

# Ibilgailu elektrikoaren potentzia-bihurgailuen hozte-metodoak

(Electric vehicles power modules cooling methods)

*Itxaso Aranzabal\*, Asier Matallana, Oier Onederra,  
Iñigo Martínez de Alegria, David Cabezuelo*

Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU

\* itxaso.aranzabal@ehu.eus

DOI: 10.1387/ekaia.17053

Jasoa: 2015-10-01

Onartua: 2016-06-15

**Laburpena:** Ibilgailu elektrikoari loturiko potentzia-bihurgailuetan, korrante-dentsitate handitan (500 A ingurukoak) lan egiten duten IGBT transistoreak eta diodoak erabiltzen dira. Korrante altuak direla eta, handitu egiten dira gailu erdieroale horietan gertatzen diren konmutazio- eta kondukzio-galerak, eta ondorioz, potentzia-erdieroaleak berotu egiten dira. Moduluen efizientzia eta fidagarritasuna ziurtatzeko, beharrezkoa da hozte-sistema eraginkor eta egoki bat aukeratzea. Artikulu honetan, potentzia-bihurgailuen moduluen hozte-metodoak berrikusi eta eztabaidatuko dira.

**Hitz-gakoak:** ibilgailu elektrikoa, potentzia-bihurgailua, hozte-metodoak.

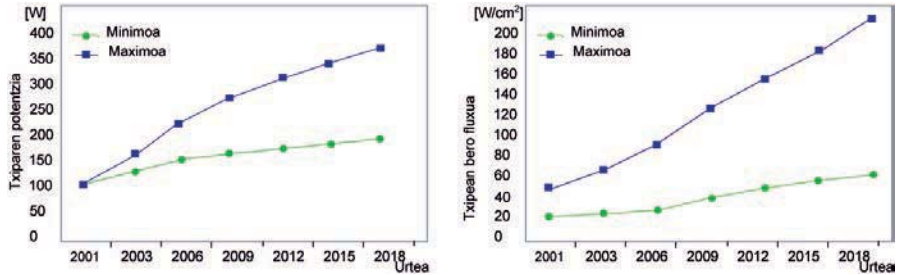
**Abstract:** The power inverter modules associated to Electric Vehicles (EV) are equipped with IGBTs and Diodes working at high currents that can reach 500 A. The high currents increase power losses, which become in heat and reduce the efficiency of the semiconductor. To ensure high power density power inverters reliability and fiability is necessary to design very efficient cooling systems. In this paper power inverter modules different cooling options will be reviewed. Advantages and disadvantages of such systems will be highlighted.

**Keywords:** electric vehicle, power electronic module, cooling system.

## 1. SARRERA

Ibilgailu elektrikoari loturiko potentzia-bihurgailuetan, korrante-dentsitate handitan (500 A ingurukoak) lan egiten duten IGBT transistoreak eta diodoak erabiltzen dira. Korrante altuak direla eta, handitu egiten dira

gailu erdieroale horietan gertatzen diren kommutazio-galerak ( $P_{loss,sw}$ ) eta kondukzio-galerak ( $P_{loss,cond}$ ), eta ondorioz, potentzia-erdieroaleak berotu egiten dira. Gaur egun, ibilgailu elektrikoari dagozkion IGBT moduluetan bero-fluxua  $100\text{-}150\text{ W/cm}^2$ -koa da eta espero da hurrengo urteetan  $500\text{ W/cm}^2$ -ra igotzea [1] (1. irudia).

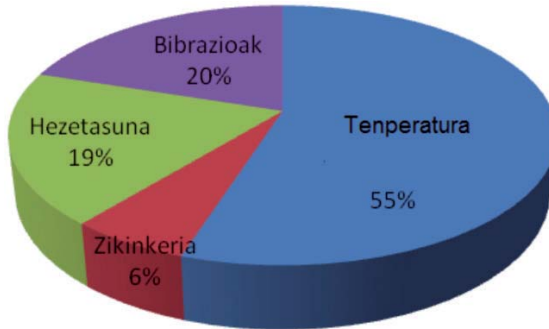


(a) Bero-fluxua handitzeko joera.

(b) Korrante-dentsitatea handitzeko joera.

