horretarako, aurrekargarako erreleak erabiltzen dira, beteta dagoen bateria baten eta ibilgailuaren potentzia-sistema elektronikaren arteko konexioa ahalbidetzeko

(7. irudia, ① eta ⑤). Errele horiek (7. irudia, ②) aurrez ezarritako ordena batean konmutatu behar dute, korrante zuzeneko busa Rpch erresistentzia-aren bitartez modu egoki batean karga dadin (7. irudia, ④).

Ibilgailuaren bateria potentzia-elektronikarekin konektatzean, motorra abian jartzeko prest geratzen da. Kasu honetan, energia-fluxua bateriatik motor elektrikora doa, eta horrela ibilgailuaren propulzioa ahalbidetzen da. Ibilgailua abian jartzeko behar den energia kontuan izanik, modelo gehienek korrante alternoko motor trifasiko bat daramate (7. irudia, ⑥). Motor hori elikatzeke, baterietako energia potentzia-bihurgailu baten bidez prozesatu behar da berriz. Hainbat arkitektura daude prozesu hori gauzatzeko. Lehenengo arkitekturan, inbertsorea erabiltzen da korrante zuzena trifasiko alferno bihurtzeko (7. irudia, ⑤). Gaur egun, teknologia hau da erabiliena, kostu baxu eta sinpletasunagatik. Beste konponbide bat da DC/DC bihurtgailua inbertsorearen aurrean ezartzea (7. irudia, ③). Bihurtgailuak DC busaren tentsio-aldaketa kontrolatzen du. Ibilgailua potentzia jakin batean doan bitartean (50 kW adibidez), balazta zapaltzean, kontuan hartzeko aldaketa bat gertatzen da. Aldaketa horrek larriki eragin ez dezan, DC/DC bihurtgailua erabiltzen da. Modu horretan DC busa kontrolatu eta balazta-sistemaren efizientzia hobetzen da. Horrelako arkitektura bat erabilia (7. irudia), motor elektrikoak behar adina energia jasotzen du, eta energia mekanikoa transmititzen du gurpiletara diferentzialaren bidez; horrela, ibilgailuaren mugimendua ahalbidetzen da [13, 14].

Bestalde, balaztatze birsortzaileak energia zinetikoa energia elektriko bihurtzen du, ibilgailuak balaztatzen duenean. Gailu horrek abiadura moteltzea ahalbidetzen du, indar-momentuaren murriztailearen bidez, eta, aldi berean, indar inertzialek askatzen duten energia atzemanek, goi tentsioko bateria kargatzen du. Prozesu hori ohiko balazta-sistemaren kontrakoa da; azken honetan, zapata batzuek balaztatzen dute ibilgailua, eta energia bero gisa galtzen da. Alabaina, ezinezkoa da balaztatzeke indar inertzialen % 100 berreskuratzea; horregatik, beharrezkoa da ibilgailuari ohiko balazta-sistema bat gehitzea. Horrez gain, ezinbestekoa da marruskadurazko balazta, ibilgailua guztiz gelditzeko edo balazta birsortzailearen akatsen baten aurrean erantzuteko.

Ibilgailu elektrikoetan balazta birsortzailea erabiltzean, motor elektrikoak sorgailu gisa jokatzen du; hain zuzen, balaztatzean, energia mekanikoa jaso eta energia elektriko bihurtzen du. Energia hori baterietara bidaltzen da inbertsorearen bidez, geroago erabili ahal izateko.

Ibilgailu hauetan, propulzio-sistema motor edo sorgailu gisa konfiguratu behar da, une bakoitzean modu egokian lan egin dezan. Hau da, ibilgailua abiarazteko propulzio-sistemak motor moduan jokatzen du, baina azeleragailua askatu bezain laster, sorgailu gisa jokatzen hasten da. Sorgailua birarazteko behar den energiak, ibilgailua moteltzen laguntzeaz

gain, bateriak ere kargatzen ditu, eta horrela, ibilgailuaren efizientzia hobetzen da. Balaztatzearen lehen fase horretan, balazta hidraulikoek ez dute lanik egiten; aldiz, balaztaren pedala zapaldu bezain laster, balaztatzearen erlazioa balazta hidrauliko eta balazta birsortzailearen artean banatzen da. Hori guztia balaztatze-sistemaren ECUak monitorizatu eta egokitzen du une oro.

Ibilgailu elektrikoetan balaztatze-sistemaren barneko balazta birsortzailearen konfigurazioak honako kategoria hauetan sailka daitezke [15, 16]:

- *Balaztatze birsortzailea seriean.* Era honetako konfigurazioetan, balazta zapaldu bezain laster aktibatzen da balazta birsortzailea, eta horren kontrolak balazta konbentzionalaren portaera bera lortzea du helburu. Balazta-pedalaren presio jakin batetik aurrera, balazta konbentzionala balazta birsortzailearekin elkartzen da. Mota honetako konfigurazioak konplexuak dira, (Antilock Brake System, ABS) sistemak balazta birsortzailearen momentua kontrolatu behar baitu. Ibilgailu elektrikoak bere abiadura mogtelduta sorgailuaren errendimendua txiekia denean, balazta birsortzaileak funtzionatzeari uzten dio. Une horretan, balazta mekanikoak bakarrik jarraituko du lanean, sorgailua ez baita gai izango energia sortzeko.
- *Balaztatze birsortzailea paraleloan.* Era honetako konfigurazioetan, balazta konbentzionala balazta zapaldu bezain laster aktibatzen da. Balazta birsortzailea paraleloan aplikatzen zaio, eta kontrolako algoritmo batekin zehazten da indar-momentua. Balaztatze konbentzionala eta balaztatze birsortzailearen arteko balaztatze-indarren banaketa egiteko, kontrolako algoritmoak kontuan izan behar ditu ibilgailuaren abiadura eta baterien kargaren egoera (State of Charge, SOC), besteak beste. Nahiz eta sistema hori inplementatzeko errazagoa den, metodo honen bidez serieko birsortzean baino energia gutxiago lortzen da, une oro gertatzen baitira balazta mekanikoan xahutzen diren marruskadura-galerak. Etorkizuneko ibilgailu elektrikoaren garapenean garrantzi handia izango du balaztatze birsortzailearen diseinua hobetzeak. Izan ere, sistema honen hobekuntza txiki batek eragin handia izan dezake ibilgailuaren autonomian; beraz, energia-konsumoaren eta kostu ekonomikoaren gutxitzea ekar dezake.