**1. irudia.** Bero-fluxua eta korrante-dentsitatea handitzeko joera.

Alde horretatik, bermatu beharra dago erdieroaleen juntura-tenperaturak ( $T_j$ ) ez duela fabrikatzaileak emandako balio maximoa gainditzen ( $150\text{ °C}$  ingurukoa). Hori oso garrantzitsua da, gehiegizko tenperaturaren eraginez apurtzen baitira potentzia-erdieroaleen % 55, gutxi gorabehera (2. irudia).



**2. irudia.** Potentzia-bihurgailuen moduluen apurketa eragiten duten arrazoi nagusiak.

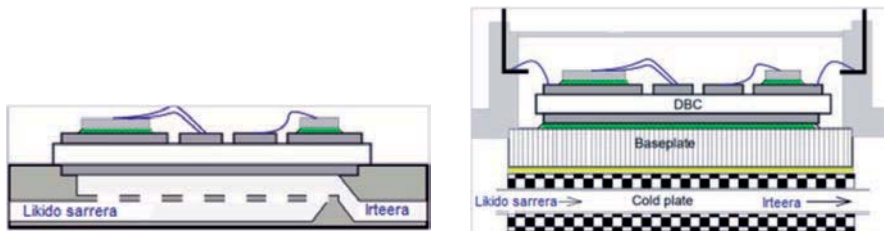
Sistemaren funtzionamenduan temperatura  $10\text{ °C}$  igotzen den bakoitzean, bikoiztu egiten da sistemaren hutsegite-ratioa. Beraz, zenbat eta funtzionamendu-tenperatura baxuagoa izan, hainbat eta luzeagoa izango da erdieroalearen bizi-iraupena.



## 2.2. Hozte likidoa

Hozte likidoan oinarrituko metodoek beroa era eraginkorrean disipatzen dute. Helburu nagusia potentzia-moduluaren eta hozte-fluidoaren arteko erresistentzia termikoa ( $R_{th}$ ) murriztea da.

Hozte likidoan oinarritutako metodoak bi sailetan bereizten dira nagusiki: hozte likido zuzena eta zeharkakoa. Lehenengoan hoztailearen eta hoztu beharreko gainazalaren artean kontaktu zuzena dago (4(a). irudia). Zeharkako hozte likidoan, berriz, ez dago erdieroalearen eta hoztailearen arteko kontaktu zuzenik (4(b). irudia).



(a) Hozte likido zuzena.

(b) Zeharkako hozte likidoa.

## 4. irudia. Hozte likidoa.

Era berean, erabilitako hoztailearen arabera, beste modu honetan ere sailka daitezke:

- Fase bakarreko sistemak: hauetan ura edo ur/glikol nahastea erabiltzen da hoztaile gisa. Bero-transferentzia konbekzio-prozesuaren eraginez gertatzen da.
- Hoztailearen fase-aldaketan oinarritutako hozte-sistemak: hauetan likido dielektrikoak erabiltzen dira hoztaile gisa eta bero-transferentzia hoztailearen fase-aldaketan oinarritzen da. Bero-xurgapena hoztailearen lurrinketa-prozesuan (hoztailea likido-egoeratik lurrin-egoerara pasatzen denean), eta bero-askapena, hoztailearen kondentsazio-prozesuan (hoztailea lurrin-egoeratik likido-egoerara pasatzen denean).

Sistema bakoitzean erabili beharreko hoztaile egokiena aukeratzeak ezagutza sakona eskatzen du. Edonola ere, hoztaileak bateragarria izan behar du, eta aplikazio bakoitzak exijitzen dituen baldintza zehatz eta bereziak bete behar ditu [6, 7].

### 2.3. Zeharkako hozte-metodoak: Hozte-xaflak (*Cold plate* ak, ingelesez)

Hozte-xaflak potentzia-moduluen bero-disipazio eraginkorra ziurtatzen dute baina ez dute eskaintzen erdieroalearen eta hoztailearen arteko kontaktu zuzenik. Bere eraginkortasuna erresistentzia termikoaren ( $R_{th}$ ) murrizpena da eta azken hau, aldi berean, barne-egitura eta erabilitako materialen arabera da. Zenbat eta erresistentzia termiko txikiagoa orduan eta eraginkortasun termiko hobea [9]. Aldi berean, potentzia-moduluaren eta *cold plate* aren arteko juntura egokia ziurtatzeko TIM (*Thermal Interface material*, ingelesez) geruza beharrezkoa dutenez gero, beroa askatzeko eraginkortasun termikoa nabarmen jaisten da.