4. ONDORIOAK

Teknologiaren azterketaren arabera, hainbat dira ibilgailu elektriko eta hibridoetan fabrikatzaileek erabiltzen dituzten teknologiak. Gaur egungo baterien autonomia eta ibilgailu elektrikoaren birkargarako azpiegituren egoera kontuan hartuta, teknologia hibridoa da nagusitzen dena. Hala ere,

etorkizunari begira BEMrik gabeko ibilgailuen hazkundera aurreikusten da, batez ere erregai fosilekin gertatzen diren arazoak direla-eta.

Era horretako teknologian, potentzia-elektronikaren eginkizuna garrantzizkoa da. Teknologia horren erronka oso garrantzitsuak dira baterien garapena, potentzia-elektronikako sistemen efizientzia hobetzea eta balaztatze birsortzailearen diseinua optimizatzea dira. Beharrezkoa da baterien teknologian aurrerapausoak ematea, horien autonomia hobetzen eta pisua eta prezioa murrizten dituzten irtenbideak ikertuz. Potentzia-sistemen efizientziari dagokionez, gailu erdieroaleen galerak murrizteko modua litzateke ikergai nagusia, gailu erdieroaleen fisikan eta bihurgailuen kontrol-algoritmoetan oinarrituta.

5. ESKER ONAK

Artikulu hau UPV/EHUK finantzaturako eta Eusko Jaurlaritzako Hezkuntza, Unibertsitate eta Ikerketa sailak IT394-10 egitasmorako diru-laguntzaz babestutako UFI11/16 Prestakuntza eta Ikerkuntza unitatean landu da. Halaber, A.E.C.T. Euroregion Aquitania Euskadi Gobierno Vasco erakundeak finantzatu du, ibilgailu elektrikoetan ezarritako inbertsore trifasikoen optimizazio energetikoa (OPTITAVE) delako proiektuaren bitartez.

Egileek Jose Ramon Etxebarriari eskertu nahi dizkiote egindako irakurketa eta iradokizunak, horrek guztiak egindako lanak artikulua hobetzeko balio izan baitu.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] A. SIEMINSKI. 2013ko uztaila. «International Energy Outlook 2013». *International Energy Agency*, 1-33.
- [2] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2013. «Understanding the electric vehicle landscape to 2020». *Global EV Outlook*, 6-23.
- [3] A. POZO eta E. MOLERO. 2013ko urtarrila. *El vehiculo eléctrico y su infraestructura de carga*. Marcombo, Espainia.
- [4] W.B. RIBBENS. 2007. *Electrónica automotriz*. Limusa, Mexiko.
- [5] S. SEREF. 2011. *Electric Vehicles: The Benefits and Barriers*. Intech, Kroazia.
- [6] F. PAIRI eta J.M. DESANTES. 2011. *Motores de combustión interna alternativos*. Revert, Balentzia.
- [7] C.C. CHAN. 2012ko otsaila. «The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles». *Proceedings of the IEEE*, **90**, 247-275.
- [8] C.C. CHAN. 2007ko apirila. «The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles». *Proceedings of the IEEE*, **95**, 704-718.

- [9] A. EMADI. 2005. *Handbook of automotive power electronics and motor drivers*. Taylor and Francis, Ameriketako Estatu Batuak.
- [10] C.D. ARENAS, J. LI, S. BILLER eta G. XIAO. 2010eko abuztua. «Hybrid/Electric vehicle Battery Manufacturing: The State-of-the-Art». *Proceedings of the IEEE conference on Automation Science and engineering*, 281-286.
- [11] A. KHALIG eta Z. LI. 2010eko uztaia. «Battery, Ultracapacitor, Fuel Cell, and Hybrid Energy Storage Systems for Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles: State of the Art». *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **59**, 2806-2814.
- [12] J. LARMINIE eta J. LOWRY. 2003. *Electric Vehicle Technology Explained*. Wiley, Ingalaterra.
- [13] H. BAI eta C. MI. *Transients of Modern Power Electronics*. Wiley, Ingalaterra.
- [14] A. EMADI, Y. JOO LEE, eta K. RAJASHEKARA. 2008. «Power Electronics and Motor Drivers in Electric, Hybrid Electric, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles». *IEEE transactions on Industrial Electronics*, **55**, 2237-2245.
- [15] G. XU, W. LI, K. XU eta Z. SONG. 2011ko iraila. «An Intelligent Regenerative Braking Strategy for Electric Vehicles». *Journal of Power Sources*, **4**, 1461-1477.
- [16] S.A. OLEKSOWICZA, K.J. BURNHAMA, A. SOURHGATEB, C. MCCOY, G. WAITED, G. HARDWICKE, C. HARRINGTON eta R. MCMURRANG. 2013. «Regenerative braking strategies, vehicle safety and stability control systems: critical use-case proposals». *International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, **51**, 684-699.