Gaur egun, fabrikazioan erabilitako teknologiaren arabera, era askotako *cold plate* ak aurki daitezke merkatuan (5. irudia).



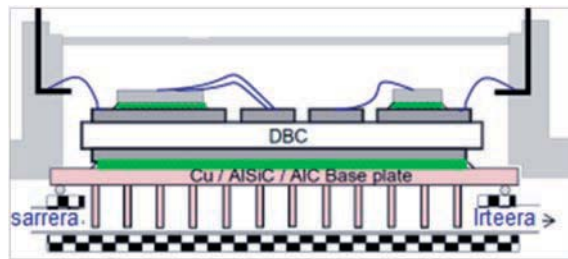
**5. irudia.** Teknologia ezberdina erabiltzen duten *Cold plate* ak.

### 2.4. Hozte-metodo zuzenak

Hozte-metodo zuzenetan hoztailearen eta hoztu beharreko gainazalaren artean kontaktu zuzena dago. Potentzia-moduluaren eta bero-disipatzailearen (*heatsink*, ingelesez) artean gehienetan agertzen den TIM geruza ezabatzea ahalbidetzen du. Azken hau, gailu erdieroalearen eta hoztailearen arteko erresistentzia termikoaren % 30-% 50 denez, geruza hau ezabatzerakoan potentzia-moduluaren erresistentzia termiko totala nabarmen jaisten da [22]. Ondorioz, beroa askatzeko eraginkortasun termikoa handitu egiten da.

#### 2.4.1. *Pin-hegalak (Pin Fins, ingelesez)*

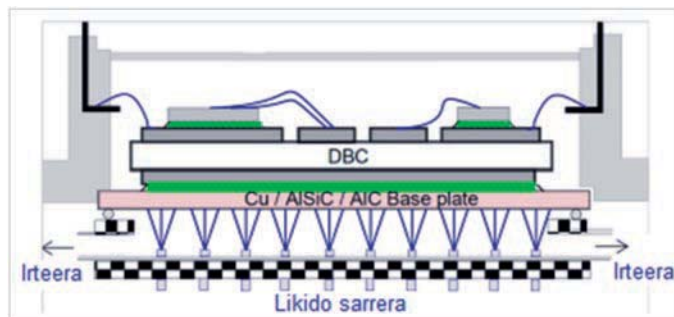
Metodo hau, pin itxurako pin-hegalez (*pin fins*, ingelesez) osaturik dagoen base-plater (*base plate*, ingelesez) (AlSiCez edo AlCz osaturikoa gehienetan) baten oinarritzen da. Base-plater hau hoztailearen sarrera- eta irteera-konexioak dituen bainuontzi batean mihizatzen da. Horrela, base-plateraren eta hoztailearen arteko kontaktu zuzena lortzen da, eta aldi berean, pin-hegalen (*Pin fin*, ingelesez) eraginez, bien arteko kontaktu-azalera ere nabarmen handitzen da. Honek bero-trukatze handia eragiten du (6. irudia). [10] ikerketa lanean metodo honek ekartzen dituen hobekuntzak aztertzen dira sakon.



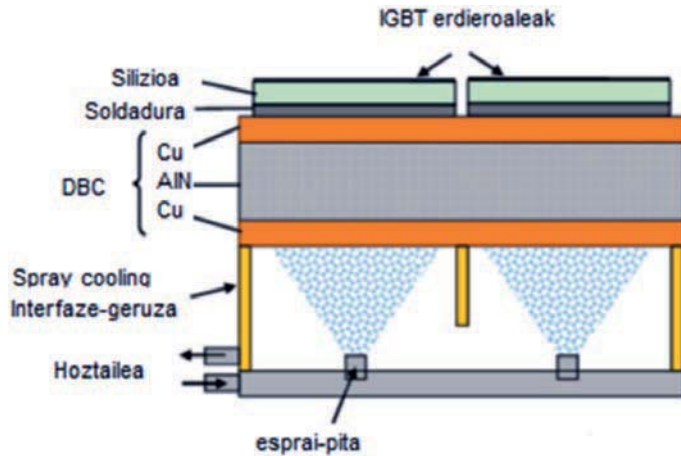
**6. irudia.** Pin-hegal (*Pin fin*, ingelesez) teknologiaz hozturiko potentzia-modulu baten adibidea.

#### 2.4.2. *Ihinztatze-hoztea (Spray cooling, ingelesez) eta Jet-impignement hoztea (jet impingement cooling, ingelesez)*

Ihinztatze-hozte (*Spray cooling*, ingelesez) sistemak, hoztailea potentzia-moduluaren hoztu beharreko gainazalaren gain ihinztatzen du, eta, ondorioz, hoztaileak beroa xurgatu egiten du eta tanta fin bihurtzen da (7. iru-



**7. irudia.** Ihinztatze-hozte (*Spray cooling*, ingelesez) teknologiaz hozturiko potentzia-modulu baten adibidea.



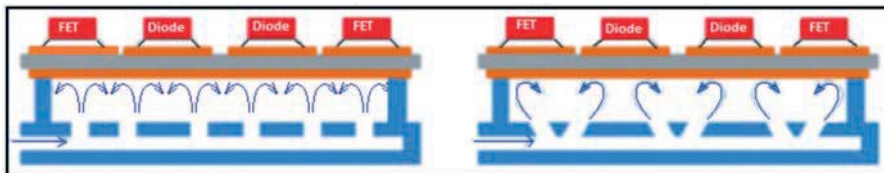
8. irudia. Ihintzate-hozte (*Spray cooling*, ingelesez) teknologia.

dia eta 8. irudia). Bero-trukea teknika ezberdinak konbinatuz lortzen da. Alde batetik, hoztailearen eta hoztu beharreko gainazalaren arteko bero-trukea, eta beste alde batetik, hoztailearen fase-aldaketan gertatzen den bero-trukea. Hori horrela izanda, hoztaile-emari txikiarekin bero-transferentziaren koefiziente handiak lortzen dira eta, ondorioz, hoztailea garraiatzeko sistema arinagoak eta trinkoagoak diseinatzea posible egiten du [11].

Bestalde, teknika honek, hoztu beharreko gainazala, hoztailearen saturazio-tenperatura eremuan mantentzea lortzen du.

Adibide bezala, *National Renewable Energy Laboratory (NREL)* ikerketa lantaldeak, teknologia honetan oinarritutako ikerketa lana biltzen du [2]. Bertan garatutako hozte-eskemak  $150\text{-}200\text{ W/cm}^2$ -ko bero-fluxua disipatzea lortzen du.

Era berean, *Jet-impingement* hozte-metodoa erabiliz ere, hoztaile-emari txikiarekin, bero-fluxu handia askatzea lortzen da [1](9. irudia). Ihintzate-hozte sistemarekin alderatuz, ihintzagailua ezabatzen denez gero, fluidoaren dinamika sinpleagoa da eta zarata-maila ere murrizten du.



9. irudia. *Jet-impingement* hozte-teknologia.

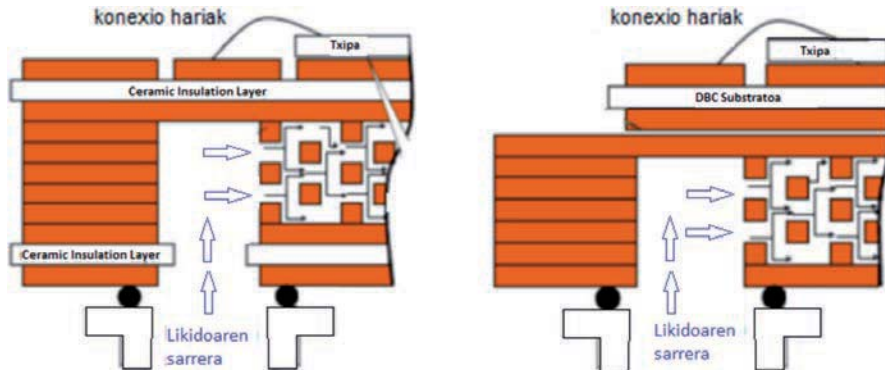
Era berean, gaur egun, teknologia hauetan kontuan izan beharreko parametro garrantzitsuenak aztertu eta eztabaidatzen dituen hainbat ikerketa-lan argitaratu dira [16, 17, 18, 19]. Ibilgailu elektrikoaren alorrean egindako beste hainbat ikerketa-lanek ere [12, 13, 14] emaitza eraginkorrak erakusten dituzte.

### 2.4.3. *Mikrokanal- eta minikanal-hoztea (Microchannels and minichannels cooling, ingelesez)*

Gaur egun ezagutzen diren metodorik eraginkorrenen artean dago teknika hau. Hoztailea hoztu beharreko gainazal guztian zehar jariatzen da eta, ondorioz, uniformetasun termiko bikaina eskaintzen du hozte-sistemak.

Hainbat ikerketa-lan burutu dira teknologia honen inguruan, eta kontuan izan beharreko parametro garrantzitsuenak (barneko kanalen geometria, erabilitako materiala, hoztaile mota, beroa disipatzeko gaitasuna, presio-jaitsiera, etab.) aztertu eta eztabaidatu dira [20, 21].

Adibide bezala, *Curamicek* (Eschenbach, Alemania) teknologia honetan oinarritzen den kontzeptu barri bat sortu du. Mikrokanal-hozteak *DBCaren (Direct Bond Copper, ingelesez)* baitan txertatuta daude zuzenean [22] (10. irudia).



**10. irudia.** Mikrokanal-hozte (*Microchannel, ingelesez*) teknologia ezberdinak.

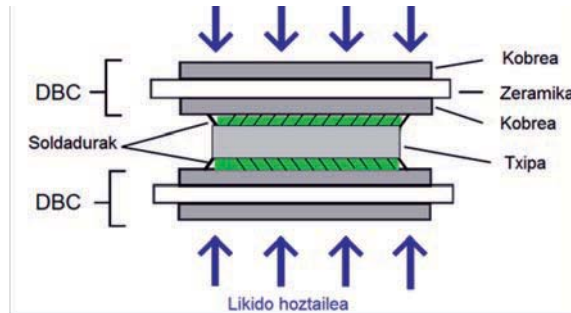
### 2.5. *Alde bikoitzeko hoztea (Double size cooling, ingelesez)*

Alde bikoitzeko hozte-metodoak, beroa erdieroalearen bi aldeetatik askatzea ahalbidetzen du. Horretarako, txipak bi DBC substratu artean mihiztatzen dira. Hori horrela izanda, hozte-likidoak moduluaren bi aldeetan eragina du, eta beroa bi aldeetatik disipatzea lortzen da. Ondorioz, potentzia-moduluaren erresistentzia termikoa eta tamaina murriztea posible egi-



ten du. Bestalde, alde bikoitzeko egitura berri honek beharrezko egiten du erdieroalearen mihizatze-prozesuan konexio-hariak desagerraraztea.

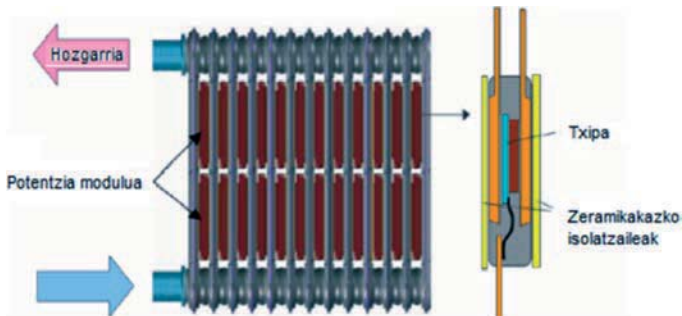
11. irudiak alde bikoitzeko hozte-metodoan oinarritzen den modulu baten oinarritzko egitura erakusten du.



**11. irudia.** Alde bikoitzeko hozte-metodoan oinarritutako modulu baten oinarritzko egitura.

*Denso Corporation*, Cambridge, Nottingham eta Oxfordeko unibertsitateek elkarlanean burututako ikerlanean [23], teknologia honetan oinarritutako modulua diseinatu dute. Txipak bi DBC substratu artean mihizatzen dira eta *jet-impingement* hozte-metodoaren bitartez hozten dira. Hori horrela izanda, ur-zurrustak moduluaren bi aldeetan eragina dute, eta beroa bi aldeetatik disipatzea lortzen da.

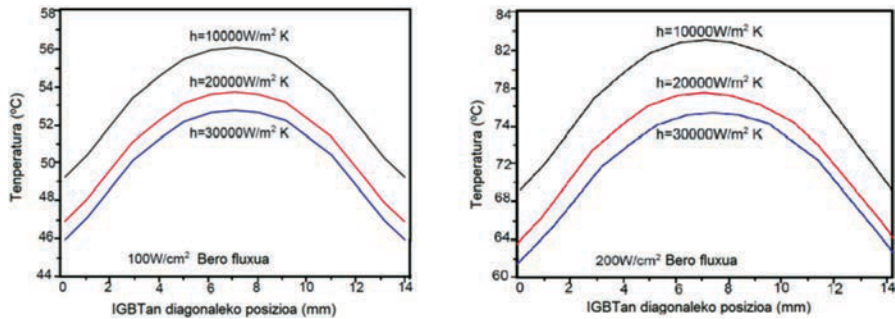
Egitura berekoa da Semikronek *Skin Module* teknologian oinarritutako modulua ere [24]. Orobat, Toyota Lexus LS600 ibilgailu elektrikoaren potentzia-moduluaren hozte-metodo honetan oinarrituz diseinatu da. Diseinu berri honetan, egestura bakar batean pilatzen dira modulua (12. irudia).



**12. irudia.** Toyota Lexus LS600 ibilgailu elektrikoaren potentzia-modulua.

## 2.6. Hozte termoelektrikoa

Aurreko ataletan azaldutako hozte-metodoek bero-fluxu handiak eta erresistentzia termiko txikia eskaintzen dute. Baina ordea, hozte-prozesua DBC gainazal guztiaren gain egiten dutenez gero, IGBT gailu bakoitzaren baitan agertzen diren temperatura desberdinak kontrolatzea ezinezko bihurtzen da [25]. 13. irudiak hozte-xafla teknologiako dissipadore batean, 30 °C-tan dagoen hoztailea erabiliz, IGBT gailuaren baitan lortutako temperatura-profila erakusten du hurrenez hurren.

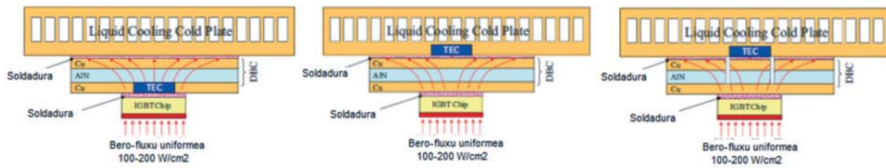


**13. irudia.** IGBT gailuan lortutako temperatura-profila.

Hori horrela izanda, interesgarria da nabarmentzea nola, nahiz eta bero-transferentzia koefizientea handitu eta beraz potentzia-moduluaren tenperatura jaitsi, IGBT gailuaren barneko tenperaturaren profilak ez duen bere itxura parabolikoa galtzen. Hau guztia kontutan izanik, IGBT gailuaren diseinu elektrikoaren ikuspuntutik, hutsegite-iragarpen, estres termiko eta fidagarritasunaren aldetik, beharrezkoa da gailuaren temperatura ahal den eta uniformeen mantentzea.

Hori horrela, hozte termoelektrikoak, Peltier, Seebeck eta Thomson efektuetan oinarrituz [27], IGBT gailuaren isothermalizazioa ahalbidetzen du: era egokian konfiguratutako gailu termoelektriko batetik zehar, korronte batek zeharkatzen duenean, beroa gailuaren alde batetik kontrako aldera garraiatzen da.

[25] ikerketa-lanean, egitura hibrido berriztagarri bat proposatzen da: hozte-xafla potentzia-modulu osoa hozteko erabiltzen da eta hozte termoelektrikoak IGBT gailuari uniformetasun termikoa ematen dio (14. irudia).



**14. irudia.** IGBT gailuaren temperatura uniforme mantentzeko diseinatutako sistema hibridoaren topologia ezberdinak.

## 2.7. Fase-aldaketan oinarritutako sistemak

Fase-aldaketan oinarritutako hozte-sistemek fase sinplean oinarritutakoekin alderatuz abantaila anitz eskaintzen dituzte.

Hoztailearen lurruntze-bero sorra (hots, egoera-aldaketa gertatzen den bitartean, eta temperatura aldatzen ez delarik, substantzia batek masa-unitateko xurgatzen edo askatzen duen bero-kantitatea) egoera sinplekoekin alderatuz, magnitude-ordenakoen bi halako da [26]. Ondorioz, hozte-potentzia are handiagoa da. Era berean, egoera-aldaketari dagokion bero-transferentziaren koefizientea, egoera sinplean oinarritzen diren hozte-metodoetan baino askoz handiagoa da [8].

Era berean, hozte-teknika honek beste onura batzuk ere eskaintzen ditu: moduluaren bolumena, pisua eta kostua. Izan ere, beste metodo batzuek eskaintzen duten errendimendu bera lortzeko, hoztaile-emari txikiagoa behar da eta, ondorioz, hauek garraiatzeko hodiak, bonbak eta deposituak ere txikiagoak dira.

Bestalde, fase bikoitzeko konbekzio-prozesuei loturiko fisika ulertzea zailagoa da eta, beraz, errendimendu bera lortzeko esfortzu handiagoa eskatzen du. Aurreko ataletan aztertutako hozte-metodo batzuek ere (*jet-impingement* hoztea, *ihinztatze-hoztea*, *hozte-xaflak*), egoera-aldaketa zein egoera sinplean lan egiten duten hoztaileak erabili ahal dituzte.

## 3. ETORKIZUNERAKO JOERAK ETA ERRONKAK

Ibilgailu elektrikoak lan egiteko betekizun asko ezartzen ditu: korronte-dentsitate handiekin lan egiteko beharra, konmutazio-maiztasun handia, bero-fluxu handiak askatzeko gaitasuna, tenperatura-aldaketa nabarmenak jasateko gaitasuna, ingurumen ezatseginetan lan egiteko gaitasuna (bibrazioak, zikinkeria), eta abar. Bestalde, gailu erdieroaleen diseinu-teknologiaren ikerketan eman diren aurrepau nabarmenak direla eta, korronte-dentsitate handitan lan egiteko gaitasun handia duten erdieroaleak diseinatu

dira. Erronka, aldiz, erdieroaleen integrazioan (*packaging*, ingelesez) eta mihizatze-teknologia ezberdinak ikertzean dago, eta bertan hozte-sistemak garrantzi handia du.

Potentzia-bihurgailuen fidagarritasuna, errendimendua eta efizientzia era kuantitatibo baten balioztatzeke ezinbestekoa da hainbat parametro tekniko (parametro elektriko, termiko eta termomekanikoak) aztertzea: inpedantzia termikoa (erresistentzia eta kapazitantzia), gailuaren operazio-tenperatura maximoa, erresistentzia- eta induktantzia-parasitoak, konduktantzia, gailuaren bizi-iraupena (*power cycling* eta *thermal cycling*), etab. Hori horrela, [28] ikerlanean, gaur egungo ibilgalu elektrikoaren potentzia-moduluaren mihizatze-teknologietan ematen ari diren aurrerapausuak eta erronkak aztertzen dira.

Hozte-metodoei dagokionez, tendentzia hozte-likidoan oinarritutako sistemak dira: Pin-hegalak, ihizatze-hoztea, *jet-impingement* hoztea, mikrokanal-hoztea. Era berean, alde bikoitzeko hozte-metodoak, fase-aldaketan oinarritutako hozte-metodoak eta hozte termoelektrokoak beroa azkartzeko gaitasuna nabarmen handitzen dute.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

- [1] BHUNIA, A., CHANDDRASEKARAN, S., CHEN, C.L. 2007. «Performance improvement of a power conversion module by liquid micro-jet impingement cooling», *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, (30)2, 309-316.
- [2] MUDAWAR, I., BHARATHAN, D., KELLY, K., NARUMANCHI, S., 2008. «Two-phase spray cooling of hybrid vehicle electronics», in *Proc. of Inter-society Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITHERM)*, 1210-1221.
- [3] WINTRICH, A., NICOLAI, U., TURSKY, W., REIMANN, T., SEMICRON (Ed.), 2011. «Application Manual Power Semiconductor, S emikron International GmbH».
- [4] BAR-COHEN, A., BAHADUR, R., IYENGAR, M., 2006. «Least-energy optimization of air-cooled heat sinks for sustainability-theory, geometry and material selection». *Energy* (31)5, 579-619.
- [5] RODGERS, P., EVELOY, V., 2013. «Air cooled heat sink design optimization in free convection», in *Proc. of Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM)*, 170-172.
- [6] S. M.R., 2005. «Potential refrigerants for power electronics cooling», *Oak Ridge National Laboratory*.
- [7] MOHAPATRA, S., LOIKITS, D., 2005. «Advances in liquid coolant technologies for electronics cooling», in *Proc. of Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM)*, 354-360.

- [8] SAUMS, D., 2011. «Applications of vaporizable dielectric fluid cooling for igt power semiconductors», in *Proc. of Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM)*, 253-264.
- [9] KANG, S., 2012. «Advanced cooling for power electronics», in *Proc. of International Conference on Integrated Power Electronics Systems (CIPS)*, 1-8.
- [10] LIANG, Z., LI, L., 2008. «Hybridpack2 - advanced cooling concept and package technology for hybrid electric vehicles», in *Proc. of Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 1-5.
- [11] KIM, J., 2007. «Spray cooling heat transfer: The state of the art International Journal of Heat and Fluid Flow», 28, 753-767.
- [12] BOSTANCI, H., VAN EE, D., SAARLOOS, B., RINI, D., CHOW, L., 2012. «Thermal management of power inverter modules at high fluxes via two-phase spray cooling», *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 2, 1480-1485.
- [13] TUREK, L., RINI, D., SAARLOOS, B., CHOW, L., 2008. «Evaporative spray cooling of power electronics using high temperature coolant», *Proc. of Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITHERM)*.
- [14] MERTENS, R., CHOW, L., SUNDARAM, K.B., CREGGER, R.B., RINI, D. TUREK, L., SAARLOOS, B.A., 2007. «Spray Cooling of IGBT Devices», *Journal of Electronic Packaging. ASME*.
- [15] OLESEN, K., ØSTERWALD, F., TONNES, M., DRABEK, R., EISELE, R., 2010. «Direct liquid cooling of power modules in converters for the wind industry», in *Proc. of International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management (PCIM)*, 742-747.
- [16] BHUNIA, A., CHEN, C.L., 2005. «Jet Impingement Cooling of an Inverter Module in the Harsh Environment of a Hybrid Vehicle», *Heat Transfer Division and Electronic and Photonic Packaging Division*, 4, 561-567.
- [17] GOULD, K., CAI, S., NEFT, C., BHUNIA, A., 2015. K. Gould, S. Cai, C. Neft, and A. Bhunia, «Liquid jet impingement cooling of a silicon carbide power conversion module for vehicle applications», *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30, 2975-2984.
- [18] P.R. Parida, S.V. Ekkad, and K. Ngo, PARIDA, P.R., EKKAD, S.V., NGO, K., 2012. «Impingement-based high performance cooling configurations for automotive power converters», *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(4), 834-847.
- [19] KELLY, K., ABRAHAN, T., BENNION, K., BHARATHAN, D., NARUMANCHI, S., O'KEEFE, M., 2007. «Assessmant of Thermal Control Technologies for Cooling Electric Vehicle Power Electronics», *International Electric Vehicle Symposium*.
- [20] JANKOWSKI, N., EVERHART, L., MORGAN, B., GEIL, B., MCCLUSKEY, P., 2007. «Comparing microchannel technologies to minimize the

- thermal stack and improve thermal performance in hybrid electric vehicles», in *Proc. of Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 124-130.
- [21] LEE, J., MUDAWAR, I., 2009. «Low-temperature two-phase micro-channel cooling for high-heat-flux thermal management of defense electronics», in *Proc. of Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITHERM)*, 132-144.
- [22] SCHULZ-HARDER, J., 2009. «Efficient cooling of power electronics», in *Proc. of International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA)*, 1-4.
- [23] BUTTAY, C., RASHID, J., JOHNSON, C., IRELAND, P., UDREA, F., AMARATUNGA, G., MALHAN, R., 2007. «High performance cooling system for automotive inverters», in *Proc. of European Conference on Power Electronics and Applications (EPE)*, 1-9.
- [24] GOBL, C., FALTENBACHER, J., 2010. «Low temperature sinter technology die attachment for power electronic applications», in *Proc. of International Conference on Integrated Power Electronics Systems (CIPS)*, 1-5.
- [25] WANG, P., MCCLUSKEY, P., BAR-COHEN, A., 2013. «Hybrid Solid and Liquid-Cooling Solution for Isothermalization of Insulated Gate Bipolar Transistor Power Electronic Devices», *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 3, 601-611.
- [26] MUDAWAR, I., 2001. «Assessment of high-heat-flux thermal management schemes», *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, 24, 122-141.
- [27] ANANDAN, S., RAMALINGAM, V., 2008. «Thermal Management of electronics: A Review of Literature», *Thermal Science*, 12, 26.
- [28] ARANZABAL, I., MATALLANA, A., ONEDERRA, O., CABEZUELO, D., MARTINEZ DE ALEGRIA, I., 2016. «Estado actual y avances en las tecnologías de ensamblado de los módulos de potencia asociados al vehículo eléctrico», *Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación (SAAEI)*, 1-6 .